

ANÁLISIS DE RESILIENCIA CLIMÁTICA DEL PROYECTO SISTEMA DE AGUA POTABLE EN COMUNIDAD HUAYRAPATA

CLIMATE RESILIENCE ANALYSIS OF THE DRINKING WATER SYSTEM PROJECT IN HUAYRAPATA COMMUNITY

Laura Denisse Garcia Berdeja

Escuela de Posgrado de Ingeniería y Tecnología

Universidad Privada Boliviana

ldgb.9537@gmail.com

(Recibido el 14 de mayo 2022, aceptado para publicación el 15 de julio 2022)

RESUMEN

El presente documento refleja un Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI) del proyecto “Sistema de Agua Potable en Comunidad Huayrapata” propuesto para el municipio de Poroma. Para el mismo se consideró un escenario de cambio climático considerando los registros expuestos en la Base de Datos DesInventar, completando los mismos con lo expuesto en el Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) del municipio. Esta zona, además de la falta de acceso a agua de calidad para los pobladores, baja accesibilidad y presupuesto municipal por demás limitado, presenta como principales amenazas los deslizamientos y granizadas intensas, mismas que podrían afectar a los componentes del proyecto, priorizando los componentes de obras de toma de agua y la línea de aducción de agua por gravedad, se realizó al ARI en base al Análisis de Riesgos, el Análisis a la Resiliencia Climática y un Análisis Beneficio Costo. Basado en cada componente del proyecto, la funcionalidad de cada uno frente a las amenazas y las medidas de reducción de riesgos y de adaptación al cambio climático propuestas, como la construcción de un muro de contención, la elección de nuevas rutas para la línea de aducción, y obras de refuerzo de tuberías, después de la evaluación realizada se determinó que la implementación de las mismas en el proyecto significaría un beneficio a futuro, pues indican un ahorro en obras de reconstrucción y atención de emergencias.

Palabras Clave: Cambio Climático, Análisis en Resiliencia en Inversiones (ARI), Resiliencia, Sistema de Agua Potable, Base de Datos DesInventar, Obra de Toma de Agua, Línea de Aducción de Agua, Mitigación, Beneficio.

ABSTRACT

This document reflects an Investment Resilience Analysis (Program ARI) to the project “Sistema de Agua Potable en Comunidad Huayrapata” (Potable Water System in the Huayrapata Community), a project proposed for the municipality Poroma. For this project, it has been considered a climate change scenario considering the records exposed in the DesInventar Database, completing them with what is exposed in the Territorial Plan for Comprehensive Development (PTDI) of the municipality. In this area, in addition to the lack of access to quality water for the inhabitants, low accessibility and a limited municipal budget, also presents as main threats landslides and intense hailstorms, which could affect the components of the project, prioritizing the components of water intake works and the water adduction line by gravity, the ARI analysis was carried out based on the Risk Analysis, the Climate Resilience Analysis and a Cost Benefit Analysis. Based on each component of the project, the functionality of each one against the threats and the proposed mitigation measures, such as the construction of a retaining wall, the choice of new routes for the adduction line, and pipeline reinforcement works, After the evaluation carried out, it was determined that their implementation in the project would mean a benefit in the future, since they indicate savings in reconstruction works and emergency care.

Keywords: Climate Change, Investment Resilience Analysis (ARI), Resilience, Potable Water System, DesInventar Database, Project Components, Water Intake Works, Water Adduction Line, Mitigation, Benefits.

1. INTRODUCCIÓN

En el municipio de Poroma, el 98,52% son pobladores rurales [1] [2], las actividades económicas principales son la agricultura y ganadería, sin embargo, estas actividades se ven perjudicadas por distintos fenómenos climatológicos que dificultan dichas actividades. Debido a estos motivos, entre otros, el municipio de Poroma es considerado como uno de los municipios más pobres de Bolivia, pues la incidencia de pobreza en la población es de cerca al 90% [3], según los datos oficiales del Gobierno Departamental de Chuquisaca, en este municipio el 95.3% de la población no cuenta con acceso a servicios de agua potable ni instalaciones sanitarias.

Debido a esos factores, se propusieron distintos proyectos para el abastecimiento de agua para consumo en las comunidades del municipio de Poroma, dentro de los cuales se propuso el proyecto: “Sistema de Agua Potable en la

comunidad Huayrapata del municipio de Poroma” propuesto por la empresa constructora CHADOL S.R.L., sin embargo, este proyecto no considera la resiliencia al cambio Climático en su propuesta, pues considera que las condiciones serán constantes. Según el Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) del municipio, este territorio se encuentra susceptible a distintos fenómenos climatológicos, los cuales representan complicaciones para las actividades de la población. Con base en los datos recopilados por la base de datos DesInventar, en los últimos años, los fenómenos climatológicos como deslizamientos, granizadas y sequías fueron incrementando, estos fenómenos representan un riesgo para la sociedad, pues suponen consecuencias, tanto materiales como personales, y afectan las condiciones de vida de los habitantes, afectando no solo en el momento de ocurrencia, si no también a futuro, pues muchas veces pueden provocar cambios irremediables, pérdida de capital, daños al medioambiente, entre otros [4]. Según las prácticas y realidad en Bolivia, los desastres naturales ni los riesgos que estos representan no son tratados como parte de la realidad social ni de planificación, y el tratamiento de los mismos se limita al accionar después de la ocurrencia de los mismos, una vez que causan daños y perjuicios a la sociedad [5]. Debido a este motivo, y, tomando en cuenta los fenómenos con más incidencias, se llevó a cabo un Análisis de Resiliencia de Inversiones (ARI) para el proyecto propuesto, de manera que se logre una adaptación del sistema de abastecimiento de agua en la comunidad de Huayrapata, proponiendo distintas medidas de adaptación al cambio climático y evaluando los costos y beneficios que suponen dichas medidas.

El objetivo de este documento es el de analizar la resiliencia de inversiones en base al cambio climático, influyendo en la toma de decisiones del proyecto propuesto para abastecimiento de agua en la comunidad Huayrapata, considerando la resiliencia física y funcional del proyecto, y evaluando el costo y beneficio de las medidas propuestas.

2. ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Poroma se encuentra ubicado en el Departamento de Chuquisaca, en la Provincia Oropeza, el municipio está dividido en 5 distritos, 8 cantones, 14 subcentralias y 87 comunidades [1], según datos del Instituto Nacional de Estadística, el municipio de Poroma al año 2012 contaba con 17.377 habitantes, 50,15% varones y 49,85% mujeres [2].

El proyecto que se busca implementar se encuentra en la Comunidad Huayrapata, del Municipio Poroma, el área del proyecto limita con el departamento de Cochabamba y Potosí al norte, al sur con la comunidad Exaltación, al oeste con la comunidad Palaja y al este con el departamento de Cochabamba, con las coordenadas UTM: 244106,39 m E y 7948431.08 m S, a una altura que varía entre 2000 y 2500 msnm, como puede observarse en la Figura 1. La red vial de acceso muestra deficiencias, limitando el acceso vehicular, que en épocas de lluvia se vuelve intransitable o de mucha precaución, aletargando y dificultando la ayuda en este municipio, considerado uno de los más pobres en Bolivia.

La comunidad Huayrapata tiene un clima templado, con un promedio de 16 °C y una precipitación media de 800-900 mm anuales; presentando riesgos climáticos de granizadas fuertes, principalmente en los meses de febrero y marzo, heladas, en junio y julio, y vientos fuertes de sur a este, principalmente en el mes de agosto [1]. Sin embargo, durante estos últimos meses y con el incremento de las lluvias torrenciales y la pérdida de cobertura vegetal en la zona, además de considerar las pendientes elevadas y características geológicas de la zona, se registraron deslizamientos en la zona e incremento en la intensidad de la granizada [6].

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo, se llevó a cabo la recopilación de información primaria sobre la zona, posteriormente se estudió las características del proyecto planteado. Una vez recopilada esta información se procedió a recopilar datos de la base de datos DesInventar, complementando esta información con estudios realizados en este municipio, para finalmente aplicar el Análisis de Resiliencia en Inversiones. Los pasos se describen con mayor detalle a continuación:

3.1 Información Primaria

El municipio de Poroma se encuentra en una zona geográfica que presenta una variabilidad de altitudes, lo que da origen a la formación de diferentes zonas ecológicas. Este municipio presenta un paisaje irregular, formado por quebradas, serranías y colinas accidentadas que incrementan la vulnerabilidad del terreno ante amenazas naturales. A esto se suma las consecuencias del Cambio Climático, que influye en las condiciones del área del municipio y afecta al desarrollo de actividades de los pobladores. La erosión y contaminación de los suelos también tienen consecuencias sobre el uso óptimo de la tierra, además de la escasa disponibilidad de agua, que depende de las lluvias y el ciclo de las mismas, que se ve afectado debido a que las lluvias intensas provocan pérdidas de cultivos.

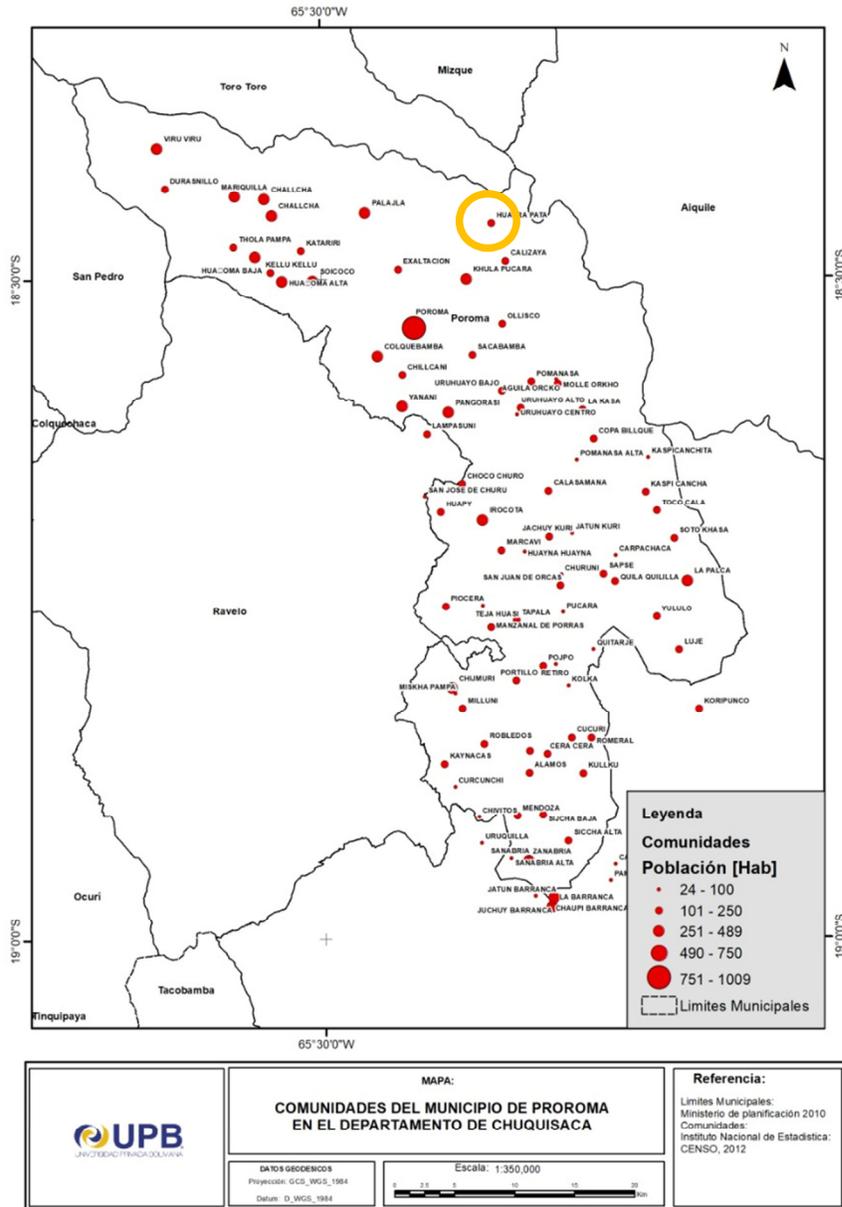


Figura 1: Municipio de Poroma y sus comunidades.

Fuente: Elaboración Propia en base a Proyección GCS_WGS_1984.

3.2 Características del proyecto

La propuesta del proyecto “Sistema de Agua Potable en la comunidad Huayrapata del municipio de Poroma” consideró un sistema convencional de agua potable por gravedad, que propone extraer agua de una quebrada en las zonas altas de la comunidad y acercarla a la población a través de una línea de aducción por gravedad [7]. El sistema propuesto consta de 5 componentes:

- Una obra de toma de agua, tipo azud, ubicada en la quebrada de la zona alta de la comunidad, que cumple la función de retener y elevar el nivel del agua, mejorando la eficiencia de captación del agua superficial
- Un sistema de línea de aducción por gravedad, que transporta el recurso hasta una zona cercana a la población, se propone una tubería de PVC esquema 60, con una capacidad de conducción de aprox. 0.10L/s, el proyecto propone que el trazado de la línea sea lo más directo al tanque de almacenamiento, pero que se eviten tramos de pendiente y contrapendiente que puedan causar bolsones de aire

- Un tanque de almacenamiento de H²O semienterrado, V=10m³, que cumplirá la función de compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día, mantener las presiones adecuadas en la red de distribución y almacenar cantidades de agua para el uso y consumo diario. Se consideró en la propuesta un análisis de estabilidad al vuelco y al deslizamiento
- Un hipoclorador por conteo de cargas instalado en la parte superior del tanque de almacenamiento, para la desinfección y potabilización del agua, ubicado sobre el tanque dotando de cloro al agua almacenada, la misma cuenta con un envase para el cloro y el dispenser necesario
- Sistema de red de distribución, el cual pretende formar una o varias piletas comunitarias, proveyendo a la comunidad de agua de forma continua y eficiente

3.3 Datos del Municipio de Poroma según la base de datos DesInventar

El municipio de Poroma se caracteriza por tener un clima templado, con temperaturas que oscilan entre los 13°C a los 20°C, dependiendo del cantón. En la comunidad de Huayrapata, perteneciente al cantón de Poroma, se registra una temperatura media de 16°C a 18°C, con un periodo lluvioso de los meses diciembre a febrero, sin embargo, en los últimos años se registraron lluvias intensas y granizadas en abril y octubre [1]. Como se puede ver en la Figura 4, en los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre se registraron mayores precipitaciones en comparación con los meses de mayo, junio, julio y agosto, donde la precipitación es casi nula y se registran épocas de sequía:

TABLA 1 – DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación Histórica (mm)	118,5	99	84,8	12,3	1,3	0,4	1,8	8,3	20,5	43,2	51,7	84,8

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de PTDI Municipio Poroma y SENAMHI.

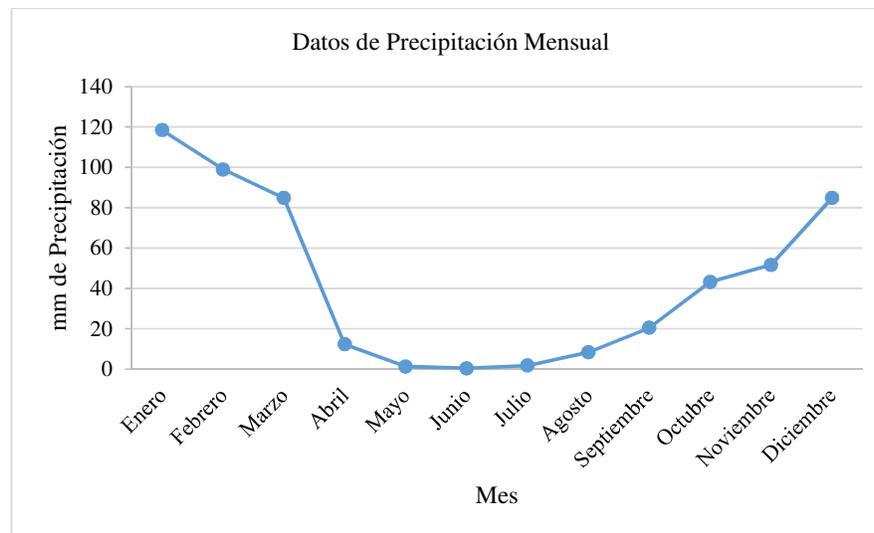


Figura 4: Datos de Precipitación Mensual en el Municipio de Poroma.

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de PTDI Municipio Poroma y SENAMHI.

A fin de recopilar información de la Base de Datos DesInventar y en base a lo informado en el PTDI del municipio de Poroma, se logró identificar las principales amenazas a las que se encuentra expuesta la comunidad de Huayrapata y el proyecto. Como se puede ver en la Figura 5, el evento climatológico que más afecto al municipio de Huayrapata son las granizadas fuertes, con aproximadamente 2 ocurrencias al año [1], después de este fenómeno, otra de las amenazas al municipio son los deslizamientos, reportando 8 deslizamientos entre el 2003 al año 2014, los otros fenómenos con ocurrencia en el municipio son 3 reportes de inundación, 1 reporte de vientos fuertes y 1 de tormenta eléctrica, todos generaron pérdidas materiales y/o personales.

La base de datos DesInventar muestra datos desde el año 1979 hasta el año 2014, a partir de esos datos y complementando la información en base a lo reportado en el PTDI del municipio de Poroma, se obtuvo un resumen de los años que presentaron más desastres naturales, presentado en la Figura 6. En esta imagen se puede ver que el único desastre natural reportado antes del 2003 fue un evento de granizada fuerte, ocurrido el año 1979; posterior a esto, se comienza a reportar desde el año 2003 diversos desastres naturales, entre estos, granizadas fuertes, deslizamientos, inundaciones, etc. En la gráfica podemos ver que el año con más reportes de desastres naturales es el año 2015, con 8 reportes de desastres, seguido del año 2008, donde se reportaron 7 eventos.

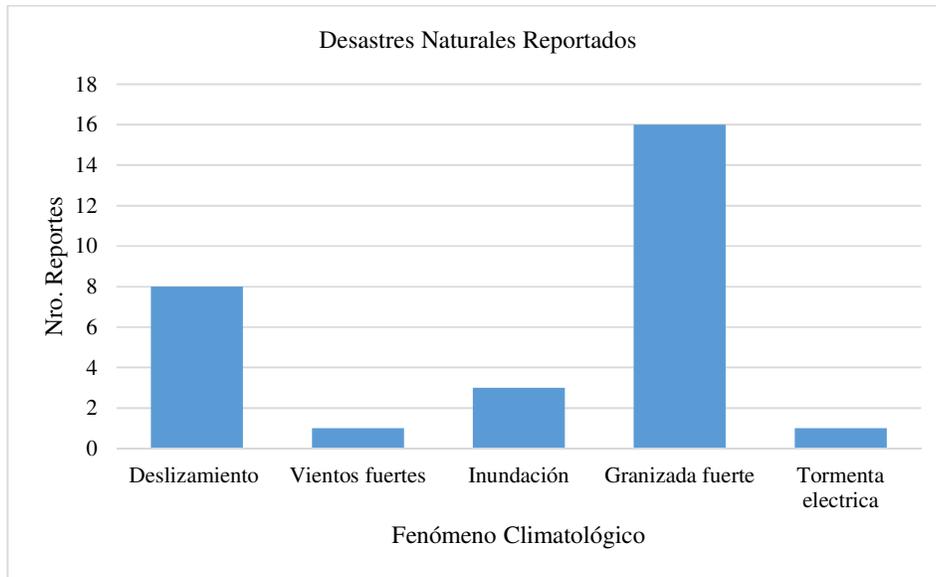


Figura 5: Desastres Naturales Reportados en el Municipio de Poroma.
Fuente: Elaboración Propia según Base de Datos DesInventar y PTDI municipio de Poroma.

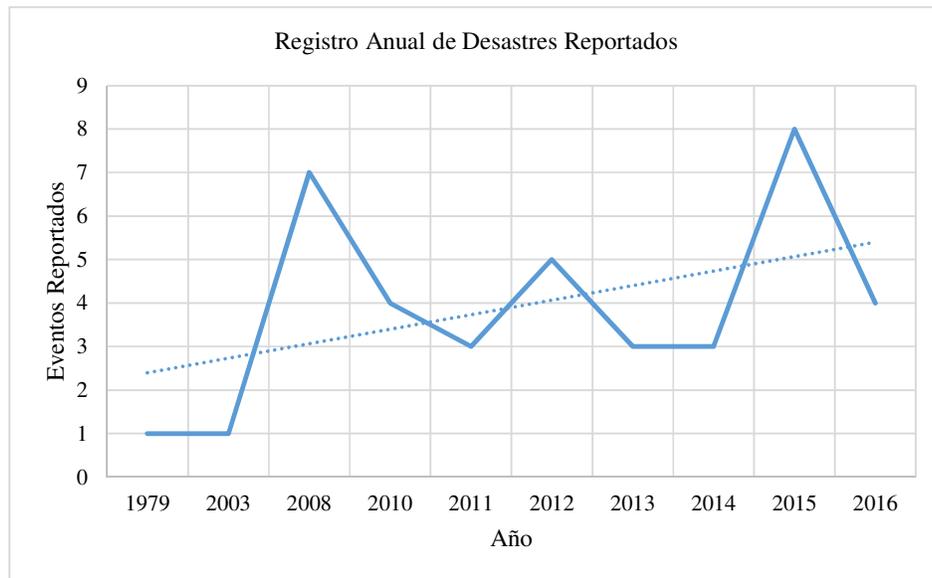


Figura 6: Registro Anual de desastres Naturales Reportados en el Municipio de Poroma.
Fuente: Elaboración Propia según Base de Datos DesInventar y PTDI municipio de Poroma.

Según lo reportado en el PTDI del municipio de Poroma, desde el año 2011 ocurren eventos de granizadas fuertes, sumando los fenómenos de erosión del suelo del municipio, desde el año 2012 se reportaron deslizamientos casi anuales, muchos de ellos significaron pérdidas materiales y personales afectando a la calidad de vida de la población.

3.4 Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI)

El análisis ARI se desarrolló a partir de lo propuesto en el proyecto “Sistema de Agua Potable en la comunidad Huayrapata del municipio de Poroma”, considerando cada componente propuesto y evaluando la resiliencia individual ante las amenazas identificadas anteriormente, se empleó la metodología del Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI) [8] desarrollado por el Programa de Reducción del Riesgo de Desastres de la Cooperación Suiza a través de HELVETAS Swiss Intercorporation, que consiste en el desarrollo de 3 módulos, que se describen a continuación:

Modulo I – Análisis de Riesgo, en este módulo se realiza la recopilación de datos técnicos del proyecto y el área de implementación del mismo, considerando amenazas climáticas y no climáticas, vulnerabilidades y capacidades del sitio

de emplazamiento del proyecto. Al complementar este módulo, se identifican 3 principales amenazas que ponen en riesgo al proyecto, además de considerar las posibles afectaciones [9].

En esta etapa se evaluaron los datos iniciales del proyecto, considerando la información recabada en los anteriores pasos:

Nombre del Proyecto: Sistema de Agua Potable en Comunidad Huayrapata

Municipio: Poroma, **Comunidad:** Huayrapata

Tipo de Proyecto: Sistema de agua potable área rural con o sin PPA.

Estado del proyecto: Preinversión

Beneficios del proyecto: Dotación de agua para uso y consumo de los habitantes de la comunidad Huayrapata a través de piletas comunarias.

Costo estimado (Bs.): 865.657

Para este punto, también se consideraron los datos recopilados según la base de datos DesInventar y lo aclarado en el PTDI del municipio de Poroma, lo que permitió tener una visión más amplia de las amenazas a las que la zona del proyecto es vulnerable. Según los datos obtenidos, las amenazas que ponían en riesgo al proyecto eran: Deslizamientos, con una ocurrencia cada 2 años, granizadas fuertes, con ocurrencias cada año, y vientos fuertes, registrados cada 5 años.

Modulo II - Análisis de la Resiliencia Climática, este módulo consta de cuatro etapas que una vez desarrolladas permiten identificar el nivel de riesgo para cada componente del sistema a ser analizado.

(1) Análisis de Resiliencia Física, en esta etapa se puede medir la fortaleza o robustez de los componentes frente a las amenazas, haciendo énfasis en la exposición y sensibilidad.

En esta etapa, se analiza el proyecto por componente y por etapa, se evaluó cada componente del proyecto según las 3 amenazas identificadas y se analizó según la ubicación del componente, la calidad del componente, diseño y/o construcción, el daño probable, y la capacidad de respuesta:

TABLA 2 – ANÁLISIS DE RESILIENCIA FÍSICA – AMENAZA: DESLIZAMIENTOS

Análisis de Resiliencia Física por Componente y por Amenaza																						
Amenaza:	Deslizamientos										Sucede cada:					2 años					Nivel de Resiliencia Física del Componente	
Componentes del Proyecto	Criterio 1, Ubicación del Componente					Criterio 2, Calidad del Componente - Diseño y/o construcción					Criterio 3, Daño Probable					Criterio 4, Capacidad de respuesta						
	Peso 1 = 35%					Peso 2= 15%					Peso 3 = 30%					Peso 4 = 20%						
	MM	M	D	B	MB	MB	B	ME	A	MA	PT	PP	R	DL	I	MB	B	ME	A	MA		
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Obras de Toma de Agua (tipo azud)			3						4				3			1					2,75	Baja
Línea de aducción por gravedad	1						2				1					1					1,15	Muy Baja
Tanque de almacenamiento de H°C° semienterrado, V=10m3		2					2					2						3			2,2	Baja
Hipoclorador por goteo de cargas		2				1						2				1					2,35	Baja
Sistema de distribución (conjunto de tuberías)			3				2					2						3			2,55	Baja

Fuente: Herramienta ARI [8].

TABLA 3 – ANÁLISIS DE RESILIENCIA FÍSICA – AMENAZA: GRANIZO

Análisis de Resiliencia Física por Componente y por Amenaza																						
Amenaza:	Granizadas										Sucede cada:					5 años					Nivel de Resiliencia Física del Componente	
Componentes del Proyecto	Criterio 1, Ubicación del Componente					Criterio 2, Calidad del Componente - Diseño y/o construcción					Criterio 3, Daño Probable					Criterio 4, Capacidad de respuesta						
	Peso 1 = 35%					Peso 2 = 15%					Peso 3 = 30%					Peso 4 = 20%						
	MM	M	D	B	MB	MB	B	ME	A	MA	PT	PP	R	DL	I	MB	B	ME	A	MA		
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Obras de Toma de Agua (tipo azud)			3							4					5			3			3,75	Media
Línea de aducción por gravedad		2				1						2						3			2,05	Baja
Tanque de almacenamiento de H°C° semienterrado, V=10m3			3					3							5				4		3,8	Media
Hipoclorador por goteo de cargas		2						3					3						4		2,85	Baja
Sistema de distribución (conjunto de tuberías)			3			1						2							4		2,6	Baja

Fuente: Herramienta ARI [8].

TABLA 4 – ANÁLISIS DE RESILIENCIA FÍSICA – AMENAZA: VIENTOS FUERTES

Análisis de Resiliencia Física por Componente y por Amenaza																						
Amenaza:	Vientos Fuertes										Sucede cada:					12 años					Nivel de Resiliencia Física del Componente	
Componentes del Proyecto	Criterio 1, Ubicación del Componente					Criterio 2, Calidad del Componente - Diseño y/o construcción					Criterio 3, Daño Probable					Criterio 4, Capacidad de respuesta						
	Peso 1 = 35%					Peso 2 = 15%					Peso 3 = 30%					Peso 4 = 20%						
	M	M	D	B	M	M	B	M	A	MA	PT	P	R	D	I	M	B	M	A	MA		
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Obras de Toma de Agua (tipo azud)				4						4					5				4		4,3	Alta
Línea de aducción por gravedad		2				2							3					3			2,5	Baja
Tanque de almacenamiento de H°C° semienterrado, V=10m3					5					4					5				4		4,65	Alta
Hipoclorador por goteo de cargas					5					4			3						4		4,05	Alta
Sistema de distribución (conjunto de tuberías)				4			2						3						4		3,4	Media

Fuente: Herramienta ARI [8].

Se puede observar en las 5 tablas del análisis realizado, que, para las 3 amenazas identificadas, los componentes tienen una resiliencia que es baja o muy baja, lo que significa que en el suceso de alguna de estas amenazas el proyecto se vería afectado de alguna manera.

(2) **Análisis de la Resiliencia Funcional**, en esta etapa se considera las propiedades operacionales y sociales de los componentes del proyecto, de tal manera que se determine la sensibilidad del funcionamiento bajo condiciones de amenaza

Para este análisis se consideró la resiliencia funcional del proyecto por componente, evaluando según 4 criterios específicos, la capacidad instalada de cada componente, los consensos y acuerdos, las actividades que involucran la operación y mantenimiento, y la eficacia en el aprovechamiento. Como se puede observar en la Tabla 5, el componente *Hipoclorador por Goteo de Cargas* es el único componente con un nivel de resiliencia Alto, mientras que los demás componentes tienen un nivel de resiliencia Medio:

TABLA 5 – ANÁLISIS DE RESILIENCIA FUNCIONAL

Análisis de Resiliencia Funcional del Proyecto por Componente																						
Amenaza:	Deslizamientos					Sucede cada:					2 años					Nivel de Resiliencia Física del Componente						
Componentes del Proyecto	Criterio 1, Capacidad Instalada					Criterio 2, Consensos y Acuerdos					Criterio 3, Operación y Mantenimiento							Criterio 4, Eficiencia en el Aprovechamiento				
	Peso 1 = 30%					Peso 2 = 25%					Peso 3 = 25%							Peso 4 = 20%				
	D	IN	S	B	OP	D	IN	S	B	OP	D	IN	S	B	OP			MB	B	ME	A	MA
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Obras de Toma de Agua (tipo azud)				4			2					2							4		2,75	Media
Línea de aducción por gravedad				4					4			2						3			1,15	Media
Tanque de almacenamiento de H ² O semienterrado, V=10m ³			3						4					4					4		2,2	Media
Hipoclorador por goteo de cargas				4					4					4					4		2,35	Alta
Sistema de distribución (conjunto de tuberías)			3						4					4				3			2,55	Media

Fuente: Herramienta ARI [8].

(3) **Priorización de Intervenciones**, donde se pueden identificar los componentes del proyecto que corren un nivel de riesgo mayor, considerando la recurrencia de amenazas, de tal manera que puedan ser priorizados y considerados para establecer medidas de adaptación, debido a que aportan resiliencia funcional y física al sistema.

En esta etapa se pudo evaluar el nivel de resiliencia física y compararla con el nivel de resiliencia funcional, obteniendo que los componentes a ser priorizados son los de la Tabla 6.

(4) **Análisis de la Eficacia de las Medidas de Adaptación**, en esta etapa del módulo se puede construir diferentes escenarios de riesgo, considerando condiciones actuales y futuras, en la cual se considera el Cambio Climático, a través de la identificación de factores que hacen vulnerable al proyecto. Posteriormente se identifica cuáles serían las medidas que deberían tomarse para que el proyecto sea resiliente.

Para este caso, se establecieron diferentes medidas de adaptación para el proyecto, evaluando desde el cambio de ruta de la línea de aducción por gravedad hasta el cambio de materiales. Para el componente *Línea de Aducción por Gravedad* se propuso como medidas de adaptación el buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua, la utilización de materiales de calidad e instalación de soportes metálicos, y la estabilización de taludes, pues las amenazas significaban daños a la infraestructura, la ruptura de las tuberías cortando todo el suministro, el desplazamiento de todo el sistema de línea de aducción y el posterior corte del suministro. Se puede observar en la Tabla 7, el cálculo de la eficacia de las 3 medidas propuestas, considerando en un caso la incidencia actual, y por otro la incidencia con Cambio Climático.

TABLA 6 – PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES

Priorización de Intervenciones											
Componentes del Proyecto	Nivel de Resiliencia Física		Nivel de Resiliencia Funcional			Principal amenaza que pone en riesgo el componente	Probabilidad de ocurrencia	Nivel de Riesgo	Medidas para elevar la resiliencia del componente	Que podría suceder si no se ejecuta la medida para elevar la resiliencia	Prioridad
Obras en la toma de agua (tipo azud)	2,75	Baja	3	Media		Deslizamientos	Muy Frecuente	Riesgo Muy Alto	Construcción de un muro de contención de buena calidad	Daños a la infraestructura, taponamiento del sistema, corte del suministro de agua	2
Línea de aducción por gravedad	1,15	Muy Baja	3,3	Media		Deslizamientos	Muy Frecuente	Riesgo Muy Alto	Buscar nuevas rutas para las tuberías de transporte de agua	Daños a la infraestructura, taponamiento del sistema, corte del suministro de agua	1
Línea de aducción por gravedad	2,05	Baja	3,3	Media		Granizada	Muy Frecuente	Riesgo Muy Alto	Buscar nuevas rutas para las tuberías de transporte de agua	Daños a la infraestructura, taponamiento del sistema, corte del suministro de agua	3

Fuente: Herramienta ARI [8].

TABLA 7 – ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA LA LÍNEA DE ADUCCIÓN POR GRAVEDAD

Análisis de eficacia de las Medidas de Adaptación																										
Amenaza:	Granizo y Vientos Fuertes																									
Componente NO Resiliente	Línea de Aducción por Gravedad										Orden de Prioridad	1°														
Medidas para reducir el riesgo:	Buscar nuevas rutas para las tuberías de transporte de agua										Daño esperado:	Daños a la infraestructura, ruptura de Tuberías, desplazamiento del sistema, corte del suministro														
Factores que afectan la Vulnerabilidad											Medidas de Adaptación															
											Medida de Adaptación 1					Medida de Adaptación 2					Medida de Adaptación 3					
	Buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua										Utilización de materiales de calidad e instalación de soportes metálicos					Estabilización de Taludes										
	Incidencia Actual					Incidencia del cambio climático					Incidencia medida de adaptación 1					Incidencia medida de adecuación 2					Incidencia medida de adecuación 3					
MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA		
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Alta Pendiente del Terreno			4						4			2						3				3				
Materiales de construcción de baja calidad				5					5				4		1								4			
Lejanía de la comunidad			4						5				4					4					4			
Acceso limitado a comunicación y protocolos de emergencia			4						5				4					4					4			
Nivel indicativo de riesgo	85%					95%					70%					60%					75%					

Fuente: Herramienta ARI [8].

Para el caso del componente Obras de toma de agua tipo azud, se propusieron las medidas de utilización de materiales de buena calidad, la construcción de un muro de contención y muro perimetral, y la habilitación de un camino o senda directa y adecuada para realizar actividades de mantenimiento y limpieza del mismo.

TABLA 8 – ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA LAS OBRAS DE TOMA DE AGUA (TIPO AZUD)

Análisis de eficacia de las Medidas de Adaptación																									
Amenaza:	Deslizamientos																								
Componente NO Resiliente	Obras de Toma de agua (tipo azud)					Orden de Prioridad	2°																		
Medidas para reducir el riesgo:	Construcción de un muro de contención de buena calidad					Daño esperado:	Daños a la infraestructura, ruptura de Tuberías, desplazamiento del sistema, corte del suministro																		
Factores que afectan la Vulnerabilidad	Medidas de Adaptación																								
	Medida de Adaptación 1					Medida de Adaptación 2					Medida de Adaptación 3														
	Utilizar materiales de buena calidad					Construcción de un muro perimetral					Habilitación de un camino o senda directa y adecuada para el paso a mantenimiento														
	Incidencia Actual					Incidencia del cambio climático					Incidencia medida de adaptación 1					Incidencia medida de adecuación 2					Incidencia medida de adecuación 3				
	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA	MB	B	M	A	MA
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Materiales de construcción de baja calidad			4					4			2					2						3			
Residuos sólidos en las entradas y salidas			3					4				3				2						2			
Falta de mantenimiento			4					4				4				3						2			
Difícil acceso a la zona de toma de agua			4						5			4						4				2			
Nivel indicativo de riesgo	75%					85 %					65 %					55 %					45 %				

Fuente: Herramienta ARI [8].

Módulo III – Evaluación Beneficio-Costo, este módulo tiene un enfoque de costos evitados, pues considera la conveniencia de la incorporación de las medidas resilientes al proyecto, a la vez que compara los gastos de implementación, con los gastos de reconstrucción y la atención a la emergencia.

Para este proyecto, como prioridad 1 se consideró el componente la línea de aducción por gravedad, que tenía como amenaza los deslizamientos y granizadas, que podían afectar a toda la infraestructura, la ruptura de la misma, es desplazamiento del sistema y el corte de suministro. En este caso se consideró como medida para elevar la resiliencia del componente el buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua, así como la instalación de soportes metálicos.

Por otro lado, se analizó para el componente obras de toma de agua (tipo azud) se consideró como medida para elevar la resiliencia del proyecto la construcción de un muro de contención de buena calidad, debido a que la amenaza a la que se enfrenta este componente es a los deslizamientos.

4. RESULTADOS

Los resultados del análisis del proyecto propuesto indican que existen amenazas ligadas con el cambio climático para el proyecto. El proyecto propuesto consta de un sistema de distribución de agua potable después de que la misma es captada en una quebrada de las zonas altas de la comunidad.

Después de la recopilación de datos según la base de datos DesInventar y lo expuesto en el PTDI del municipio de Poroma, se puede observar que los meses en los que existe mayor precipitación son los meses de diciembre a marzo, lo expuesto en el PTDI del municipio indican que se registraron granizadas intensas mayormente en los meses de enero y febrero. Así también, se pudo verificar que los desastres naturales que más afectan a la comunidad de Huayrapata son las granizadas intensas (16 eventos registrados) y los deslizamientos (8 eventos registrados), seguidos de inundaciones (3 eventos registrados) y un evento de tormenta eléctrica y uno de vientos fuertes.

Según lo reportado en el PTDI de la zona, y comprando con lo registrado en la Base de Datos DesInventar, con datos que son desde el año 2003 hasta el año 2016, con un evento registrado en la gestión 1979, se puede verificar que la ocurrencia de estos eventos tiene una tendencia creciente en el tiempo, es decir, que estos eventos fueron incrementando con el paso de los años, eventos que se encuentran relacionados al cambio climático y que empeoran las afecciones a la comunidad.

Los resultados del Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI) que se realizó para el proyecto, indican que el proyecto se encuentra expuesto a diferentes amenazas que amenazan a cada componente del proyecto de forma diferente. Para este caso, se puede observar que el componente más vulnerable es la línea de aducción por gravedad, misma que se expone a granizadas y deslizamientos, que pueden significar rupturas o pérdidas de todo el componente. Debido a esto, se propuso diferentes medidas de adaptación para la resiliencia del componente, optándolo como prioridad 1. La prioridad 2 se la dio al componente Obra de toma de agua (tipo azud) vulnerable a la amenaza de deslizamiento, debido a que se reportaron deslizamientos en la zona e interrupción del curso de agua de la quebrada, lo que puede provocar una interrupción de todo el sistema, razón por la que se propuso la construcción de un muro de contención y cerca perimetral, para la protección de este componente y mejora de la resiliencia del mismo.

TABLA 9 – RIESGO POR COMPONENTE

COMPONENTE	NIVEL DE RIESGO ACTUAL	NIVEL DE RIESGO FUTURO CON INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO	NIVEL DE RIESGO CON LA MEDIDA IMPLEMENTADA
Obras de toma de agua (tipo azud)	75 %	85 %	55 %
Línea de aducción por gravedad	85 %	95 %	60 %

Fuente: Elaboración Propia en base a Informe Final de la Herramienta ARI.

Como se puede observar en la Tabla 9, el riesgo de los componentes incrementa con la interferencia del cambio climático, sin embargo, incluso sin la el nivel de riesgo futuro del Cambio Climático, los componentes del sistema se encuentran expuestos a un riesgo alto.

El análisis Beneficio-Costo que se realizó con la herramienta ARI, nos indica que la implementación de las medidas propuestas supone un beneficio a futuro, debido que para todos los casos el beneficio es mayor a 2, lo que indica que la implementación de cualquiera de las medidas sería beneficiosa para la implementación del proyecto.

TABLA 10 – COSTO DE MEDIDA POR COMPONENTE

COMPONENTE DE RIESGO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA (Bs.)	COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL (Bs./año)
Obras de toma de agua (tipo azud)	Construcción de un muro de contención y cerca perimetral	61.488,00	6.451,00
Línea de aducción por gravedad	Buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua	43.470,00	6.552,00
Línea de aducción por gravedad	Instalación de soportes metálicos	18.228,00	4.260,00
Costos totales de medidas resilientes		123.186,00	17.263,00

Fuente: Elaboración Propia en base a Informe Final de la Herramienta ARI.

Los costos evitados para cada implementación de medida de mitigación representan la reposición de todo el componente del sistema, además de incluir gastos de mano de obra y transporte de materiales

TABLA 11 – COSTOS EVITADOS EN CADA COMPONENTE

MEDIDAS DE MITIGACIÓN	COSTO EVITADOS (Bs.)	AFECTACIONES EVITADAS
Construcción de un muro de contención y cerca perimetral	208.227,00	Daños a la infraestructura, obstaculización del sistema, infiltración de residuos sólidos al sistema, corte del suministro de agua potable en la comunidad de Huayrapata.
Buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua	138.818,00	Daños a la infraestructura del sistema, ruptura o pérdida de las tuberías, desplazamiento del sistema, corte del suministro de agua potable a la comunidad Huayrapata.
Instalación de soportes metálicos	138.818,00	Daños a la infraestructura del sistema, ruptura o pérdida de las tuberías, desplazamiento del sistema, corte del suministro de agua potable a la comunidad Huayrapata.
Costos totales evitados		485.863,00

Fuente: Elaboración Propia en base a Informe Final de la Herramienta ARI.

TABLA 12 – RELACION COSTO BENEFICIO POR MEDIDA DE MITIGACIÓN

MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	RELACIÓN BENEFICIO COSTO
Construcción de un muro de contención y cerca perimetral	Para reducir el riesgo en el componente no resiliente Obras de toma de agua (tipo azud), se requiere la implementación de la medida: Construcción de un muro de contención y cerca perimetral. Que tiene un costo de Bs. 61.488,00 con una relación de beneficio costo de 3,4 lo cual implica que por cada un boliviano que se invierte en resiliencia se evitan Bs. 3,4 en pérdidas, reconstrucción y atención a la emergencia. Esto en consideración de que al año 5 de la implementación de la medida se tiene una efectividad del 90 % en la reducción del riesgo y un 250 % de probabilidad de que suceda el evento.
Buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua	Para reducir el riesgo en el componente no resiliente Línea de aducción por gravedad, se requiere la implementación de la medida: Buscar nuevas rutas para la instalación de las tuberías de transporte de agua. Que tiene un costo de Bs. 43.470,00 con una relación de beneficio costo de 3.1 lo cual implica que por cada un boliviano que se invierte en resiliencia se evitan Bs. 3,1 en pérdidas, reconstrucción y atención a la emergencia. Esto en consideración de que al año 5 de la implementación de la medida se tiene una efectividad del 90 % en la reducción del riesgo y un 250 % de probabilidad de que suceda el evento.
Instalación de soportes metálicos en la línea de aducción	Para reducir el riesgo en el componente no resiliente Línea de aducción por gravedad, se requiere la implementación de la medida: Instalación de soportes metálicos en la línea de aducción. Que tiene un costo de Bs. 18.228.00 con una relación de beneficio costo de 7,6 lo cual implica que por cada un boliviano que se invierte en resiliencia se evitan Bs. 7.6 en pérdidas, reconstrucción y atención a la emergencia. Esto en consideración de que al año 5 de la implementación de la medida se tiene una efectividad del 90 % en la reducción del riesgo y un 250 % de probabilidad de que suceda el evento.

Fuente: Elaboración Propia en base a Informe Final de la Herramienta ARI.

5. CONCLUSIONES

La comunidad de Huayrapata se enfrenta a diversas crisis, entre estas la escasez de agua potable para sus pobladores, razón por la cual urgen proyectos de dotación de agua en el municipio, de tal manera que se pueda proveer del recurso básico a los habitantes de este municipio. La falta de acceso a agua potable en este municipio influye en una mala calidad de vida de los habitantes, pues afecta de manera negativa a la salud de los pobladores, lo cual significa una mayor necesidad de inversión en proyectos de salud pública.

Los datos de la Base de Datos DesInventar, junto con lo reportado en el PTDI del municipio, indican que las principales amenazas a las que se ve expuesto este municipio son los deslizamientos, además de las granizadas intensas, mismas que pueden provocar daños considerables, tanto materiales como personales.

El proyecto “Sistema de Agua Potable en Comunidad Huayrapata” propone un sistema de abastecimiento de agua potable a través de piletas comunitarias que beneficiarían a los habitantes de la comunidad Huayrapata, sin embargo, este proyecto no contempla la gestión de riesgo de desastres, considerando que la zona es vulnerable a eventos naturales que pueden afectar al proyecto. Así también, según la base de Datos DesInventar y lo declarado en el PTDI del municipio, la ocurrencia de estos eventos fue incrementando debido al cambio climático, desencadenando eventos más seguidos e intensos, mismos que pueden ocasionar pérdidas futuras al proyecto.

La herramienta ARI ayuda a evaluar la eficacia de un proyecto en un contexto de cambio climático, para este caso, se pudo evaluar cada uno de los componentes del proyecto y la vulnerabilidad de los mismos ante los eventos naturales que pueden ocurrir en la zona de implementación del proyecto, de esta manera, se pudo determinar que los componentes más vulnerables del proyecto son: Obras de toma de agua (tipo azud) y la Línea de aducción por gravedad, pues presentan una resiliencia menor ante los eventos de deslizamientos y granizadas intensas.

Se propuso 3 medidas de adaptación al cambio climático para los componentes, 1 medida para la obra de toma de agua y 2 para la línea de aducción por gravedad, mismas que elevarían la resiliencia de los componentes, evitando el corte del suministro de agua y optimizando el proyecto. La implementación de estas medidas es viable, pues en cada medida propuesta, el beneficio es mayor a 3, lo que supone un beneficio futuro, evitando reconstrucción del sistema y atención de emergencias.

REFERENCIAS

- [1] Gobierno Autonomo Municipal de Poroma, Plan Territorial de Desarrollo Integral, Sucre, 2016.
- [2] Instituto Nacional de Estadística, «Base de Datos de Censos Municipales,» 2012. [En línea]. Available: <https://n9.cl/qa7ho>. [Último acceso: marzo 2022].
- [3] «Distanciados por la geografía, hermanos por la pobreza,» *Correo del Sur*, 21 noviembre 2021.
- [4] L. Holguín Aranda y G. P. G., «Los modelos de estimación de riesgo de desastres y su clasificación de sus niveles de riesgo,» *South Sustainability*, vol. 051, p. 8, 2022.
- [5] J. Viand, «El desafío del ordenamiento urbano con enfoque en reducción de riesgo de desastres. Una revisión del caso de la ciudad de Santa Fé (Argentina),» *SEDICI - Repositorio Institucional de la UNLP*, p. 9, 2014.
- [6] UNDRR, *Base de Datos DesInventar, Bolivia*, 2014.
- [7] Empresa Constructora CHADOL S.R.L., «Construcción de un Sistema de Agua Potable en la Comunidad de Huayrapata, del Municipio de Poroma,» 2016.
- [8] HELVETAS Swiss Intercooperation, «Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI),» La Paz, Bolivia, 2018.
- [9] C. R. y F. S., «Análisis de Riesgo en las Fuentes de agua de la Población de Tablacha con la Herramienta "ARI",» Cochabamba - Bolivia, 2021.
- [10] B. L. Díez Mejía, «Pautas para elaborar la introducción de un artículo científico,» *SciELO*, vol. 23, n° 1, 2008.
- [11] E. Henríquez Fierro y M. I. Zepeda Gonzalez, «Elaboración de un artículo científico de investigación,» *SciELO*, vol. 10, n° 1, 2004.
- [12] Universidad de Granada, «Cómo elaborar un artículo científico,» Universidad de Granada - Departamento de Filosofía, [En línea]. Available: <https://www.ugr.es/~filosofia/recursos/innovacion/convo-2005/trabajo-escrito/como-elaborar-un-articulo-cientifico.htm>. [Último acceso: 19 02 2021].
- [13] V. Andrea y P. R. Harris D., «Algunas claves para escribir correctamente un artículo científico,» *SciELO*, vol. 80, n° 1, pp. 70-78, 2009.