

## Diagnóstico preliminar de la calidad bacteriológica del agua de consumo humano y evaluación de prioridad de medidas correctivas en el municipio de Poopó (Oruro, Bolivia)

*Preliminary diagnostic of bacteriologic water quality of human consumption and corrective measures priority assessment in the municipality of Poopó (Oruro, Bolivia)*

Luis H. Vildoza, Yasin Peredo Ramírez & Fabiola Vargas Elío

Centro de Comunicación y Desarrollo Andino, CENDA, Cochabamba, Bolivia, Av. Tadeo Haenke 2231 – Casilla 3226

lhuasvg@gmail.com

**Resumen:** La presencia de bacterias coliformes en el agua de consumo representa una amenaza potencial a la salud pública, ya que puede incrementar el riesgo de generar enfermedades infecciosas en la población más vulnerable. En el municipio de Poopó la población cuenta con una baja calidad del agua, además de una escasa cobertura para comunidades rurales, lo que podría estar relacionado con los altos índices de enfermedades infecciosas registradas. El presente estudio se destinó a establecer la prioridad de medidas correctivas de la contaminación bacteriana y la sanidad del agua de consumo humano en concentrados poblacionales y comunidades rurales del municipio de Poopó, por medio de un monitoreo bacteriológico *in situ* para establecer la presencia de coliformes totales y termotolerantes, además de una inspección sanitaria en cada punto de muestreo. El monitoreo bacteriológico evidenció la presencia de coliformes totales en 82% de las muestras y coliformes termotolerantes en 48%. La inspección sanitaria demostró recurrentes falencias que evidencian condiciones insalubres de gestión y almacenamiento de agua por parte de los pobladores. La evaluación de prioridad de medidas correctivas demostró que 20,5% de las muestras requieren de baja priorización, 44,6% prioridad media y 34,9% prioridad urgente. Estos resultados permiten concluir que la gestión hídrica en Poopó requiere de medidas para la eliminación de la contaminación bacteriana, considerando que las comunidades rurales que autogestionan el recurso hídrico requieren de mayor intervención que los concentrados poblacionales, por encontrarse altamente expuestos a riesgos sanitarios que afectan su calidad de vida.

**Palabras clave:** Contaminación bacteriana, calidad del agua, inspección sanitaria, medidas correctivas.

**Abstract:** The presence of coliform bacteria in drinking water represents a potential threat to public health, as it may increase the risk of generating infectious diseases in the most vulnerable population. In the municipality of Poopó, the

population has low water quality, as well as poor coverage in rural communities, which could be related to the high rate of infectious diseases registered. The present study was aimed at establishing the prioritization of corrective measures of bacterial contamination and the sanitation of water for human consumption in downtown area and rural communities of the municipality of Poopó, through *in-situ* bacteriological monitoring to establish the presence of total and thermotolerant coliforms, in addition to a sanitary inspection at each sampling point. Bacteriological monitoring showed the presence of total coliforms in 82% of the samples and thermotolerant coliforms in 48%. The sanitary inspection showed recurrent flaws that evince unhealthy conditions of water management and storage by the residents. The priority assessment of corrective measures showed that 20,5% of the samples require low priority, 44,6% medium priority and 34,9% urgent priority. These results allowed to conclude that water management in Poopó requires measures to eliminate bacterial contamination, considering that rural communities that manage their water resources require more intervention than the downtown area, because they are highly exposed to health risks that affect their quality of life.

**Keywords:** Bacterial contamination, water quality, sanitary inspection, corrective measures.

## 1 Introducción

La calidad y el saneamiento del agua se encuentran entre los factores más importantes para el bienestar, la salud y el desarrollo humano [2][13]. A nivel mundial se mantiene la errada concepción de que la escasez de agua potable para el consumo humano es el principal problema asociado al recurso hídrico, no obstante, la principal problemática es la deficiente gestión de la calidad hídrica en los sistemas de tratamiento de agua. Por este motivo, la atención y los esfuerzos dirigidos a la problemática hídrica suelen enfocarse primordialmente al abasto hídrico, restando atención a los aspectos sanitarios asociados al consumo de agua, que requieren mayor priorización e inversión pública [6][7][9].

Esta problemática se agrava en áreas rurales con población de escasos recursos y limitado acceso al agua. En estas regiones el costo del agua puede absorber una porción considerable de los ingresos diarios medios [12], de modo que la escasez y baja calidad del recurso hídrico no sólo es un problema de índole ambiental o de salubridad pública, sino también de índole económica y social, donde la población más vulnerable suele ser la más afectada.

En los países en vías de desarrollo, el servicio de abasto de agua potable, suele ser evaluado en función a distintos indicadores cuantitativos que suelen incluir calidad, cobertura, cantidad, continuidad, costo y otros [12]. Con estas medidas se pretende aportar a la mejora de la calidad de vida de la población, favoreciendo a su vez a la reducción de enfermedades diarreicas, que representan uno de los problemas de salud pública más importantes [3][10].

Los principales riesgos para la salud humana asociados al consumo de agua contaminada son de índole microbiológica, ya que se le atribuye el 80% de todas las enfermedades infecciosas y más de una tercera parte de las defunciones en los países en vías de desarrollo [12].

Ante la imperativa tarea de evaluar y controlar las enfermedades causadas por la contaminación bacteriana, durante más de medio siglo se han empleado a bacterias del grupo coliforme como un indicador del grado de contaminación del agua. Su presencia en el agua potable representa una amenaza potencial a la salud pública, ya que son un indicador fiable de la existencia de bacterias patógenas en el agua, aunque no necesariamente de contaminación fecal [6][7][10]. Dentro del grupo coliforme, las bacterias termotolerantes son un indicador de alto grado de certeza de contaminación fecal, por lo que su presencia en el agua de consumo representa un mayor riesgo de desarrollar enfermedades infecciosas [2][12].

En comunidades rurales, el principal riesgo para la salud humana son las enfermedades relacionadas al consumo de agua contaminada, favorecido por la falta de técnicas de potabilización eficientes y el desabastecimiento del recurso hídrico [12][18]. El municipio de Poopó (Oruro, Bolivia) no es ajeno a esta problemática, ya que los principales concentrados poblacionales cuentan con ineficientes sistemas de abastecimiento hídrico, compuestos por obras de captación rústicas, además de ausentes o deficientes sistemas de desinfección. En suma, las comunidades rurales de Poopó no cuentan con sistemas públicos de abastecimiento, sino que muchas de ellas optan por autogestionar sistemas artesanales de aprovechamiento de agua subterránea, que presentan serias limitaciones y deficiencias sanitarias.

La limitada disponibilidad de agua para uso humano se debe en parte a factores naturales, como la escasa precipitación anual y altos índices de evapotranspiración, propios de la región altiplánica en la que se encuentra Poopó [23], además de factores antrópicos como la presencia de una intensa actividad minera de larga data, que requiere de ingentes cantidades de agua para su funcionamiento, provenientes de fuentes superficiales como ríos y quebradas [16], junto con fuentes subterráneas y acuíferos naturales. La actividad minera, además de aportar al desabastecimiento hídrico, también se constituye como el principal contaminante del agua, ya que incrementa los niveles de salinidad e introduce contaminantes como elementos metálicos, limitando considerablemente la aptitud de uso del agua [1][16][22][23].

Debido a estos factores, gran parte de la población de Poopó se encuentra altamente vulnerable frente a la escasez y contaminación hídrica [1], en el entendido de que sólo un porcentaje de la población cuenta con un sistema de abastecimiento de agua por tubería, mientras que la fracción más vulnerable que vive en comunidades rurales, obtiene agua de fuentes subterráneas que no cuentan con un sistemas de abastecimiento, tratamiento y saneamiento adecuado.

La contaminación de agua de consumo es uno de los factores que más favorece a la generación de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs). Durante el primer semestre de 2019, el municipio de Poopó ya contaba con 885 casos de EDAs registrados en los 4 centros de salud del municipio. Es de especial preocupación que los grupos etarios que más EDAs registran son los niños de 6 meses a 4 años de edad [17], por lo que se encuentran en situaciones de alto riesgo.

En este contexto de escasez y contaminación hídrica, es imperativo diagnosticar la calidad del agua disponible para el uso de la población de Poopó, por lo que este estudio se enfocó en realizar una evaluación para priorizar la aplicación de medidas correctivas de la contaminación y la sanidad del agua en el municipio de Poopó. Para tal fin, se requiere contar con dos conjuntos de datos: una inspección sanitaria de las fuentes de agua estudiadas, además de un estudio de la calidad bacteriológica del agua que, en el caso de Poopó, requiere considerar a sistemas de abastecimiento hídrico que suministran agua a concentrados poblacionales, así como a las fuentes de aprovechamiento de agua subterránea, ampliamente usadas en comunidades rurales.

## 2 Metodología

### 2.1 Monitoreo Comunitario del Agua (MCA)

Para la realización de este estudio se aplicó la metodología del Monitoreo Comunitario del Agua (MCA), proceso que implica la participación de los actores locales, principalmente pobladores involucrados e instituciones públicas, con los cuales se realiza el diseño muestral usando criterios definidos en consenso, además de su incorporación en la etapa de obtención de datos [5].

Esta metodología contribuye a la formación de un vínculo cercano entre distintos actores locales e instituciones técnico-académicas, favoreciendo la comprensión de diversas problemáticas socioambientales [20], ya que impulsa la apropiación de técnicas *in situ* de evaluación de la calidad hídrica por parte de la población local, de manera que puedan usar la información generada para los fines que vean convenientes [15].

Es así que se identificaron 83 puntos de muestreo aplicando el MCA con la participación de actores locales (comunarios, personal del Servicio Departamental de Salud -SEDES-, funcionarios públicos y técnicos del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Poopó -SAPAP-). De esta manera se generó un diseño muestral estratificado, distribuyendo las muestras entre los concentrados poblacionales y comunidades rurales del municipio. Una vez definidos los estratos, se realizó un muestreo de las fuentes de agua de los pobladores más vulnerables a la contaminación hídrica, además de centros de salud, unidades educativas y tanques de almacenamiento de los sistemas públicos.

### 2.2 Priorización de medidas correctivas

Para la priorización de medidas correctivas se aplicó la metodología propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [13], que consiste en realizar una evaluación en base a categorizaciones cuantitativas, tomando en cuenta análisis de calidad bacteriológica del agua, junto con los de una inspección sanitaria. El análisis combinado de ambos estudios, en función a la matriz de la figura 1, permite identificar las zonas en las que se requiere una intervención prioritaria, además de ser una herramienta para la toma de decisiones racionales y eficaces [13].

		Puntuación de la inspección sanitaria									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clasificación según estudio bacteriológico	E										
	D										
	C										
	B										
	A										
	Ninguna medida	Riesgo bajo: prioridad baja de adopción de medidas			Riesgo de medio a alto: mayor prioridad de adopción de medidas			Riesgo muy alto: urgente adopción de medidas			

Figura 1: Matriz de evaluación de la prioridad de medidas correctivas para pequeños sistemas de abastecimiento de agua de consumo, en función de la calidad microbiológica y la inspección sanitaria. Fuente: Modificado de Lloyd *et al.* [11].

### 2.3 Monitoreo bacteriológico

Para el estudio bacteriológico se realizó la recolección de las muestras usando frascos estériles con tapa de rosca [18], obteniendo muestras de 200 mL, de los cuales 100 mL se destinaron a estimar la presencia de coliformes totales y 100 mL para coliformes termotolerantes.

El análisis bacteriológico se realizó con el kit Wagtech™ Potatest® 2 (Palintest®), diseñado para realizar análisis *in situ*. A cada muestra se aplicó una filtración de membrana al vacío, con membranas de 0,45 µm de diámetro de poro, posteriormente se realizó la siembra en caldo lauril sulfato.

Las muestras filtradas se incubaron en el sistema de incubación simultánea del kit mencionado. Todas las muestras se sometieron a un periodo de reanimación de 1 hora a 30°C. Posteriormente la incubación se llevó a cabo durante 18 horas a 37°C

para coliformes totales y a 44°C para coliformes termotolerantes. Una vez culminada la incubación se realizó el conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC 100mL<sup>-1</sup>). Los resultados se clasificaron en función a las 5 categorías requeridas en la matriz de evaluación (figura 1), donde: A=0; B=1-10; C=11-100; D=101-1000 y E>1001 UFC 100 mL<sup>-1</sup> [12].

#### Inspección sanitaria

Para la inspección sanitaria se usaron formularios elaborados por la OMS [14], aplicando el formulario correspondiente según el tipo de fuente estudiada. Estos formularios requieren de respuestas dicotómicas que proveen valoraciones de riesgo sanitario dentro de un rango de 0 a 9 según los criterios utilizados, donde 0 es ningún riesgo y 9 máximo riesgo.

Los datos para el llenado de los formularios se obtuvieron *in situ* por medio de la observación directa del área en el que se encuentra la fuente de agua estudiada. En el caso de las muestras obtenidas en hogares, corresponde a la fuente que la familia utilice comúnmente para su consumo, en las entidades públicas corresponde a los grifos más usados para diversos fines y, por último, en los sistemas de abastecimiento corresponde a las cañerías de salida.

### 2.4 Socialización de resultados

Una vez obtenidos los resultados se dio lugar a una jornada de socialización de los mismos, convocando a los actores locales más relevantes del municipio, entre ellos comunidades indígenas y campesinas, centros de salud, autoridades municipales, monitores comunitarios, instituciones encargadas de la gestión del agua y otros. La difusión de los resultados por diferentes medios y técnicas es imprescindible para consolidar la relevancia de los resultados y la exigibilidad del cumplimiento de las atribuciones de entidades públicas encargadas de gestionar y abastecer de agua potable a la población [5].

## 3 Resultados y discusión

Los 83 puntos de muestreo definidos por medio del MCA se encuentran distribuidos a lo largo del municipio de Poopó (figura 2), donde 51 puntos de estudio se encuentran en los 3 principales concentrados poblacionales del municipio (Villa Poopó, Tolapampa, Venta y Media), mientras que los restantes 32 puntos se encuentran en comunidades rurales.

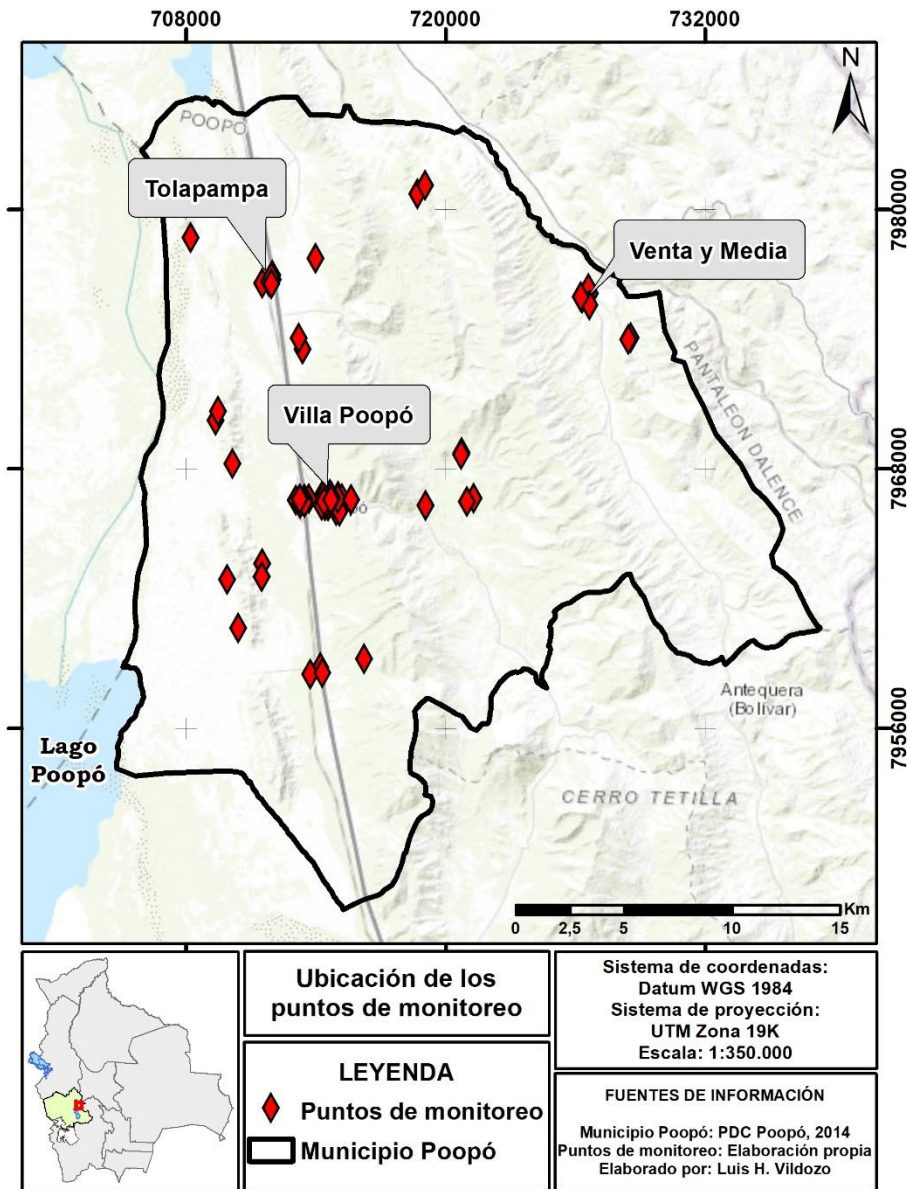


Figura 2: Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo en el municipio de Poopó (Oruro, Bolivia).

Las muestras estudiadas incluyen diferentes tipos de fuentes de agua para la población, como tanques de almacenamiento, piletas públicas, grifos de unidades educativas, grifos de hogares particulares provenientes del sistema de abastecimiento, además de fuentes subterráneas (pozos, vertientes) de hogares sin acceso al sistema

de abastecimiento. La proporción de las diferentes fuentes muestreadas se observa en la figura 3.

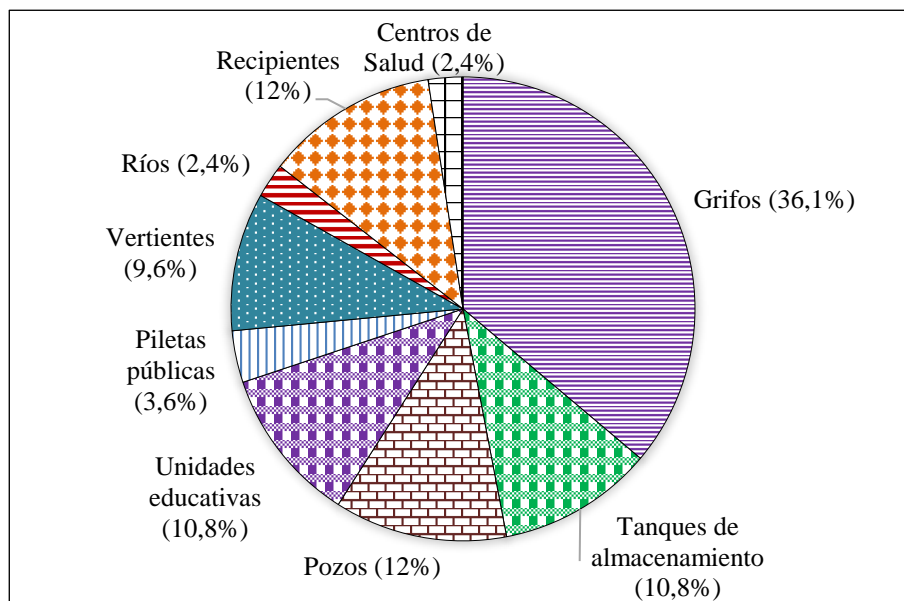


Figura 3: Tipos de fuentes de las que se obtuvieron las muestras estudiadas, expresadas en porcentaje.

### 3.1 Monitoreo bacteriológico

En el monitoreo bacteriológico se realizó el conteo de coliformes totales y coliformes termotolerantes en cada punto de muestreo. Para su visualización, en la figura 3 se categorizaron los resultados en función de su ubicación en concentrados poblacionales y comunidades rurales, ya que los puntos en concentrados poblacionales se proveen de sistemas públicos de abastecimiento, mientras que los puntos en zonas rurales son sistemas rústicos de explotación de pozos, vertientes y otras fuentes generalmente subterráneas.

Los resultados en conjunto (concentrados poblacionales y comunidades rurales) muestran la presencia de coliformes totales en 81,9% de las muestras, mientras el 48,2% contiene coliformes termotolerantes. Cabe destacar que la normativa nacional [4], junto con las directrices de EPA (USA), OMS (1993) y la norma 98/83 de la UE mencionan que ambos grupos de coliformes deben estar totalmente ausentes en agua de uso y consumo humano [6].

De los 3 sistemas de abastecimiento del municipio, sólo el de Villa Poopó cuenta con unidades de pretratamiento que constan de galerías filtrantes y un desarenador,



posteriormente el agua pasa a tanques de almacenamiento donde se aplica cloración dosificada en función al caudal de entrada. Pese a contar con el sistema de cloración, los resultados muestran que el sistema de Villa Poopó contiene coliformes en los tanques de almacenamiento y en los grifos domésticos, demostrando la ineficiencia de este tratamiento. Los demás sistemas de abastecimiento (Tolapampa y Venta y Media) no cuentan con ninguna medida de tratamiento, sólo unidades de captación y distribución.

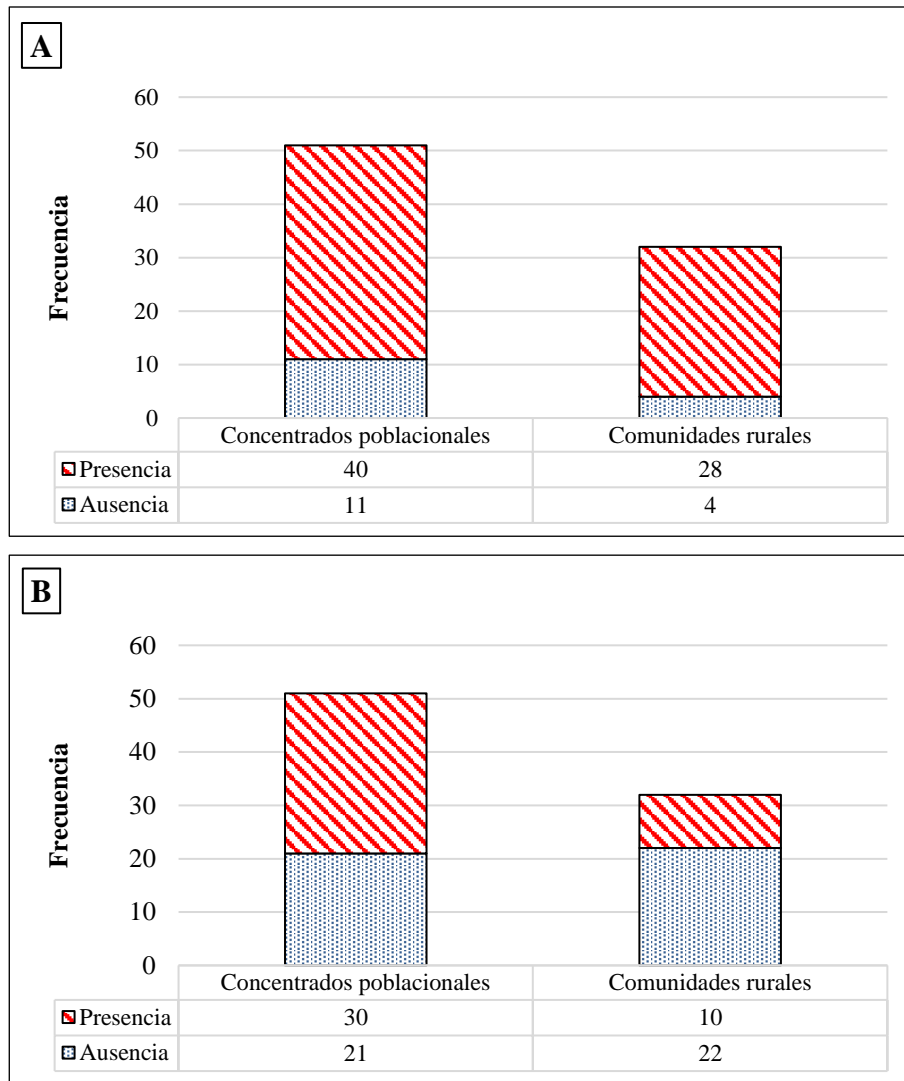


Figura 4: Resultados del monitoreo bacteriológico del agua. Frecuencia de presencia/ausencia de bacterias coliformes. **A:** Coliformes totales. **B:** Coliformes termotolerantes.

En el agua distribuida en los concentrados poblacionales existe una amplia presencia de coliformes totales y termotolerantes, lo que denota una mala gestión de los sistemas de abastecimiento, ya que sólo 2 de los 7 tanques de almacenamiento estudiados mostraron ausencia de coliformes. De los restantes 44 puntos estudiados en concentrados poblacionales, sólo 7 mostraron ausencia de coliformes. El conteo de coliformes totales en concentrados poblacionales varía desde 0 UFC 100mL<sup>-1</sup> hasta valores muy numerosos para contar (MNPC), mientras que coliformes termotolerantes se encontraron desde 0 hasta 24 UFC 100mL<sup>-1</sup>.

Para evitar la presencia de coliformes en los sistemas de abastecimiento se suele aplicar un sistema de cloración que desactive las células bacterianas, sin embargo algunas células pueden sobrevivir y adaptarse en la red de distribución, formando biopelículas adheridas a las paredes de las tuberías, que favorecen la creación de microambientes dinámicos y generan subproductos corrosivos, acelerando el deterioro de las tuberías [7][21].

En el caso de las comunidades rurales, las muestras corresponden a fuentes de agua como pozos, vertientes, grifos domésticos alimentados por sistemas rústicos de aprovechamiento de agua subterránea y recipientes donde las familias almacenan y manipulan el agua para consumo. En algunos casos las familias obtienen agua directamente de ríos, pozos y vertientes, muchos de éstos se encuentran expuestos a la intemperie con nula protección, o bien precariamente protegidos con tapas metálicas oxidadas u otro material que puede considerarse un foco de contaminación en lugar de una medida de protección.

El monitoreo bacteriológico en comunidades rurales mostró la amplia presencia de coliformes totales, equivalente al 87,5% de las muestras rurales, sin embargo la presencia de coliformes termotolerantes equivale al 31,3% de estas muestras, valor considerablemente menor a los obtenidos en concentrados poblacionales. El conteo de coliformes totales en comunidades rurales varía desde 0 UFC 100mL<sup>-1</sup> hasta MNPC, al igual que coliformes termotolerantes.

La presencia de coliformes termotolerantes en cuerpos de agua naturales está ampliamente registrada [15]. La OMS [13] menciona que su presencia en aguas subterráneas puede variar desde 0 hasta 100 UFC 100 mL<sup>-1</sup>, siendo aún mayor en aguas superficiales como ríos, arroyos, lagos y embalses.

Los altos porcentajes de muestras con coliformes en agua de consumo son comúnmente reportados en estudios similares al presente. Ese es el caso de Isaac *et al.* [10], quienes reportan la presencia de coliformes totales y termotolerantes en un 60% y 22,3% de sus muestras, respectivamente. Por su parte, Sánchez *et al.* [18] registraron ausencia de organismos microbianos sólo en 31% de sus muestras de agua para consumo humano. En ambos casos se obtuvieron resultados equiparables a los reportados en el estudio.

### 3.2 Inspección sanitaria

La inspección sanitaria evidenció la presencia de falencias recurrentes y de gran preocupación para la calidad sanitaria del agua potable. Entre las observaciones más recurrentes se encuentran:

- El estado antihigiénico de los recipientes en los que las familias recogían y almacenaban el agua.
- El estado deteriorado de la tubería y los grifos.
- Presencia de potenciales focos de contaminación cercanos a la fuente de agua, como animales domésticos, ganado, heces y otros.
- Vertientes y pozos desprotegidos o con protección deficiente, como láminas metálicas oxidadas y otro material que podría convertirse en foco de contaminación.

Los resultados de la inspección sanitaria se categorizaron según los rangos requeridos por la matriz de evaluación, donde 0 representa ningún riesgo y 9 riesgo máximo. La figura 5 muestra los resultados de esta clasificación.

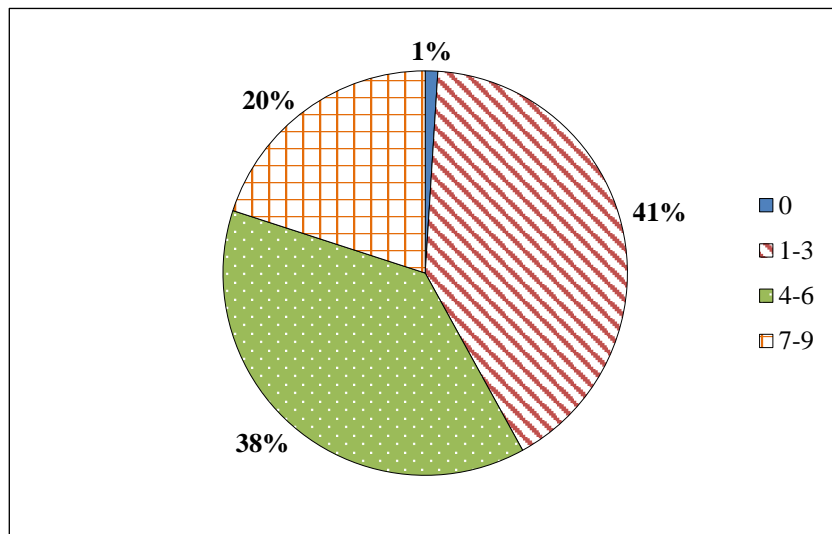


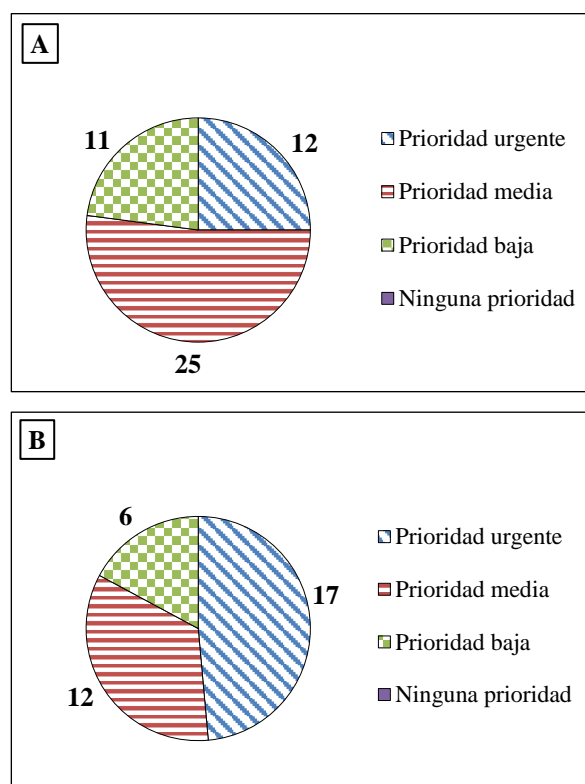
Figura 5: Resultado de la inspección sanitaria expresada en porcentaje.

La recurrencia de las malas prácticas de sanidad listadas anteriormente fue determinante para que el 58% de los puntos estudiados obtengan valores de 4 a 9, indicando un alto y muy alto riesgo sanitario. Es necesario mencionar que la inspección sanitaria no es por sí sola un resultado concluyente, sino una herramienta que puede aportar al entendimiento de las causales de la presencia o ausencia de

contaminación bacteriana. Por este motivo la inspección sanitaria es necesaria para obtener la evaluación de prioridad de medidas correctivas.

### 3.3 Evaluación de prioridad de medidas correctivas

La evaluación de prioridad se obtuvo en función a los resultados del monitoreo bacteriológico y la inspección sanitaria. En la figura 6 se observan estos resultados divididos en concentrados poblacionales y comunidades rurales para facilitar su análisis.



**Figura 6:** Resultados de la evaluación de prioridad de medidas correctivas, expresado en frecuencia. **A:** Evaluación de prioridad en concentrados poblacionales. **B:** Evaluación de prioridad en comunidades rurales.

Los resultados en conjunto muestran que 34,9% de las muestras contiene una prioridad urgente de medidas correctivas, 44,6% prioridad media y 20,5% prioridad baja.

El mapa de la figura 7 muestra la distribución espacial de los puntos estudiados con su respectivo nivel de prioridad de medidas correctivas, donde se observa que

las comunidades rurales son las zonas con mayor frecuencia de prioridad urgente, mientras que los concentrados poblacionales concentran a la mayoría de los puntos con prioridad media. No se registraron puntos que no requieran de medidas correctivas.

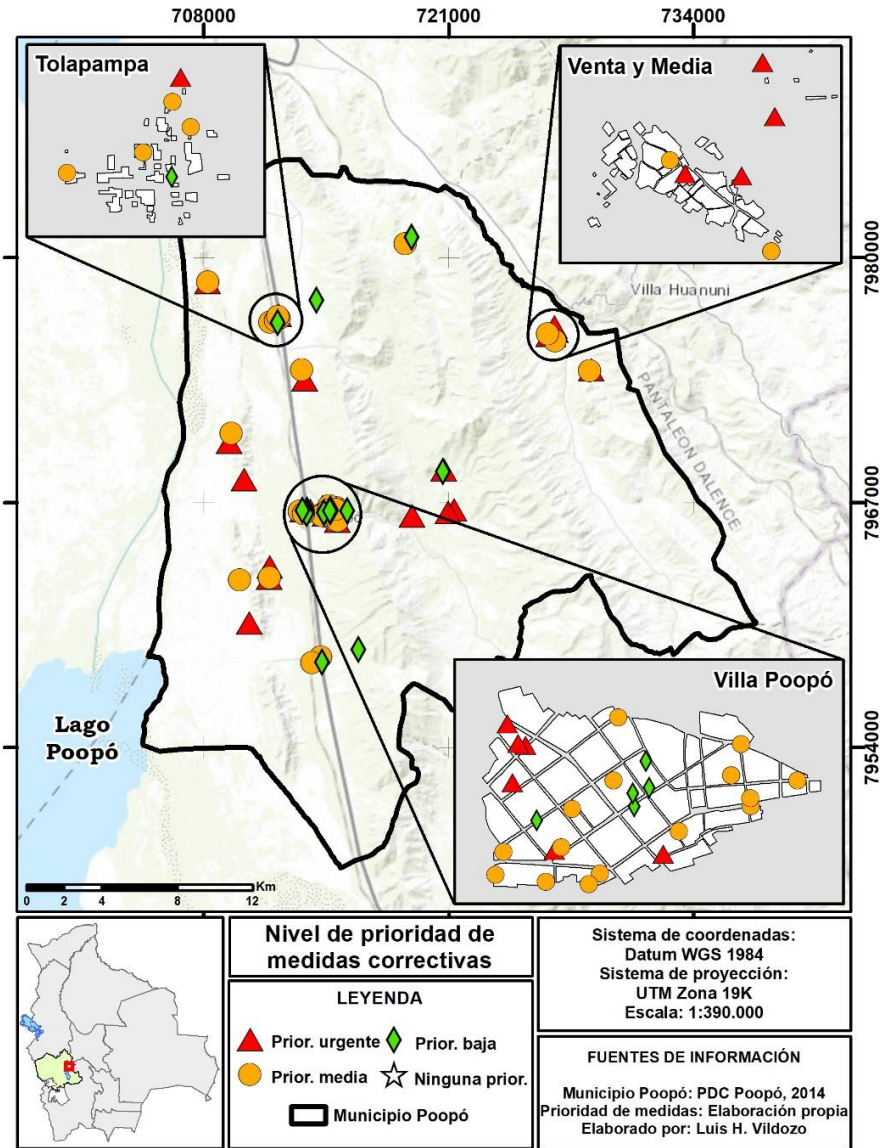


Figura 7: Mapa de ubicación de los puntos con diferentes niveles de prioridad de medidas correctivas en el municipio de Poopó. Los niveles de prioridad se encuentran distribuidos heterogéneamente entre concentrados poblacionales y comunidades rurales.

Con el fin de mitigar el riesgo sanitario al que están expuestos los pobladores de los concentrados poblacionales, se debe considerar el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua, ya que un sistema constituido sólo por unidades de pretratamiento básico, como un desarenador y un filtro, son ineficientes en la remoción de contaminación bacteriana [3]. Por este motivo se requiere de un tratamiento complementario de desinfección para la eliminación de coliformes.

Pese a que el sistema de Villa Poopó es el único que cuenta con un tratamiento de cloración previo a la distribución, este sistema demostró ser ineficiente, ya que se registró la presencia de coliformes en los tanques de almacenamiento y en grifos de los hogares alimentados por este sistema, lo que puede deberse a la ausencia de cloro residual en la red de distribución. Aún si el sistema contara con cloro residual, su presencia no es un indicador inequívoco de la total ausencia de coliformes, ya que De Sousa *et al.* [7] evidenciaron la presencia de 51 UFC 100 mL<sup>-1</sup> en muestras con 10 a 12 mg L<sup>-1</sup> de cloro residual.

Por las evidentes deficiencias en los actuales sistemas de tratamiento de agua potable en Poopó, es necesario evaluar las diferentes unidades del mismo, ya que en este tipo de sistemas con limitados procesos de pretratamiento, la calidad del agua suele mostrar una disminución al llegar al destinatario final, debido a las ineficiencias intrínsecas del sistema [8].

En términos generales, la implementación de medidas correctivas debe ser priorizada primeramente en las comunidades rurales, ya que presentan condiciones de insalubridad y contaminación mayores a las reportadas en concentrados poblacionales. El hecho de que las zonas rurales se vean menos beneficiadas que las zonas urbanas en cuanto al cumplimiento de necesidades básicas no es un evento aislado, sino una constante en sociedades latinoamericanas [3].

#### **4 Recomendaciones y futuras consideraciones**

Los resultados de este estudio se constituyen como un diagnóstico preliminar de las condiciones sanitarias del agua de consumo, que permitió evidenciar las principales falencias a ser subsanadas en cuanto a tratamiento y abastecimiento de agua. En ese entendido, es necesario aplicar un enfoque integral para la gestión del recurso hídrico, que considere desde la evaluación de la cuenca de captación, el incremento de la cobertura de abastecimiento y la mejora de la calidad bacteriológica del mismo, todo esto destinado al planteamiento de posibles estrategias integrales para abordar la gestión cotidiana del agua [13]. En función a las principales falencias identificadas en el presente estudio, se plantean algunas recomendaciones destinadas a mitigar los altos niveles de riesgo sanitario y mejorar la calidad del agua de consumo humano:

#### 4.1 Sostenibilidad del monitoreo e incorporación de parámetros

La ausencia de un proceso de monitoreo frecuente y sostenible es una falencia importante a considerar, por lo que surge la necesidad de que instituciones competentes realicen un monitoreo de la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua, con una frecuencia y distribución de puntos de muestreo consensuados con los actores locales. Cabe destacar que las entidades públicas (gobiernos municipales, departamentales y ministerios competentes) deben ser las encargadas de encabezar este proceso, ya que se trata de competencias propias de estas entidades [1].

Por otra parte, se sugiere priorizar la incorporación de parámetros críticos catalogados como vigilancia mínima [12], como coliformes termotolerantes, cloro residual (en caso de cloración), además de parámetros básicos como pH y turbidez.

Estos parámetros son prioritarios ya que el cloro residual evita la propagación bacteriana en la red de distribución. El pH y la turbidez están estrechamente relacionados con su eficiencia, ya que niveles bajos de pH pueden favorecer el agotamiento del cloro residual, produciendo la generación de reacciones químicas con subproductos de las tuberías. De igual manera, los altos valores de turbidez provocan el agotamiento y reducen la eficiencia del cloro residual [8][19]. Por estos motivos es importante que el monitoreo de los parámetros mencionados refleje valores acordes a lo establecido por la normativa nacional.

En el caso puntual del sistema de Villa Poopó, se recomienda detectar en qué etapa del sistema de abastecimiento se encuentra la falla que permite la presencia de coliformes en agua, para lo que se requiere establecer una evaluación periódica en diferentes unidades del sistema, considerando obras de captación, pretratamientos, tanques de almacenamiento y redes de distribución.

#### 4.2 Mejoramiento de los sistemas de abastecimiento en concentrados poblacionales

Los sistemas de abastecimiento estudiados no proveen de agua con aptitud para consumo, puesto que 2 de ellos (Tolapampa y Venta y Media) no cuentan con tratamientos para eliminar la contaminación bacteriana, además de que el único sistema que cuenta con cloración (Villa Poopó) no muestra ser eficiente para la eliminación de coliformes.

Considerando que la tasa de eliminación bacteriana de unidades de pretratamiento (como desarenadores y filtros) es sólo de 50% [13], los sistemas de abastecimiento estudiados no son lo suficientemente eficientes como para proveer agua potable con la calidad necesaria para su consumo. En ese sentido se sugiere ampliar los sistemas de abastecimiento, incorporando prioritariamente unidades de tratamientos primarios para Tolapampa y Venta y Media, además de tratamientos secundarios para Villa Poopó. La selección de las unidades de tratamiento más

idóneas para cada concentrado poblacional debe estar sujeta a estudios técnicos pertinentes.

### 4.3 Implementación de cloración

La desinfección terminal en sistemas de abastecimiento de agua potable es indispensable, por lo que es de vital importancia incorporar estos tratamientos en los sistemas de Poopó, como estrategia para el control de la contaminación bacteriana. Para esto se requiere hacer uso de desinfectantes relativamente estables para persistir en el sistema de distribución, que no generen productos secundarios peligrosos, además de ser capaces de penetrar biopelículas bacterianas alojadas en la red de distribución [7]. En ese entendido, el cloro es el desinfectante de uso más común en todo el mundo [12]. Una aplicación eficiente requiere mantener niveles suficientes de cloro residual, que deberían oscilar entre 3 a 6 mg L<sup>-1</sup> [7].

En este contexto, se recomienda incorporar tratamientos terciarios de desinfección en los sistemas de abastecimiento, preferentemente la aplicación dosificada de cloro previa distribución a la población. La incorporación de cloración debe incluir el monitoreo recurrente de los niveles de cloro residual para verificar su máxima eficiencia y persistencia a lo largo del sistema [9][10].

### 4.4 Capacitación técnica del personal

La falta de capacidad técnica del personal puede estar estrechamente relacionada con el ineficiente funcionamiento y la limitada cobertura de los sistemas de abastecimiento en Poopó. Esto es una consecuencia de la escasa inversión pública en la gestión del agua, problema que podría ser subsanado por las entidades estatales competentes.

La priorización de la calidad del agua en la gestión pública podría subsanar problemáticas adyacentes, como la falta y/o disponibilidad de recursos financieros, escasez de insumos humanos y materiales de la institución responsable de la gestión del agua, además de la negligencia y falta de interés de las instituciones públicas [7][9]. En ese sentido se recomienda generar una serie de capacitaciones en temática técnico-administrativa, aplicando las estrategias adecuadas y dirigidas al personal de SAPAP, técnicos del Gobierno Autónomo Municipal de Poopó -GAMP- y de SEDES.

### 4.5 Promoción de prácticas comunales de gestión del agua

Las redes de distribución de los concentrados poblacionales no abastecen a comunidades rurales adyacentes, por lo que estas comunidades se ven obligadas a diseñar y aplicar prácticas artesanales de uso y aprovechamiento de agua. En el caso de Poopó, estas prácticas incluyen la protección de fuentes de agua por medio de cercos en vertientes y bofedales, la siembra y cosecha de agua de lluvia por medio de



la revegetación de zonas de recarga acuífera, además de la búsqueda y prospección de napas freáticas por técnicas alternativas como la radiestesia.

Una de las prácticas comunales destinadas a proteger la calidad hídrica es el aislamiento de las fuentes de agua para impedir el acceso del ganado, ya que su presencia cerca a estas fuentes es una de las causas más probables de contaminación bacteriana [6]. Por este motivo es recomendable promover la aplicación de estas técnicas de cercado y protección en las fuentes de agua de Poopó, replicando el caso de Venta y Media, donde establecieron cercos alrededor de los bofedales y vertientes que alimentan el sistema de abastecimiento de este concentrado poblacional.

Con tal precedente, se recomienda promover e impulsar las prácticas de autogestión comunal del agua, encabezadas por algunas comunidades rurales de Poopó. La promoción de prácticas comunales debe incorporar criterios de índole social, como el fortalecimiento orgánico de las comunidades, junto con factores económicos, institucionales y políticos [15], considerando además el intercambio de experiencias exitosas de gestión comunal del agua como una práctica de concientización efectiva.

#### **4.6 Capacitación en la gestión familiar del agua**

Una de las falencias más frecuentes observadas en la inspección sanitaria es el estado insalubre de los recipientes de almacenamiento de agua en los hogares, además de las precarias medidas de protección de pozos familiares, varios sin revestimiento interno ni cubierta superior. Para mitigar estas y otras falencias se recomienda diseñar y aplicar campañas educativas sobre el cuidado, tratamiento y almacenamiento del agua de consumo humano, incentivando la aplicación de prácticas sanitarias adecuadas, en pos de mejorar la gestión familiar del agua como factor determinante para la salud de la población [8].

#### **4.7 Monitoreo a las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua**

La principal consecuencia del consumo de agua contaminada es el incremento de infecciones estomacales e intestinales que afectan a la salud de la población. Esta afectación se estima en función a indicadores de morbilidad, cuya etiología con frecuencia es multifactorial y no restrictivamente bacteriana [9][10][13].

La incidencia de estas enfermedades suele ser mayor en ancianos y niños de corta edad, mientras que las consecuencias más severas se registran en niños lactantes, quienes son más susceptibles a morir por esta causa [13]. Poopó no es ajeno a esta problemática, ya que altas tasas de EDAs se registran por año en el municipio, principalmente en niños menores de 4 años [17].

El establecimiento de correlaciones directas y estadísticamente claras entre la calidad del agua y las EDAs cuenta con antecedentes contradictorios, ya que ciertos estudios no encuentran relación estadística entre ambas variables [18], mientras que otros sí [9], por lo que se torna como una tarea compleja pero necesaria, ya que la distribución a gran escala de agua contaminada puede producir simultáneamente el brote de enfermedades intestinales en un gran número de personas [13].

En este contexto, se recomienda evaluar la relación existente entre la contaminación bacteriana del agua de consumo y las enfermedades diarreicas reportadas en Poopó, a fin de visibilizar las consecuencias del consumo de agua contaminada en la salud de la población. Esta información deberá ser un referente para priorizar la gestión del agua potable en Poopó, considerando que el incremento de la calidad y cobertura del agua pueden influir positivamente en la disminución de la tasa de mortalidad [18].

## 5 Conclusiones

El agua de consumo humano en el municipio de Poopó cuenta con alta presencia de coliformes totales y termotolerantes, tanto en los sistemas de abastecimiento de los concentrados poblacionales como en fuentes de agua subterránea de comunidades rurales.

Existen serias deficiencias en la gestión sanitaria del agua, evidenciada por las recurrentes falencias en el uso, gestión y almacenamiento del agua en los hogares, unidades educativas y piletas de uso colectivo. Las instituciones y obras públicas de los concentrados poblacionales, como los centros de salud y tanques de almacenamiento, registraron mejores condiciones sanitarias que las comunidades rurales.

Ante las condiciones de baja salubridad y alta contaminación bacteriana, se requiere incorporar medidas correctivas para reducir el riesgo al que se encuentra expuesta la población de Poopó. Las comunidades rurales requieren de una mayor priorización de medidas correctivas, ya que se encuentran más expuestas a la baja calidad sanitaria del agua, debido a la deficiente gestión familiar y comunal del agua subterránea, además de la ausencia de sistemas de abastecimiento que suministren agua de consumo a las comunidades. Los concentrados urbanos también requieren de medidas correctivas, en ciertos casos destinadas a la gestión pública de sistemas de captación y tratamiento de agua y, en otros casos, a la aplicación de prácticas familiares de gestión adecuada del agua de consumo.

## 6 Agradecimientos

Agradecemos el importante apoyo de Maya Huañapaco (Servicio Departamental de Salud - SEDES), Max Calizaya (Autoridad originaria del Ayllu San Agustín de Puñaca, Poopó), Dra. Gloria Choque (Salud Familiar Comunitaria e Intercultural - SAFCI), Dra. Ana Colque (Médicos Mi Salud), Pedro Calle (monitor comunitario del agua de Poopó) y del personal de los centros de salud e instituciones públicas, quienes acompañaron constantemente el desarrollo de esta investigación en las etapas de diseño, obtención de datos y socialización de resultados. De igual manera, agradecemos a Teresa Peñaloza Chej (Centro de Comunicación y Desarrollo Andino - CENDA) por la revisión del presente documento.

Un especial agradecimiento a Abel Machaca (monitor comunitario del agua de Poopó), quien demostró una ferviente convicción y perseverancia en pos de mejorar la calidad de vida y el acceso al agua de calidad para los pobladores más vulnerables de Poopó.

## Referencias

- [1] Alem, N.; Cauthin, H. & Sánchez, O. (2014). *Vulnerabilidad frente al riesgo de contaminación hídrica y escasez del agua en las sub-cuencas Poopó y Pazña-Antequera*. Cochabamba: Centro de Comunicación y Desarrollo Andino CENDA.
- [2] Arriaza, A.; Waight, S.; Contreras, C.; Ruano, A.; López, A. & Ortiz, D. (2015). Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de filtros ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Revista Científica*, 25(2), 21-29.
- [3] Ávila, S. L. & Estupiñán, S. M. (2011). Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 50(2), 163-168.
- [4] Bolivia. (2004). *Norma Boliviana NB 512-04 "Agua Potable - Requisitos" Tercera Revisión*. La Paz: Ministerio de Servicios y Obras Públicas. Viceministerio de Servicios Básicos.
- [5] Castro-Mendoza, I. & López-Báez, W. (2014). *Monitoreo de la calidad del agua en cauces de la microcuenca La Suiza, Chiapas*. Chiapas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur.
- [6] Córdoba, X.; Loeza, N. & Villegas, A. (2007). *Monitoreo, Diagnóstico y Gestión del Sistema de Suministro de Agua de Naolinco, Veracruz*. Trabajo para obtener el

grado de Especialista en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Xalapa, Veracruz: Universidad Veracruzana.

- [7] De Sousa, C.; Colmenares, M. & Correia, A. (2008). Contaminación bacteriológica en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de Malaria y Salud Ambiental*, 48(1), 17-26.
- [8] Flores, J. J.; Suárez, G.; Puc, M. A.; Heredia, M. R.; Vivaz, M. & Franco, J. (1995). Calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, México. *Salud Pública de México*, 37(3), 236-239.
- [9] Haro, J.; Nubes, G. & Calderón, J. R. (2012). Riesgos sanitarios en calidad bacteriológica del agua. Una evaluación en diez estados de la república mexicana. *Región y Sociedad*(3), 257-288.
- [10] Isaac-Márquez, A.; Lezama-Dávila, C.; Ku-Pech, P. & Tamay-Segovia, P. (1994). Calidad Sanitaria de los Suministros de Agua para Consumo Humano en Campeche. *Salud Pública de México*, 36(6), 655-661.
- [11] Lloyd, B. & Bartram, J. (1991). Surveillance solutions to microbiological problems in water quality control in developing countries. *Water Science and Technology*, 24(2), 61-75.
- [12] OMS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad* (Segunda ed., Vol. III). Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- [13] OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Tercera ed., Vol. I). Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- [14] OMS. (2018). *Sanitary Inspection Forms. Appendix C*. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/wsp170805AppC.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp170805AppC.pdf)
- [15] Perevochtchikova, M.; Aponte-Hernández, N.; Zamudio-Santos, V. & Sandoval-Romero, G. E. (2016). Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 5-23.
- [16] Quintanilla, J. & Quino, I. (2013). *Atlas Cartográfico Cuenca del Lago Poopó-Uru Uru Bolivia*. La Paz: Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America CAMINAR.
- [17] SAFCI. (2019). *Informe semestral de los centros de salud de Poopó*. Oruro: Comité de Análisis de Información CAI Municipal de Poopó.
- [18] Sánchez, H. J.; Vargas, M. G. & Méndez, J. D. (2000). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. *Salud Pública de México*, 42(5), 397-406.

- 
- [19] Sawyer, C.; McCarty, P. & Parkin, G. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental* (Cuarta ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- [20] Shirk, J. L.; Ballard, H. L.; Wilderman, C. C.; Phillips, T.; Wiggins, A.; Jordan, R.; McCallie, E.; Minarchek, M.; Lewenstein, B.; Krasny, M. & Bonney, R. (2012). Public Participation in Scientific Research: A Framework for Deliberate Design. *Ecology and Society*, 17(2).
- [21] USEPA. (1992). *Control of Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems*. Washington D.C.: Office of Research and Development.
- [22] Vargas, F. (2019). *Estrategias de Restauración Ecológica con Plantas Nativas en el Río Poopó (Oruro, Bolivia)*. Proyecto de Grado en Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Cochabamba: Universidad Católica Boliviana "San Pablo".
- [23] Vildoza, L. H. (2019). *Análisis exploratorio de la respuesta de la flora nativa ante la contaminación de suelos en zonas mineras para su uso en diagnóstico y remediación ambiental en la subcuenca Poopó, Oruro-Bolivia*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Cochabamba: Universidad Católica Boliviana "San Pablo".