

Artículo de Investigación

## Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en el municipio de Vinto-Cochabamba-Bolivia

*Evaluation of the quality of drinking water in the municipality of Vinto-Cochabamba-Bolivia*

Abdiel Adriazola Muriel<sup>1</sup>, Vanessa Nancy Toro Coca<sup>1</sup>, Abigail Condori Mamani<sup>1</sup>, Raquel Orellana Guevara<sup>1</sup>, Moria Villca Chuquichambi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Adventista de Bolivia, Cochabamba, Bolivia, 528;

vanessa.toro@uab.edu.bo; abigail.condori@uab.edu.bo; raquel.orellana@uab.edu.bo; moria.villca@uab.edu.bo

\*Correspondencia: abdiel.adriazola@uab.edu.bo

**Citación:** Adriazola, A.; Toro, V.; Condori, A.; Orellana, R. & Villca, M., (2024). Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en el municipio de Vinto-Cochabamba-Bolivia.

*Novasinergia*. 7(2). 06-17.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.14.01>

Recibido: 30 octubre 2023

Aceptado: 01 diciembre 2023

Publicado: 03 julio 2024

Novasinergia

ISSN: 2631-2654

**Resumen:** La presencia de bacterias coliformes en el agua presenta una amenaza potencial a la salud pública, ya que puede incrementar el riesgo de enfermedades infecciosas en la población más vulnerable. El asunto resulta más complicado cuando se desconoce la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua que se consume. El presente estudio tiene la finalidad de evaluar el estado actual de la calidad de agua de consumo en tres Organizaciones Territoriales de Base (OTB's) del Municipio de Vinto-Cochabamba y la relación de dependencia de los parámetros microbiológicos con las OTB's. Los análisis de laboratorio de 30 muestras tomadas en los diferentes domicilios (10 muestras por OTB) muestran el cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad y dureza) según la Norma Boliviana 512 (NB 512). Respecto a los parámetros microbiológicos para coliformes totales, de las 30 muestras analizadas solo 11 cumplieron con el límite máximo permisible, a diferencia del parámetro de coliformes termorresistentes, donde 25 de las 30 muestras cumplieron con el límite máximo permisible. Los parámetros microbiológicos fueron sometidos al análisis de chi-cuadrado, dando evidencia suficiente para afirmar con un 95% de confianza que los resultados de coliformes totales y termorresistentes no depende de la OTB ( $p=0.36$ ). Al contrastar los resultados de agua de consumo domiciliario con la del agua suministrada, puede especularse que la contaminación de origen microbiológico ocurre ya sea en las tuberías de distribución, tanques domiciliarios y/o las prácticas de uso del agua de cada domicilio.

**Palabras clave:** Agua, Calidad, Coliformes, Contaminación, Termorresistentes.

**Abstract:** The presence of coliform bacteria in water presents a potential threat to public health, as it can increase the risk of infectious diseases in the most vulnerable population. The matter is more complicated when the physicochemical and microbiological quality of the water consumed is unknown. The purpose of this study is to evaluate the current state of the quality of drinking water in three Territorial Base Organizations (OTB's) of the Municipality of Vinto-Cochabamba and the relationship of dependence of the microbiological parameters with the OTB's. Laboratory analyzes of 30 samples taken from different homes (10 samples per OTB) show compliance with the maximum permissible limits of physicochemical parameters (pH, conductivity, alkalinity and hardness) according to Bolivian Standard 512 (NB 512). Regarding the microbiological parameters for total coliforms, of the 30 samples analyzed, only 11 met the maximum permissible limit, unlike the total coliform parameter, where 25 of the 30 samples met the maximum permissible limit. The microbiological parameters were subjected to chi-square analysis, providing sufficient evidence to affirm with 95% confidence that the results of total and heat-resistant coliforms do not depend on the OTB ( $p=0.36$ ). By contrasting the results of household water consumption with that of water supplied, it can be speculated that contamination of microbiological origin occurs either in the distribution pipes, household tanks and/or the water use practices of each household.

**Keywords:** Water, Quality, Coliforms, Pollution, Heat Resistant.



**Copyright:** 2024 derechos otorgados por los autores a Novasinergia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

Según Gioda (1999), en su libro breve historia del agua, la humanidad ha considerado al agua como un elemento no modificable durante milenios, cuando el mundo era esencialmente rural, el agua no era un bien económico, ya que estaba a disposición y sin ningún costo o a un costo muy bajo.

Dicha situación ya no es del todo recurrente, en la actualidad la norma es que servicios privados y/o públicos realicen el servicio de transporte del agua hasta los hogares de los consumidores finales, todo esto, valiéndose de redes de distribución y/o tuberías. De la misma manera, se da el caso de que tanto el distribuidor como el consumidor tienen poco conocimiento respecto de la calidad del agua que consumen.

Reyes et al. (2016) considera a la contaminación ambiental como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI, esto como consecuencia de un incremento exponencial de la pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas. El agua potable es parte esencial de la salud y su disponibilidad es un derecho humano básico. En todo el mundo se trabaja constantemente para mejorar su disponibilidad, distribución y sobre todo su calidad (Cossio Andia & Choque Soto, 2019).

Pérez et al. (2018) y Vildoza et al. (2020) coinciden en que la calidad del agua es uno de los factores más importantes para el bienestar, la salud y el desarrollo de las personas. Clasificando el agua basada en la pureza y contaminación a través de la evaluación de las características fisicoquímicas como ser: el pH, conductividad, alcalinidad, dureza y evaluación microbiológica, mediante el uso de los organismos indicadores, como son las bacterias coliformes totales y fecales.

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. El agua contaminada microbiológicamente provoca enfermedades diarreicas agudas (EDAs) (Vildoza et al., 2020) (Ramos Parra & Pinilla Roncancio, 2020) (Rodríguez et al., 2018).

En tal sentido, se han realizado muchos estudios que buscan conocer la calidad del agua de consumo humano, entre ellos, un estudio realizado por Pérez et al. (2018), quienes realizaron un análisis comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira. La coherencia entre pares se analizó a través del coeficiente de correlación de Spearman y la raíz del error cuadrático medio. Los resultados muestran que hay mejor correlación y menores desviaciones en el caso de los índices brutos. La investigación concluye que el agua del río Ranchería no debe usarse para contacto directo sin previo tratamiento y antes de su consumo humano requiere de procesos de potabilización especialmente desinfección rigurosa. Lo anterior por las altas concentraciones de organismos coliformes que favorece la presencia de enfermedades en la salud humana. Como se puede observar el análisis de la contaminación del agua es importante para la comunidad, en especial para el establecimiento de medidas que mejoren su calidad.

El artículo publicado por Pérez-López (2016) "Control de calidad en aguas para consumo humano en la Región Occidental de Costa Rica" arrojó resultados muy favorables, ya que las muestras de agua cumplen con la regulación vigente en ese país en cuanto a calidad del agua, destacar que los parámetros de alcalinidad de dos regiones San Ramón y San Carlos salen de los parámetros permitidos así que se tendrán que tomar acciones necesarias para estos casos aunque este parámetro no está contemplado en el reglamento vigente de ese país.

Los estudios sobre la calidad del agua no se han limitado al nivel internacional, también se cuentan con estudios realizados a nivel nacional como los estudios de Vildoza et al. (2020), quien realiza su investigación sobre el 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), en el monitoreo bacteriológico evidenció la presencia de coliformes totales en 82% de las muestras y coliformes termotolerantes en 48%. En conclusión, se requiere mayor intervención de medidas para eliminar la contaminación bacteriana, considerando que las comunidades rurales autogestionan el recurso hídrico, por encontrarse altamente expuestos a riesgos sanitarios que afectan la calidad de vida de la población.

En un estudio sobre la calidad microbiológica del agua de la población de Fortaleza del Suroeste de Cochabamba. Se tomaron 8 muestras de manera aleatoria de los grifos de 4 viviendas, las primeras 4 muestras se realizaron en abril de 2013 y las siguientes 4 muestras en mayo 2017. Los resultados muestran que la calidad del agua es deficiente. Se encontró la presencia de *Pseudomona aeruginosa*, bacterias mesófilas totales y coliformes totales. Estos resultados no cumplen con los requisitos mínimos establecidos según Norma Boliviana NB 512 al superar, los valores límites máximos permisibles para la evaluación microbiológica (Cossio Andia & Choque Soto, 2019).

Este no es solo un problema en las grandes ciudades capitales, también puede ser un problema de ciudades en vías de desarrollo, como el municipio de Vinto-Bolivia.

Vinto, cuarta sección municipal de la provincia Quillacollo, está ubicado a 17 km de la ciudad de Cochabamba y a sólo 4 km de Quillacollo. La dirección de saneamiento básico del municipio de Vinto tiene la obligación de otorgar el servicio de agua a la población del municipio, hasta los hogares enmarcado dentro de nuestra área de servicio, la distribución se lleva a cabo a través del sistema de provisión de agua compuesto por pozos profundos, los cuales son extraídos por medio de bombas sumergibles las cuales impulsan en algunos casos a un tanque elevado y en otros directamente a los sistemas de la entidad prestadora de servicios de agua potable (EPSA) Municipal. Posteriormente el encargado de la distribución de agua realiza la repartición del agua día por medio a las diferentes OTB's (Gobierno Autónomo Municipal de Vinto, n.d.).

Sin embargo, al aprovisionarse de agua a través de diferentes pozos profundos, se dificulta conocer la calidad del agua que se consume en el municipio de Vinto, por lo cual, la Universidad Adventista de Bolivia en su compromiso con su comunidad, llevó a cabo el presente estudio con la finalidad de evaluar el estado actual de la calidad de agua de consumo en tres Organizaciones Territoriales de Base (OTB) y la relación de dependencia

de los parámetros microbiológicos con las OTB's. Es imprescindible monitorear aspectos como la potabilidad, la presencia de coliformes fecales, la alcalinidad, la conductividad y la dureza, y el pH ya que los contaminantes provienen de diferentes prácticas humanas que afectan su calidad y, por ende, todas las actividades y organismos que dependen de ella.

## 2. Metodología

La presente investigación es un estudio descriptivo cuantitativo y transversal, de diseño no experimental, realizado entre los meses de septiembre y octubre del año 2022. El estudio se realizó en 3 OTB's del municipio de Vinto (Campos verdes, Alto mirador y Lazarte), de las que se recolectaron 10 muestras por OTB. Para la recolección de las muestras, se realizó un muestreo no probabilístico y sistemático, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Microbiología de la Carrera de Bioquímica de la Universidad Adventista de Bolivia, donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad y dureza) y parámetros microbiológicos (Coliformes totales y coliformes termorresistentes).

### 2.1. Toma de muestra

La recolección de muestras se realizó con base a la Norma Boliviana NB 496:2016 Agua potable-Toma de muestras (Segunda revisión) (Ibnoorca, 2016b), acorde al subtítulo 7.1 que describe el procedimiento de muestreo para parámetros microbiológicos y subtítulo 7.2 para parámetros fisicoquímicos.

La toma de muestra para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizó en los primeros grifos de las viviendas (previamente flameados durante 10 segundos), en frascos de vidrio estériles de 250 y 500 ml respectivamente, las muestras tomadas fueron identificadas y transportadas manteniendo la cadena de frío. Tanto las muestras microbiológicas como fisicoquímicas fueron procesadas en un tiempo menor a las 2 horas después de su recolección.

### 2.2. Análisis fisicoquímico

La determinación del pH se realizó de acuerdo a la Norma Boliviana NB 31001:2014 (método electrométrico) (Ibnoorca, 2014) usando el potenciómetro HANNA HI 2210; Conductividad de acuerdo a NB 31011:2016 (Ibnoorca, 2016a) usando el conductímetro ELE International; Alcalinidad por el método Titulación con el kit HI3811 (Test kit de alcalinidad HANNA INSTRUMENTS) (Hanna Instruments, n.d. -a); Dureza por el método de titulación con el kit HI3812 (Test kit Dureza HANNA INSTRUMENTS) (Hanna Instruments, n.d. -b)

### 2.3. Análisis microbiológico

La identificación y recuento de coliformes totales y termorresistentes se realizó de acuerdo a la Norma Boliviana NB 31006:2009 (Agua potable - Identificación y recuento de bacterias Coliformes totales, Coliformes termorresistentes y *Escherichia coli* - Método de Número Más probable) (Ibnoorca, 2009).

Por cada muestra, se realizó la prueba presuntiva en 15 tubos con 10 ml de caldo lauril triptosa (CLT) con tubos Durham invertidos (5 tubos con doble concentración de CLT y 10

tubos con concentración simple). Se inoculó 10 ml de muestra a cada tubo con CLT de doble concentración, 1 ml de muestra a cada uno de los 5 tubos con CLT simple y 0.1 ml de muestra a cada uno de los restantes 5 tubos simples de CLT. Todos los tubos fueron incubados a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  por 24 a 48 h  $\pm 3$  h. Seguido de la prueba confirmativa de los tubos positivos (mayor o igual al 10 % de gas en los tubos Durham), por inoculación en caldo lactosado bilis verde brillante (CLBVB) e incubación a 48 h para coliformes totales y caldo *E. coli* (EC) en baño maría a  $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  por 24 h para coliformes termorresistentes. Todos los medios de cultivo fueron de la marca Liofilchem®. Los resultados se interpretaron de acuerdo al cumplimiento o no con los límites permisibles de la Norma Boliviana NB 512:2016 (Agua potable -REQUISITOS) (Ibnoorca, 2016c) (ver tabla 1).

#### 2.4. Análisis estadístico

Las diferencias de los parámetros microbiológicos se sometieron a un análisis estadístico cualitativo por el diseño estadístico de chi-cuadrado en el programa estadístico SPSS v.25 para la determinación de la dependencia de variables. Se consideró una  $p < 0.05$  para reconocer diferencias significativas.

### 3. Resultados

Las siguientes tablas muestran los resultados de los parámetros analizados y su relación con el límite máximo establecido por la Norma Boliviana NB 512.

En la tabla 1 se observa que las 10 muestras analizadas cumplen con los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad, dureza). El análisis microbiológico de Coliformes totales y coliformes termorresistentes presentan desviaciones del límite máximo permisible, 8 de las 10 muestras del estudio se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para coliformes totales y 1 de las 10 muestras del estudio se encuentra fuera de los límites máximos permisibles para coliformes termorresistentes.

Tabla 1: Resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua de OTB Campos Verdes

Parámetro analizado	Límites máximos permisibles*	N° de muestra									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>pH</b>	6.5-9.0	7.28	7.46	7.22	7.2	7.25	7.09	7.57	7.63	7.48	6.95
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}</math>)</b>	1500	363	385	401	427	331	428	395	383	375	469
<b>Alcalinidad (mg/L <math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	370	158	132	105	132	108	138	129	117	123	132
<b>Dureza (mg/L <math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	500	145.5	177	135	180	135	144	162	132	177	201
<b>Coliformes totales NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	4	22	1600	4	4	<2	4	2	4	<2
<b>Coliformes termorresistentes NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	<2	<2	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2

\*NB 512

En la tabla 2 se observa que las 10 muestras analizadas cumplen con los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad, dureza). El análisis microbiológico de coliformes totales y coliformes termorresistentes presentan desviaciones del límite máximo

permisible, 6 de las 10 muestras del estudio se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para coliformes totales y 3 de las 10 muestras del estudio se encuentra fuera de los límites máximos permisibles para coliformes termorresistentes. Como un análisis adicional, el agua del tanque que abastece a toda la OTB también fue analizada, resultando en el cumplimiento de todos los límites máximos permisibles de los parámetros evaluados (este último no fue introducido como parte del análisis estadístico).

Tabla 2: Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico de agua de la OTB Alto Mirador

Parámetro analizado	Límites máximos permisibles*	N° de muestra										Tanque
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>pH</b>	6.5-9,0	7.22	7.2	7.33	7.67	8.27	7.75	7.26	7.78	7.49	7.71	<b>7.4</b>
<b>Conductividad (µS)</b>	1500	410	398	321	345	447	410	426	422	410	412	<b>328</b>
<b>Alcalinidad (mg/L CaCO3)</b>	370	150	141	114	144	138	144	150	144	147	135	<b>129</b>
<b>Dureza (mg/L CaCO3)</b>	500	186	168	141	117	192	171	186	183	165	180	<b>120</b>
<b>Coliformes totales NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	80	<2	<2	1600	2	<2	140	300	<2	240	<2
<b>Coliformes termorresistentes NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	<2	<2	<2	14	<2	<2	8	<2	<2	34	<2

\*NB 512

En la tabla 3 se observa que las 10 muestras analizadas cumplen con los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad, dureza). El análisis microbiológico de Coliformes totales y coliformes termorresistentes presentan desviaciones del límite máximo permisible, 5 de las 10 muestras del estudio se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para coliformes totales y 1 de las 10 muestras del estudio se encuentra fuera de los límites máximos permisibles para coliformes termorresistentes.

Tabla 3: Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico de agua de la OTB Lazarte

Parámetro Analizado	Límites máximos permisible*	N° de muestra									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>pH</b>	<b>6.5-9.0</b>	7.25	7.2	7.22	7.98	7.36	7.16	7.04	6.86	7.29	7.49
<b>Conductividad (µS)</b>	<b>1500</b>	245	237	241	298	216	220	225	296	236	224
<b>Alcalinidad (mg/L CaCO3)</b>	<b>370</b>	135	141	150	120	135	165	135	135	150	117
<b>Dureza (mg/L CaCO3)</b>	<b>500</b>	126	153	126	181	135	147	120	177	150	126
<b>Coliformes totales NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	<2	2	70	<2	4	<2	27	<2	<2	2
<b>Coliformes termorresistentes NMP/100ml</b>	<2 NMP/100 ml	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2	<2	<2

\*NB 512

Dado que los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes termorresistentes) presentaron desviaciones del límite máximo permisible, se sometieron al análisis estadístico de chi-cuadrado. La tabla 4 muestra el número de muestras y su cumplimiento con los

límites máximos permisibles para el parámetro de coliformes totales, con su análisis estadístico de chi-cuadrado en la tabla 5.

En la Tabla 4 se muestra el cumplimiento de los límites máximos permisibles de Coliformes totales para las diferentes OTB's. En Campos Verdes el 20% cumplen los límites máximos permisibles y 80% no cumple con los límites máximos permisibles, en Alto Mirador el 40% cumple los límites máximos permisibles y el 60% no cumple con los límites máximos permisibles y en Lazarte el 50% cumple los límites máximos permisibles y el 50% no cumple con los límites máximos permisibles.

Tabla 4: Evaluación Microbiológica de Coliformes totales

OTB's	Cumplimiento de límites máximos permisibles		Total
	Si	No	
<b>CAMPOS VERDES</b>	2 (20%)	8 (80%)	10 (100%)
<b>ALTO MIRADOR</b>	4 (40%)	6 (60%)	10 (100%)
<b>LAZARTE</b>	5 (50%)	5 (50%)	10 (100%)
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>30</b>

Los resultados del análisis de dependencia de variable en chi-cuadrado se presentan en la tabla 5, estos se establecen con un  $\alpha=0.05$  (95% de confianza) para las hipótesis:

Ho La presencia de los coliformes totales es independiente de la OTB (P-valor  $> \alpha$  se acepta la hipótesis nula).

Hi: La presencia de los coliformes totales es dependiente de la OTB (P-valor  $< \alpha$  se acepta la hipótesis alterna).

Tabla 5: Pruebas de chi-cuadrado para coliformes totales – OTB's

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>	2.010*	2	0.366
<b>Razón de verosimilitud</b>	2.098	2	0.350
<b>Asociación lineal por lineal</b>	1.873	1	0.171
<b>N de casos válidos</b>	30		

\* 3 casillas (50,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 3.67.

Como p-valor (0.366) es mayor que el nivel de significancia (0.05), entonces se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la alternativa Hi, se tiene evidencia suficiente para concluir que los resultados de coliformes totales no depende de la OTB.

La tabla 6 muestra el número de muestras y su cumplimiento con los límites máximos permisibles para el parámetro de coliformes termorresistentes con su análisis estadístico de chi-cuadrado en la tabla 7.

Tabla 6: Evaluación Microbiológica de Coliformes termorresistentes

OTB's	Cumplimiento de límites máximos permisibles		total
	Si	No	
<b>CAMPOS VERDES</b>	9 (90%)	1 (10%)	10 (100%)
<b>ALTO MIRADOR</b>	7 (70%)	3 (30%)	10 (100%)
<b>LAZARTE</b>	9 (90%)	1 (10%)	10 (100%)
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>30</b>

En la Tabla 6 muestra el cumplimiento de los límites máximos permisibles de Coliformes termorresistentes para las diferentes OTB's. En Campos verde el 90% cumplen los límites máximos permisibles y 10% no cumple con los límites máximos permisibles, en Alto Mirador el 70% cumple los límites máximos permisibles y el 30% no cumple con los límites máximos permisibles y en Lazarte el 90% cumple los límites máximos permisibles y el 10% no cumple con los límites máximos permisibles.

Los resultados del análisis de dependencia de variable en chi-cuadrado se presentan en la tabla 7, estos se establecen con un  $\alpha=0.05$  (95% de confianza) para las hipótesis:

Ho La presencia de los coliformes termorresistentes es independiente de la OTB (P-valor  $> \alpha$  se acepta la hipótesis nula).

Hi: La presencia de los coliformes termorresistentes es dependiente de la OTB (P-valor  $< \alpha$  se acepta la hipótesis alterna).

Tabla 7: Pruebas de chi-cuadrado para coliformes termorresistentes – OTB's

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>	1.920*	2	0.383
<b>Razón de verosimilitud</b>	1.813	2	0.404
<b>Asociación lineal por lineal</b>	0.000	1	1.000
<b>N de casos válidos</b>	30		

\* 3 casillas (50,0%) han esperado un recuento menor que 5. el recuento mínimo esperado es 1.67.

Como p-valor (0.383) es mayor que el nivel de significancia (0.05), entonces se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la alternativa Hi, se tiene evidencia suficiente para concluir que los resultados de coliformes termorresistentes no depende de la OTB.

#### 4. Discusión

En las pruebas se analizaron muestras de agua para el consumo humano de diferentes OTB's del municipio de Vinto (Campos Verdes, Alto Mirador y Lazarte). Según la procedencia del agua, los análisis evidenciaron distintos resultados. La finalidad del estudio fue establecer si lo obtenido en los análisis era acorde con lo permitido según la



Norma Boliviana NB 512:2016 Agua potable –requisitos (Quinta revisión) y si este resultado tenía alguna dependencia de la OTB.

El análisis estadístico de chi-cuadrado muestra la independencia entre las OTB's y en los resultados de los parámetros microbiológicos, puede observarse la presencia de tanto coliformes totales y termorresistentes, en mayor o menor proporción y con una diferencia acentuada entre uno y otro domicilio. Es tentador relacionar la calidad de agua de consumo con la calidad de agua aprovisionada. Sin embargo el análisis del tanque reservorio matriz de la OTB Alto Mirador, donde se recibe el agua de aprovisionamiento cumple con los máximos permisibles de los parámetros analizados. De la misma manera, Choque Aguilar & Quispe Quisbert (2023) en su artículo "Evaluación del riesgo de contaminación y la calidad de agua de consumo humano en pozos autoadministrados en el distrito central del municipio de Vinto, Cochabamba – Bolivia" presentan los resultados del análisis de agua en boca de pozo de la OTB Campos Verdes, donde concluyen que los parámetros fisicoquímicos analizados cumplen con los límites permisibles de la NB 512, lo mismo para el parámetro microbiológico de coliformes totales, concluyendo que el agua de aprovisionada en la OTB Campos Verdes es un agua apta para consumo humano.

La disonancia entre el agua aprovisionada y el agua de consumo en los domicilios del estudio, permiten especular que la contaminación microbiológica (Coliformes totales y termorresistentes) ocurre ya sea en los domicilios, los tanques domiciliarios o en las tuberías de distribución. La presente especulación es reforzada por Cobacho et al. (2008) y Gómez Sellés et al. (2015), quienes afirman que el suministro a través de tanques es una fuente potencial de contaminación del agua, además de otros graves inconvenientes.

La afirmación de los anteriores autores presenta un significado más profundo respecto de la contaminación cruzada, más aún por la particularidad de la muestra 3 de la tabla 1, donde el resultado de 1600 coliformes totales NMP/100ml y 4 coliformes termoresistentes NMP/100 ml corresponden a un establecimiento que presenta un tanque domiciliario y 2 conexiones de agua (una de la red matriz de la OTB y otra de un pozo propio). El estudio no cuenta con un análisis independiente de dichas conexiones, ya que ambas se conectan al tanque domiciliario para su posterior consumo, sin embargo, la muestra 3 de la tabla 1 es el único de los 10 domicilios que presentan una muy elevada presencia de coliformes totales respecto al resto de los domicilios, y presencia de coliformes termorresistentes.

A pesar de que en el presente estudio, se cuenta con evidencia de que, las aguas de aprovisionamiento de las OTB's Campos Verdes y Alto Mirador cumplen con los requisitos establecidos de coliformes totales y coliformes termorresistentes. Esta coincidencia no implica que todas las aguas de aprovisionamiento se encuentren en la misma situación. El estudio de Barreto Bogado (2022) realizado en el Barrio San Vicente de la ciudad de Pilar – Paraguay muestra que en un solo barrio puede existir diferentes fuentes de aprovisionamiento, con y sin tratamiento y diferentes calidades microbiológicas, donde la mayoría de las fuentes de aprovisionamiento corresponden a pozos freáticas que pueden encontrarse más o menos expuestos a la presencia de coliformes totales y termorresistentes. El estudio de Gwimbi (2011) realizado en la comunidad de Manonyane, Lesotho, atribuye los efectos de la contaminación por coliformes totales y termorresistentes a la mala protección de las fuentes de agua, el saneamiento deficiente y el bajo nivel de prácticas de

higiene, y la falta de seguimiento y concienciación sobre la atención sanitaria. La protección de las fuentes de agua de aprovisionamiento de la OTB Campos Verdes también es tratado por Choque Aguilar & Quispe Quisbert (2023), quienes le atribuyen un nivel de riesgo de contaminación de bajo.

El presente estudio abre las puertas a nuevas investigaciones sobre las condiciones de higiene en tanques domiciliarios, redes de distribución y fuentes de aprovisionamiento en las diferentes OTB's del municipio de Vinto.

### 5. Conclusiones

El agua de consumo de las 3 OTB's del estudio (Campos Verdes, Alto Mirador y Lazarte) cumplen con los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad, dureza), no así los parámetros microbiológicos (Coliformes totales y termorresistentes).

No existe una dependencia entre los resultados de los parámetros analizados y las OTB's donde se realizó la toma de muestras, por lo que no se puede relacionar la calidad de agua de consumo con la OTB.

La contaminación de origen microbiológico (Coliformes totales y termorresistentes) del agua de consumo no puede relacionarse con la calidad del agua de aprovisionamiento, dado que existe evidencia en dos de las tres OTB's de que el agua de aprovisionamiento cumple con los límites máximos permisibles (NB 512) para los parámetros de pH, conductividad, alcalinidad, dureza y coliformes totales y termorresistentes. Puede especularse que la contaminación de origen microbiológico ocurre ya sea en las tuberías de distribución, tanques domiciliarios y/o las prácticas de uso del agua de cada domicilio.

### Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Adriazola, A.	Toro, V.	Condori, A.	Orellana, R.	Vílca, M.
Conceptualización					
Análisis formal					
Investigación					
Metodología					
Recursos					
Validación					
Redacción – revisión y edición					

## Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo.

## Fuente de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad por la Universidad Adventista de Bolivia.

## Agradecimiento

Los autores agradecen al Gobierno Autónomo Municipal de Vinto y a la Universidad Adventista de Bolivia por el apoyo brindado al desarrollo de la presente investigación.

## Referencias

- Barreto Bogado, A. (2022). Determinación de la variabilidad de la calidad del agua para consumo humano. caso: B° San Vicente de La Ciudad de Pilar. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 3239–3250. doi: 10.37811/cl\_rcm.v6i3.2458.
- Choque Aguilar, M. R., & Quispe Quisbert, L. A. (2023). Evaluación del riesgo de contaminación y la calidad de agua de consumo humano en pozos autoadministrados en el Distrito Central Del Municipio de Vinto, Cochabamba – Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 4966–4981. doi: 10.37811/cl\_rcm.v7i4.7325.
- Cobacho, R., Arregui F., Cabrera E., & Cabrera, E. (2008). Private Water Storage Tanks: Evaluating Their Inefficiencies. *Water Practice and Technology*, 3(1), 1–8. doi: 10.2166/wpt.2008.025.
- Cossio Andia, E. & Choque Soto, N. (2019). Estudio Prospectivo de La Calidad Microbiológica Del Agua Que Consume La Población de Fortaleza - Cochabamba. *Cimel*, 24(1), 44-88. Recuperado de: <https://docplayer.es/183729966-Consume-la-poblacion-de-fortaleza-cochabamba.html>
- Gioda, A. (1999). Breve Historia Del Agua. La naturaleza y sus recursos, 35(1), 42-48. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4624909>
- Gobierno Autónomo Municipal de Vinto. (n.d.). Servicios Básicos. Recuperado de: (<https://www.gamvinto.gob.bo/municipio/servicios-basicos/>).
- Gómez Sellés, E., Cabrera Marcet, E., Soriano Olivares, J., & Balaguer Garrigos, M. (2015). *Gestión Sostenible Del Agua y Usos de Aljibes Domésticos , Un Binomio Incompatible*. IV Jornadas de Ingeniería del Agua. La precipitación y los procesos erosivos. 859–868. Córdoba, España. Recuperado de: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/142692/Gomez%3BCabrera%3BSoriano%20-%20Gesti%C3%B3n%20sostenible%20del%20agua%20y%20uso%20de%20aljibes%20dom%C3%A9sticos%2C%20un%20binomio%20incom....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gwimbi, P. (2011). The Microbial Quality of Drinking Water in Manonyane Community: Maseru District (Lesotho). *African Health Sciences* 11(3), 474–480. Recuperado de: <https://www.ajol.info/index.php/ahs/article/view/73418>
- Hanna Instruments. (n.d. -a). *Manual de Instrucciones HI 3811 Test Kit de Alcalinidad*. Recuperado de: <https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2012/10/20140707112234-manual-hi-3811.pdf>.
- Hanna Instruments. (n.d. -b). *Manual de Instrucciones HI 3812 Equipo de Análisis de Dureza*. Recuperado de: [https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2019/09/Manual\\_HI3812.pdf](https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2019/09/Manual_HI3812.pdf).
- Ibñorca. (2009). NB 31006:2009 (*Agua Potable - Identificación y Recuento de Bacterias Coliformes Totales, Coliformes*

- Termorresistentes y Escherichia Coli - Método de Número Más Probable*). Bolivia.
- Ibnoorca. (2014). NB 31001:2014 (*Agua Potable - Determinación de PH (Potencial de Hidrógeno) - Método Electrométrico (Segunda Revisión)*). Bolivia.
- Ibnoorca. (2016a). NB 31011:2016 (*Agua Potable - Determinación de La Conductividad*). Bolivia.
- Ibnoorca. (2016b). NB 496:2016 *Agua Potable-Toma de Muestras (Segunda Revisión)*. Bolivia.
- Ibnoorca. (2016c). NB 512:2016 (*Agua Potable -REQUISITOS*). Bolivia.
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3-14. doi: 10.18845/tm.v29i3.2884.
- Pérez, J. I., Nardini A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad Del Agua Aplicados Al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 47-58. doi: 10.4067/S0718-07642018000300047.
- Ramos Parra, Y., & Pinilla Roncancio, M. (2020). Calidad de Agua de Consumo Humano En Sistemas de Abastecimiento Rurales En Boyacá, Colombia. Un Análisis Infraestructural. *Revista EIA*, 17(34), 219-233. doi: 10.24050/reia.v17i34.1378.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., y González. E. E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66-77. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rodríguez, S. C., Asmundis, C. L., Ayala, M. T. y Arzú, O. R. (2018). Presencia de Indicadores Microbiológicos En Agua Para Consumo Humano En San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista Veterinaria*, 29(1), 9-12. doi: 10.30972/vet.2912779.
- Vildoza, L. H., Peredo Ramírez, Y., & Vargas Elío, F. (2020). 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)." *Acta Nova*, 9(4), 483-503. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892020000100002](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000100002)