



EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN PUERTO PIZANA, SAN MARTÍN, PERÚ¹

Efficiency of the treatment system on the quality of water for human consumption in Puerto Pizana, San Martin, Peru

Guevara Villanueva Elvis Rodney² ; Ing. MSc. Alberto Franco Cerna Cueva³ 

¹: Extracto de tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Agroecología mención Gestión Ambiental

²: Ingeniero Forestal por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Magister en Ciencias en Agroecología Mención con mención en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.3, Tingo Maria. Código ORCID: 0009-0000-0859-2985. Correo electrónico: elvis.guevara@unas.edu.pe

³: Ingeniero Ambiental por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Magister en Ciencias en Agroecología Mención con mención en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables en la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Código ORCID: 0000-0001-7448-558X. Correo electrónico: alberto.cerna@unas.edu.pe

Recibido: 03/08/2024 **Aceptado:** 05/08/2024 **Publicado:** 05/09/2024

RESUMEN

El estudio determinó la eficacia del sistema de tratamiento en la calidad del agua consumida por los habitantes de Puerto Pizana. Se evaluó 28 parámetros microbiológicos, fisicoquímicos, y de organismos parasitarios, siguiendo estándares de la OPS, APHA y ANA. Se seleccionaron 4 puntos para el muestreo: 1) Captación, 2) Planta de tratamiento, 3) Reservorio y 4) Red de distribución. Esto se realizó en 2 periodos del año 2022. La calidad del agua se determinó mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) del y el Índice de Contaminación (ICO), considerando el alcance, frecuencia y amplitud de los parámetros fuera de norma. Los resultados revelan que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con los límites aceptables postratamiento. Destacablemente, los indicadores críticos como coliformes totales, termotolerantes, *Escherichia coli*, y heterótrofos, presentes inicialmente en la captación, disminuyen significativamente tras el tratamiento, alcanzando niveles menores a 1.1 NMP/100ml, lo cual evidencia la alta eficacia del proceso de potabilización. La aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Contaminación Orgánica (ICO) muestra una mejora de la calidad desde un ICA de 59.74% en captación a 100% en la red de distribución, indicando una calidad excelente del agua para consumo humano. Aunque el ICO fue bajo en general, la excepción fue la saturación de oxígeno, la cual fue sensible a cambios de temperatura. En conclusión, la eficacia del sistema de tratamiento fue alta, sin embargo, a pesar de los resultados positivos en general, los parámetros que

superaron los límites indican que es esencial mejorar la desinfección y cuidado antes de su consumo humano.

Palabras clave: calidad de agua, consumo humano, normativa, índice, monitoreo

ABSTRACT

The study determined the effectiveness of the treatment system on the quality of water consumed by the inhabitants of Puerto Pizana. Twenty-eight microbiological, physicochemical and parasitic organism parameters were evaluated, following PAHO, APHA and ANA standards. Four points were selected for sampling: 1) Catchment, 2) Treatment plant, 3) Reservoir and 4) Distribution network. This was done in 2 periods of the year 2022. Water quality was determined using the Water Quality Index (WQI) and the Contamination Index (WQI), considering the extent, frequency and amplitude of parameters out of norm. The results reveal that the physicochemical and microbiological parameters comply with acceptable post-treatment limits. Notably, critical indicators such as total coliforms, thermotolerants, *Escherichia coli*, and heterotrophs, initially present in the catchment, decrease significantly after treatment, reaching levels below 1.1 NMP/100ml, which evidences the high efficiency of the potabilization process. The application of the Water Quality Index (WQI) and the Organic Contamination Index (OCI) shows an improvement in quality from an AQI of 59.74% in the catchment to 100% in the distribution network, indicating excellent water quality for human consumption. Although the AQI was low overall, the

exception was oxygen saturation, which was sensitive to temperature changes. In conclusion, the efficacy of the treatment system was high; however, despite the overall positive results, the parameters that exceeded the limits indicate that it is essential to improve disinfection and care before human consumption.

Keywords: water quality, human consumption, regulations, index, monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

En 2021, la autoridad distrital de Pólvora, por medio de su Área Técnica Municipal, llevó a cabo un diagnóstico del suministro de agua en el poblado de Puerto Pizana, revelando aspectos negativos en ciertos parámetros analizados, en relación con los límites máximos permisibles para el agua potable según el DS N° 031-2010-SA. Esto causó alarma entre los consumidores del servicio de agua, impulsándolos a demandar a la asociación comunitaria responsable de la gestión, operación y mantenimiento del sistema hídrico que cumpliera con la limpieza, purificación y cloración del agua para garantizar su seguridad. En San Martín, muchos asentamientos aún no disponen de un sistema de suministro de agua y, en algunos casos, la falta de un proceso de tratamiento en el sistema de agua potable ha provocado un aumento en la incidencia de infecciones gastrointestinales y otros problemas de salud conexos. El reporte de la Superintendencia Nacional de Agua y Saneamiento-SUNASS (2020) reveló la detección de bacterias en muestras de agua potable y mostró que, en términos de control de parámetros bacteriológicos, físicos y químicos en la red de suministro, las empresas de servicios de saneamiento reportaron que las muestras que excedían los límites máximos permitidos eran aproximadamente 0,255% en el caso bacteriológico y 3,84% en los físicos y químicos.

Ante la problemática detectada en el poblado y en la región de San Martín en general, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la eficiencia del sistema de tratamiento en la calidad de agua para consumo humano en Puerto Pizana, San Martín, Perú?.

Los sistemas de tratamiento de agua, que comprenden operaciones de diversos tipos como físicas, químicas y biológicas, tienen como objetivo la eliminación o minimización de la polución y las características no deseadas del agua, dependiendo del fin para el que se destine (Estándares de Calidad Ambiental-ECA, 2017). Por lo tanto, un tratamiento de agua eficaz para el consumo humano se vuelve cada vez más crucial frente al incremento de la demanda mundial (Díaz-Edquén, 2016); y considerando que el acceso al agua limpia es una necesidad básica y un derecho humano esencial. Debido a esto, evaluar la calidad del agua para el consumo humano es vital para asegurar su salubridad, prevenir riesgos sanitarios y contribuir a la protección y el bienestar general de la población (Ramírez et al., 1997). En este marco, el presente

estudio tiene como objetivo determinar la eficacia del sistema de tratamiento en la calidad del agua consumida por los habitantes de Puerto Pizana, en el departamento de San Martín, Perú. Esto permitirá describir las propiedades del agua utilizada actualmente por la población local y, al mismo tiempo, evidenciar los beneficios de tener acceso a un sistema de tratamiento de agua adecuado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación, accesibilidad y climatología

El estudio se llevó a cabo en el Centro Poblado de Puerto Pizana, situado en el distrito de Pólvora, provincia de Tocache, región de San Martín, según el sistema de coordenadas UTM WGS 84 zona 18S, con coordenadas Este 318459.13 y Norte 9114621.07. Se puede acceder a este lugar por tierra mediante la Carretera Fernando Belaunde Terry desde Tingo María, o por aire desde Lima hasta Tarapoto y luego por carretera.

La zona experimenta un clima lluvioso, con alta humedad durante todo el año, influenciado por el Anticiclón del Atlántico Sur y la Zona de Convergencia Intertropical, recibiendo precipitaciones anuales de 1200 mm a 3000 mm, una humedad relativa promedio de 89-90%, y temperaturas que oscilan entre 11°C y 29°C.

2.2. Materiales y equipos

Se emplearon formularios de encuestas, guantes protectores, cubrebocas, recipientes de plástico estériles de 1 litro, tabletas DPD, libretas de anotaciones y suministros de oficina. Para el análisis de laboratorio, se contó con placas de Petri, pipetas de distintos volúmenes, probetas, tubos de ensayo, vasos de precipitado, matraces, crisoles, gradillas y un mechero Bunsen. Los equipos utilizados incluyeron computadoras portátiles, impresoras, cámaras fotográficas, GPS y medidores multiparámetro. Además, se hizo uso de software especializado como Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft PowerPoint, Arc GIS 10 y Matlab para el procesamiento de datos y la elaboración de informes y presentaciones.

2.3. Metodología

2.3.1. Evaluación del cumplimiento de la normativa

Para evaluar el cumplimiento de la normativa se tomó en cuenta dos estándares de calidad, el primero el DS N° 004 - 2017 - MINAM, que evalúa la calidad del agua como fuente y el DS N° 031 - 2010 - SA, que evalúa la calidad del agua destinada al consumo humano, esto se hizo así ya que el sistema de agua potable tiene diferentes puntos en donde es aplicable cada una de estas normativas por ejemplo en la

captación es conveniente evaluar la calidad del agua como fuente sin embargo en la red de distribución es conveniente evaluar la calidad del agua para consumo humano ya que el agua de la red de distribución es el agua que llega a la casa de los consumidores. Se evaluaron 28 parámetros en 4 puntos del sistema de agua potable, el procedimiento para la recolección de muestras se basa en las directrices del Manual para Análisis Fundamentales de Calidad del Agua Potable, publicado por la Organización Panamericana de la Salud (Aurazo-Zumaeta, 2004), específicamente el Capítulo 4, Sección 1.1., así como en los criterios descritos en el apartado 6 de la Resolución Ministerial N° 156-2010/MINSA (DIGESA, 2011). Los puntos de muestreo se muestran en la Tabla 1

Tabla 1

Puntos de muestreo

| N | Punto de muestreo | Ubicación |
|---|-------------------|-----------------------|
| 1 | PMC | Captación |
| 2 | PMPT | Planta de tratamiento |
| 3 | PMR | Reservorio |
| 4 | PMRD | Red de distribución |

2.3.2. Índices de calidad

2.3.2.1. Índice de Calidad de Agua (ICA)

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2018 proporcionó la metodología para el ICA, basada en el Índice Canadiense CCME-WQI, que considera el alcance, frecuencia y amplitud de los parámetros que no cumplen con las normas de calidad del agua. La evaluación se alineó con las normativas del Decreto Supremo N° 031-2010-SA y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, centrando el análisis en aguas clasificadas como 1-A2 Poblacional y Recreacional, aptas para consumo tras tratamiento convencional. Se tomaron muestras en los 4 puntos mencionados en la Tabla 1.

$$ICA = 100 - \sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{3}}$$

2.3.2.2. Índice de contaminación (ICO)

El Índice de Contaminación (ICO) se calculó utilizando la metodología de Ramírez-Silva et al. (1997), enfocándose en tres parámetros fundamentales: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), los coliformes totales y el porcentaje de saturación de oxígeno. Estos indicadores evalúan la necesidad de oxígeno para descomponer materia orgánica, la presencia de bacterias coliformes como señal de contaminación potencial y el nivel de oxígeno disponible para la vida acuática, respectivamente. La combinación de estos parámetros ofrece una visión integral de la contaminación orgánica y la capacidad ecológica del cuerpo de agua. Las muestras se

recogieron tanto en la fuente de captación como en la red de distribución en Puerto Pizana, permitiendo así evaluar el impacto del tratamiento de agua en varias fases del suministro.

$$ICO = \frac{I_{DBO5} + I_{Coliformes} + I_{Oxígeno}}{3}$$

2.3.3. Evaluación de la eficiencia

La eficiencia se determinará para cada índice evaluando el incremento en los puntajes (en el caso de los ICA) y la disminución de los puntajes de contaminación en el caso de los ICO. La remoción también se evaluará para cada parámetro comparando los valores de la captación y de la red de distribución, en la siguiente Tabla se muestran los rangos de porcentaje de remoción propuestos y su respectiva valoración cualitativa:

Tabla 2

Eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable

| Δ puntos (+) | ICA Final | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|---------|-----------|
| | < 20 | 20 - 40 | 40 - 60 | 60 - 80 | 80 - 100 |
| < 20 | Deficiente | Deficiente | Deficiente | Regular | Regular |
| 20 - 40 | -- | Deficiente | Regular | Regular | Buena |
| 40 - 60 | -- | -- | Buena | Regular | Muy Buena |
| 60 - 80 | -- | -- | -- | Buena | Muy Buena |
| 80 - 100 | -- | -- | -- | -- | Excelente |

| Δ puntos (-) | ICO Final | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|---------|-----------|
| | 80 - 100 | 60 - 80 | 40 - 60 | 20 - 40 | < 20 |
| < 20 | Deficiente | Deficiente | Deficiente | Regular | Regular |
| 20 - 40 | -- | Deficiente | Regular | Regular | Buena |
| 40 - 60 | -- | -- | Buena | Regular | Muy Buena |
| 60 - 80 | -- | -- | -- | Buena | Muy Buena |
| 80 - 100 | -- | -- | -- | -- | Excelente |

2.3.4. Tipo de investigación

Este proyecto cae bajo la categoría de investigación aplicada. Se hará uso del campo de la ciencia ambiental con el objetivo de examinar la efectividad de la planta de tratamiento de agua potable que atiende las necesidades del Centro Poblado Puerto Pizana en San Martín. El foco se centrará en una evaluación exhaustiva de distintos parámetros que definen la calidad del agua destinada al consumo humano. Según plantea Hernández - Sampieri et al., en su obra de 2006, la investigación aplicada se distingue por la aplicación directa de los conocimientos obtenidos y posee una relación intrínseca con la investigación fundamental o básica.

2.3.5. Diseño de investigación

La metodología que adopta este proyecto de investigación es no experimental. En este contexto, se parte de la premisa de que las variables independientes no están sujetas a manipulación directa, como señala Hernández en su obra de 2010. Dicho de otro modo, este enfoque se centra en observar y analizar fenómenos en su estado natural, sin intervenir directamente en ellos.

2.3.6. Nivel de investigación

El estudio se configura como descriptivo. Esto significa que se llevará a cabo una evaluación detallada y minuciosa de cómo el sistema de tratamiento de agua potable afecta la calidad del agua que se utiliza para consumo humano en la mencionada localidad de Puerto Pizana, en la región de San Martín. Jacobo et al., en su investigación de 2013, argumentan que los estudios de carácter descriptivo no sólo son fundamentales en sí mismos, sino que también constituyen el punto de partida para investigaciones de otra índole y complejidad.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cumplimiento de la normatividad

La evaluación del cumplimiento de las normativas DS 031-2010-SA y DS 004-2017-MINAM en un sistema de agua potable, abarcando captación, planta de tratamiento, reservorio y red de distribución, revela que:

En la captación, se encontraron concentraciones de cloro residual menores a 0.1 mg/l, lo cual es consistente con la baja presencia de cloro libre en entornos naturales. Las concentraciones de nitratos se situaron en 1.4 mg/l y 1.35 mg/l para los períodos analizados, significativamente inferiores al límite de 50 mg/l estipulado por el DS 004-2017-MINAM, indicando cumplimiento. Los valores de pH, 8.4 y 7.62, se encuentran dentro de los estándares aceptables según la normativa DS N° 031-2010-SA. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) registró valores menores a 2 mg/l, dentro del límite de 5 mg/l establecido. La conductividad eléctrica presentó valores de 562.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 719.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por debajo del límite máximo permitido de 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los sólidos disueltos totales se midieron en 386 y 424 mg/L, respectivamente, también por debajo del límite de 1000 mg/L. La temperatura se registró en 20°C y 21.8°C, sin un límite específico establecido en las normativas para este parámetro. Los niveles de oxígeno disuelto, 4.1 mg/l y 7.6 mg/l, demostraron una calidad adecuada del agua. Los valores para coliformes totales y termotolerantes superaron los límites para consumo humano pero son aceptables para agua destinada a tratamiento. *Escherichia coli* se encontró en concentraciones de 36 y 28 NMP/100ml, excediendo el límite de 1.8 NMP/100ml.

En la planta de tratamiento, se observó una mejora significativa en la calidad del agua, especialmente en la reducción de coliformes totales, termotolerantes, *E. coli*, y heterótrofos a niveles que cumplen con las normas para agua potable.

En el reservorio, la concentración de cloro libre residual fue de 2.16 y 2.27 mg/L, adecuada para mantener la desinfección hasta la red de distribución. La dureza total registró un aumento a 240 y 317.7 mg/l,

aún por debajo del límite de 500 mg/l. Se mantuvo el cumplimiento de los estándares para nitratos, pH, DBO, conductividad específica, SDT, temperatura, y oxígeno disuelto, indicando eficacia en el tratamiento y conservación de la calidad del agua.

En la red de distribución, los valores de cloro residual, 0.96 mg/l y 0.73 mg/l, demostraron una adecuada desinfección. Los parámetros de nitratos, pH, DBO, conductividad específica, y SDT se mantuvieron dentro de los límites seguros. No se detectaron coliformes totales, termotolerantes, *E. coli*, ni heterótrofos, cumpliendo con los requisitos del DS N° 031-2010-SA y asegurando que el agua es segura para el consumo humano.

3.2. Índices de calidad

3.2.1. Índice de Calidad

En la Figura 1 se evalúa la calidad del agua aplicando el ICA – PE, considerando como marco normativo referencial el DS. N° 004 – 2017 – MINAM, específicamente la categoría A2, que son fuentes de agua para consumo humano con previo tratamiento convencional, los resultados muestran que la calidad es excelente de acuerdo con la Tabla 9, los puntajes encontrados en la planta de tratamiento y la red de distribución es de 100% es decir el más alto puntaje sin embargo el puntaje encontrado en la captación es de 59.74% que es un valor también bastante alto. De acuerdo con la Figura 2, en donde se muestran los valores de los excedentes normalizados con respecto a los parámetros de calidad se puede apreciar que solamente es el valor del oxígeno disuelto durante el primer monitoreo en la captación el que se encuentra fuera de rango con respecto a la normativa, esto indica que la fuente es de muy alta calidad.

Figura 1

Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 004 – 2017 – MINAM

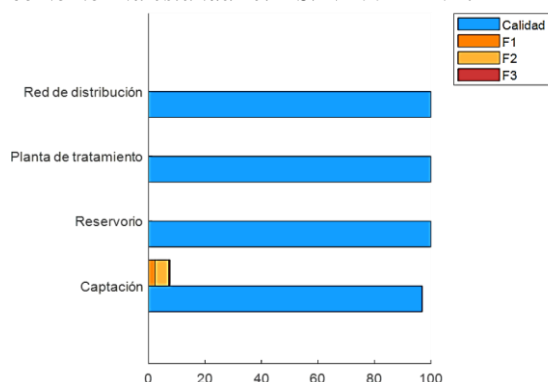


Figura 2

Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 004 – 2017 – MINAM



En la Figura 3, se evalúa la calidad del agua aplicando el ICA – PE, considerando como marco normativo referencial el DS. N° 031 – 2010 – SA, este estándar evalúa la calidad del agua para consumo humano directo es decir sin tratamiento previo por lo que es un estándar más exigente. La calidad del agua en la captación es de 59.19, (F1: 18.00, F2: 20.00 y F3: 65.36), de acuerdo con la Tabla 9, este valor representa una calidad regular, la calidad del agua en la planta de tratamiento es de 72.38, (F1: 72.38, F2: 8 y F3: 16), este valor representa una calidad regular, la calidad del agua en el reservorio es de 69.41, (F1: 10, F2: 20 y F3: 48.04), este valor representa una calidad regular también. Solamente en la Red de Distribución la calidad es excelente con un puntaje de 100, esto debe ser así porque a diferencia de los ECA del DS. N° 004 – 2017 – MINAM, los valores del DS. N° 031 – 2010 – SA, son prohibitivos ya que la exigencia es restrictiva. Los excedentes que sobrepasan los valores del DS. N° 031 – 2010 – SA son principalmente parámetros microbiológicos como se muestran en la Figura 4.

Figura 3

Índice de Calidad de Agua (ICA – PE) aplicando como norma estándar el DS. N° 031 – 2010 – SA

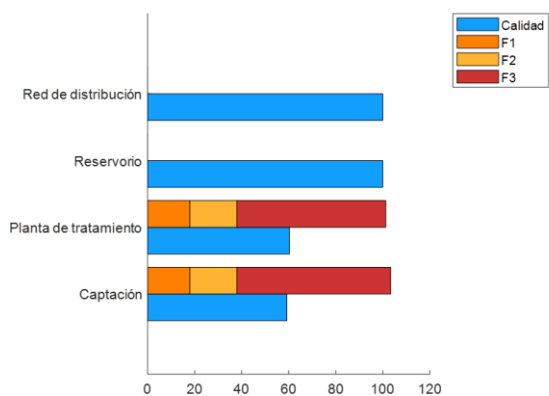
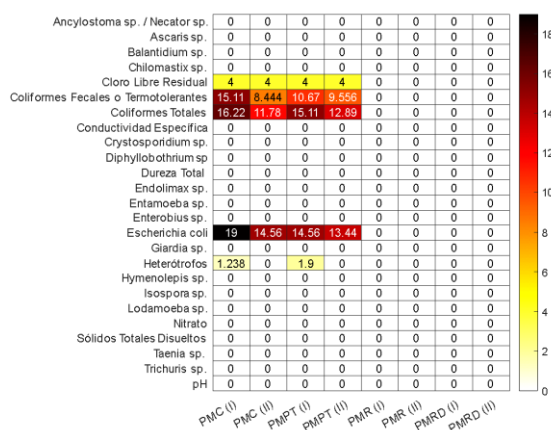


Figura 4

Excedentes normalizados de los parámetros monitoreados en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución con respecto al DS. N° 031 – 2010 – SA.

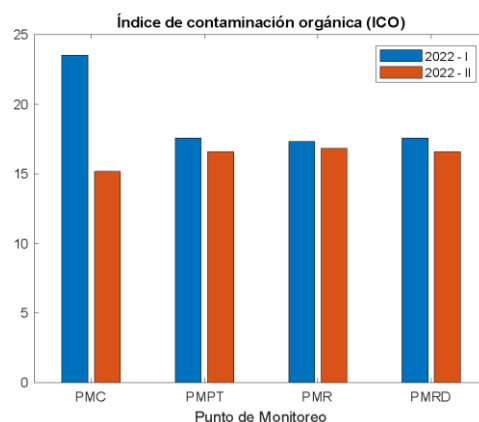


3.2.2. Índice de Contaminación

Con respecto al índice de contaminación orgánica, tanto los índices de coliformes termo tolerantes o coliformes totales y los valores de DBO, tuvieron un valor de 0, es decir la contaminación orgánica por estos 2 parámetros es nula, sin embargo con respecto a la saturación de oxígeno sí se presentaron valores que oscilaron entre 50 y 45 puntos tanto para los monitoreos del 2022 – I y 2022 – II como se muestra en la Figura 5, esto indica que sólo existe contaminación térmica y esto como se explicó en apartados anteriores puede deberse a que la fuente de agua está expuesta a las condiciones climáticas lo que eleva la temperatura y además al ser la zona una zona tropical es normal que las temperaturas sean elevadas.

Figura 5

Índices de contaminación (ICO) para los dos periodos de monitoreo



3.3. Eficiencia de la planta

La finalidad del tratamiento es la potabilización del agua en ese sentido se considerará la eficiencia para

consumo humano, de acuerdo con la Tabla 2, evaluando el ICA para consumo humano, el valor de calidad en la Captación es Regular con una puntuación de 59.19 y en la Red de Distribución la calidad es Excelente con un puntaje de 100. De acuerdo con la Tabla 12, para un aumento de puntaje desde 59.19 a 100, es decir un aumento de 40.81 puntos y una calidad final > 80 puntos, la eficiencia de la Planta de Tratamiento se considera Muy Buena. Las mayores eficiencias de remoción fueron para los Coliformes Totales, Coliformes Fecales o Termotolerantes, *Escherichia coli* y Heterótrofos con eficiencias de remoción > 96%, > 96%, > 96% y > 99%, respectivamente, los otros parámetros no sufrieron modificaciones considerables a excepción del cloro residual que aumento considerablemente por la dosificación de cloro en el tratamiento. Todos los organismos de vida libre analizados que fueron 15 entre parásitos y protozoarios de acuerdo con la Tabla 2, arrojó un valor de 0, es decir no se encontraron estos organismos lo cual es favorable. Estas eficiencias registradas para la remoción de microorganismos son comparables con los estudios de (Carrión-Peña, 2021; De la Cruz- Huaman, 2021; Díaz-Edquén, 2016; Hidalgo-Lozano, 2021; Quispe-Oporto, 2022).

Tabla 3

Puntajes de calidad ICA e ICO para el agua como fuente, para consumo directo e intensidad de contaminación orgánica

| Punto | Fuente | | Consumo | | Contaminación | |
|-----------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------------|-----------|
| | Puntaje | Categoría | Puntaje | Categoría | Puntaje | Categoría |
| Captación | 96.74 | Excelente | 59.19 | Regular | 19.35 | Muy baja |
| Planta de tratamiento | 100.00 | Excelente | 72.38 | Regular | 17.13 | Muy baja |
| Reservorio | 100.00 | Excelente | 69.41 | Regular | 17.19 | Muy baja |
| Red de distribución | 100.00 | Excelente | 100.00 | Excelente | 17.81 | Muy baja |

IV. CONCLUSIONES

4.1. Comparación con la normativa

Se monitorearon parámetros de calidad de agua para consumo humano en el periodo 2022 – I y 2022 – II para la Captación, Planta de Tratamiento, Reservorio y Red de Distribución y se hicieron las comparaciones con el DS. N° 004 – 2017 – MINAM y con el DS. N° 031 – 2010 – SA.

Al comparar los parámetros con el DS. N°004–2017–MINAM Categoría A2, se encontró que se cumplieron todos los parámetros monitoreados (28 en total) excepto el oxígeno disuelto en la captación para el periodo 2022 – I, significando una sensibilidad de la fuente a las temperaturas ambientales, que al ser altas disminuyen la saturación de oxígeno disuelto y este disminuye.

Al comparar los parámetros con el DS. N° 031–2010–SA, se encontró que se cumplieron todos los parámetros monitoreados (28 en total) excepto los coliformes fecales, totales, E. coli, y heterótrofos, cuya desviación en referencia a la norma fue de un máximo de 4, 15.11, 16.22, 19 y 1.9 veces respectivamente, en

la captación en los 2 periodos, en la planta de tratamiento en el segundo periodo y en el reservorio en el primer periodo, lo que demuestra que la correcta desinfección es indispensable antes de que esta fuente vaya a ser destinada para el consumo humano.

4.2. Índices de calidad y contaminación

Considerando la calidad en referencia al DS. N° 004 – 2017 – MINAM, se observa que la calidad es excelente (con puntajes desde 96.74 a 100) en todos los puntos de monitoreo (captación, planta de tratamiento, reservorio y red de distribución). Lo que demuestra que la calidad como fuente es suficiente.

Considerando la calidad en referencia al DS. N° 031 – 2010 – SA, se observa que la calidad es regular en la captación, planta de tratamiento y reservorio, con puntajes desde 59.19 hasta 72.38. Por otra parte, la calidad en la red de distribución es excelente con 100 puntos alcanzados. Lo que demuestra que la calidad para consumo humano solo es adecuada en la red de distribución.

Considerando el índice de contaminación orgánica, la contaminación es muy baja con puntajes menores a 20, el único índice de contaminación orgánica que afectó fue la saturación de oxígeno con puntajes de entre 45 a 50. Esto demuestra que el agua es vulnerable al clima ya que la saturación de oxígeno disminuyó con la temperatura.

4.3. Eficiencia de la planta

Considerando que la finalidad de la planta es que el agua sea apta para el consumo humano, se considera la eficiencia de la planta en base al ICA en referencia a la norma del DS. N° 031 – 2010 – SA, en ese contexto, la calidad del agua en la captación fue de 59.19 y aumentó hasta 100 en la red de distribución, haciendo un aumento de 40.81 puntos, haciendo que la eficiencia sea Muy Buena y que el agua sea apta para el consumo humano.

V. REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-Pe aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales* (1ª ed.). Ministerio de Agricultura y Riego
- Clesceri, L., Greenberg, A., Rhodes, R. (Eds.). (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (2ª ed.). Eds. Díaz de Santos.
- Aurazo, M. (2004). *Manual para el análisis básico de calidad del agua de bebida* (2ª ed.). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <http://elaguapotable.com/manual%20analisis%20basicos%20CA.pdf>

- Carrión, C. (2021). *Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en el centro poblado Pueblo Nuevo de Maray - Morropón – 2020* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2990>
- Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (2017, 1 de enero). *Canadian Environmental Quality Guidelines Canadian Council of Ministers of the Environment*. <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>
- De la Cruz, B. (2021). *Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable en el centro poblado Catarata, distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento de Cusco y su incidencia en la condición sanitaria de la población – 2021* [Tesis de grado, Universidad Católica los Ángeles de Chimbote]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/30578>
- Díaz-Edquén, W. E. (2016). *Calidad de agua de uso poblacional de la ciudad de Chota - Cajamarca 2014* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/6026>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Ministerio de Salud. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Decreto Supremo N°031-2010-SA (2010, 24 de setiembre). Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. Plataforma Digital Única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017, 6 de junio). Ministerio del Ambiente. Normas Legal del Diario Oficial El Peruano N°10-19. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista-Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4ª ed.). McGraw-Hill.
- Hidalgo-Lozano, G. (2021). *Evaluación del servicio de agua potable y su efecto en la calidad de vida de los habitantes del centro poblado San José de Morro, Moyobamba, 2020* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11458/4516>
- Quispe-Oporto, M. (2022). *Evaluación de un sistema de filtrado para remover contaminantes en una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ramírez Silva, A. B., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales: Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153. <http://dx.doi.org/10.29047/01225383.593>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2018). *Agua, bienestar y desarrollo: Memoria Anual*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1479320/Memoria%20Institucional%202018.pdf?v=1719844675>