

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA BENITEZ, CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Chemical and microbiological quality assessment of water for human consumption from the Benitez Municipal Water System, Pelileo Canton, Tungurahua Province

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Ronaldo Alexander Veloz Lozada ⁽¹⁾ | ronaldoalexander89@gmail.com |
|  | Igor Eduardo Astudillo Skliarova ^{(2)*} | igor.astudillo@esPOCH.edu.ec |

(1) Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 060101, Ecuador

(2) Carrera de Nutrición y Dietética. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 060101, Ecuador.

*Correspondencia: Igor Eduardo Astudillo Skliarova. Carrera de Nutrición y Dietética. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 060101, Ecuador. igor.astudillo@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Introducción: La calidad del agua es fundamental para la salud humana, ya que el acceso a agua potable previene problemas de salud, tales como la desnutrición crónica infantil. **Objetivo:** Evaluar la calidad química y microbiológica del agua potable en la parroquia Benítez. **Metodología:** Se evaluaron las concentraciones de cloruro, nitrito, nitrato, flúor y fosfato, así como la presencia de coliformes totales en 120 muestras de agua destinada al consumo. Estas muestras se recolectaron en 30 puntos estratégicos en dos momentos distintos. **Resultados:** Las muestras mostraron niveles de cloruro entre 8,3 y 24,1 mg/L, niveles de nitrito que no superaron 0,2 mg/L, y niveles de nitrato en el rango de 4,3 a 7,87 mg/L, todos por debajo de los límites de las normas NTE INEN 1108:2014. Por otro lado, el contenido de flúor fue de 2,38 mg/L, superando los límites establecidos. Los niveles de fosfato se mantuvieron en 0,3 mg/L, dentro del límite máximo aceptable según las mismas normas. En el análisis microbiológico, la presencia de coliformes fecales osciló entre 0,21 y 0,31 UFC/100 mL, por debajo de los límites normativos. **Conclusión:** El agua consumida en la parroquia Benítez cumple con los estándares de calidad.

Palabras clave: Calidad del agua, niveles de cloruro, niveles de nitrito, niveles de nitrato, niveles de flúor, niveles de fosfato, coliformes totales.

ABSTRACT

Introduction: The quality of water is essential for human health since access to potable water is crucial for preventing health issues like chronic child malnutrition. **Objective:** This study aims to evaluate the chemical and microbiological quality of drinking water in the parish of Benítez. **Methodology:** We assessed the concentrations of chloride, nitrite, nitrate, fluoride, and phosphate in 120 water samples designated for consumption, along with the presence of total coliforms. **Results:** The results show that samples were taken from 30 strategically selected points on two separate occasions. The levels of chloride ranged from 8.3 to 24.1 mg/L, whereas nitrite levels did not exceed 0.2 mg/L, and nitrate levels were between 4.3 and 7.87 mg/L, thus remaining within NTE INEN 1108:2014 standards. However, the fluoride content was found to be 2.38 mg/L, which exceeded the established limits. Conversely, phosphate levels remained at 0.3 mg/L, which is within the maximum acceptable limit set by the same standards. In the microbiological analysis, the presence of faecal coliforms ranged from 0.21 to 0.31 CFU/100 mL, which is below the regulatory limits. **Conclusion:** The water used in the municipality of Benítez meets the quality standards.

Key words: Water quality, chloride levels, nitrite levels, nitrate levels, fluoride levels, phosphate levels, total coliforms.

1. Introducción

Con el transcurso del tiempo, el déficit de agua potable en los hogares se ha convertido en una amenaza mundial donde se ve afectada la salud y el desarrollo de la humanidad (1, 2). Adicionalmente, la contaminación del agua es uno de los principales factores que contribuyen a la desnutrición crónica infantil y otras enfermedades (3). El ser humano debe consumir agua que cumpla con ciertos estándares de calidad (4), que implican que esté libre de agentes patógenos, químicos o fecales, debido a que estos pueden ser transportados por medio del agua (5).

Según el INEC, en el país solo el 76,1% de los habitantes usa agua que ha recibido un tratamiento para que sea potable, mientras que el 23,49% ingiere agua que carece de cualquier tipo de proceso de potabilización. Por lo tanto, Ecuador, en una escala de calidad de agua potable a nivel nacional del uno al cinco, posee una calificación de 3,5 (6).

El ser humano es considerado el principal contaminador de los recursos hídricos, debido a las diversas actividades antropogénicas que realiza en todo el mundo (7). En ocasiones el agua puede contaminarse al salir de la planta de tratamiento a causa de otros factores como la rotura del sistema de distribución en las tuberías, el material de las tuberías y las malas conexiones en cisternas, domicilios o tanques de almacenamiento (8).

Actualmente, se realizan investigaciones del índice de calidad del agua (ICA), enfocadas en evaluar los rangos permisibles para la salud del ser humano, de esta forma se garantiza la calidad e inocuidad del agua (9). Los distribuidores del agua potable deben regirse a los estándares de la norma NTE INEN 1108:2014, la cual se encarga de asegurar que el agua sea apta para el consumo humano (10).

La parroquia Benítez no posee información sobre el control de la calidad del agua potable, por esta razón el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar el estado de los estándares de la calidad del recurso hídrico a lo largo de la red de distribución en la parroquia, lo cual incluye las fuentes, tanques de almacenamiento y varios domicilios. Esto tiene como finalidad obtener información sobre las condiciones en las que se encuentra el agua de dicha comunidad y de esta

manera aportar con la optimización de la calidad de agua en varios puntos críticos.

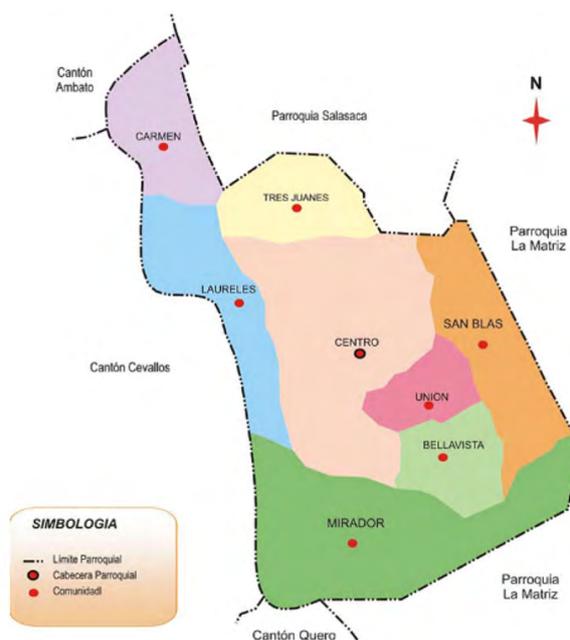
2. Metodología

Para analizar la calidad del agua en la parroquia Benítez, se consideraron como variables independientes los lugares de muestreo, las fuentes de agua y la fecha de muestreo. Como variables dependientes, se evaluaron los niveles de cloruro, nitrito, nitrato, flúor y fosfato para la calidad química, así como la presencia de coliformes totales para la calidad microbiológica. El análisis de los niveles de estos contaminantes fue realizado siguiendo el protocolo y las recomendaciones de la norma INEN 1108:2014.

Localización del estudio

La recolección de muestras se realizó en la vertiente, tanques de almacenamiento y domicilios de los distintos caseríos de la parroquia. Benítez, esta se localiza al occidente del cantón San Pedro de Pelileo en la provincia de Tungurahua, la parroquia cuenta con una extensión de 847,67 hectáreas. Está conformada por los caseríos: San Blas, Bellavista, Mirador, La Unión, El Centro, Los tres Juanes, Los Laureles y El Carmen. Al norte está limitado con la parroquia Salasaca, al sur con el cantón Quero, al este con la parroquia La Matriz y al Oeste con el cantón Cevallos (11).

Figura 1. Mapa de la división política de la parroquia Benítez (11).



Población de estudio

Para la población de estudio se ha considerado las diferentes muestras que se obtuvieron a conveniencia de varias ubicaciones estratégicas como de vertientes, tanques de tratamiento, tanques de admisión, tanques de almacenamiento además de algunos domicilios de la Parroquia de Benítez, del Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua.

Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se determinó a través de 30 puntos de muestreo, los cuales se recopilaron en triplicado, tomando 500 mL de muestra en cada punto con el propósito de llevar a cabo los análisis físico-químicos y microbiológicos correspondientes.

Tabla 1. Puntos de muestreo de la Junta de agua potable de la parroquia Benítez.

| Número de muestra | Punto de muestreo | Codificación | Lugar del punto de muestreo |
|-------------------|--|--------------|-----------------------------|
| 1 | Control negativo | | |
| 2 | Vertiente de Jun Jun | VJ1 | Quebrada de Jun Jun |
| 3 | Tanque de recepción | TDR | Barrio el Centro |
| 4 | Tanques antes del tratamiento | TAT | Barrio el Centro |
| 5 | Tanque de distribución y almacenamiento Central | TDC | Barrio el Centro |
| 6 | Tanque de distribución y almacenamiento Mirador | TDM | Barrio el Mirador |
| 7 | Tanque de distribución y almacenamiento Bellavista | TDB | Barrio Bellavista |
| 8 | Domicilios de San Blas | DSB | Barrio San Blas |
| 9 | Domicilios de San Blas | DSB1 | Barrio San Blas |
| 10 | Domicilios de San Blas | DSB2 | Barrio San Blas |
| 11 | Domicilios de Bellavista | DBE | Barrio Bellavista |
| 12 | Domicilios de Bellavista | DBE1 | Barrio Bellavista |
| 13 | Domicilios de Bellavista | DBE2 | Barrio Bellavista |
| 14 | Domicilios de Mirador | DMI | Barrio El Mirador |
| 15 | Domicilios de Mirador | DMI1 | Barrio El Mirador |
| 16 | Domicilios de Mirador | DMI2 | Barrio El Mirador |
| 17 | Domicilios de La Unión | DLU | Barrio La Unión |
| 18 | Domicilios de La Unión | DLU1 | Barrio La Unión |
| 19 | Domicilios de La Unión | DLU2 | Barrio La Unión |
| 20 | Domicilios del Centro | DCE | Barrio el Centro |
| 21 | Domicilios del Centro | DCE1 | Barrio el Centro |
| 22 | Domicilios del Centro | DCE2 | Barrio el Centro |
| 23 | Domicilios de Los Tres Juanes | DTJ | Barrio Los Tres Juanes |
| 24 | Domicilios de Los Tres Juanes | DTJ1 | Barrio Los Tres Juanes |
| 25 | Domicilios de Los Tres Juanes | DTJ2 | Barrio Los Tres Juanes |
| 26 | Domicilios de Los Laureles | DLL | Barrio Los Laureles |
| 27 | Domicilios de Los Laureles | DLL1 | Barrio Los Laureles |
| 28 | Domicilios de Los Laureles | DLL2 | Barrio Los Laureles |
| 29 | Domicilios del Carmen | DCA | Barrio El Carmen |
| 30 | Domicilios del Carmen | DCA1 | Barrio El Carmen |
| 31 | Domicilios del Carmen | DCA2 | Barrio El Carmen |

En el periodo de junio – julio de 2022 y en el mes de febrero del 2023, se llevó a cabo tres muestreos en varios puntos estratégicos de la red de distribución del agua, cada muestra se recolectó por duplicado y con los datos obtenidos se realizó una comparación con la norma INEN 1108:2014.

Técnica de muestreo

Para la recolección de las muestras de agua se utilizó envases esterilizados de polietileno con tapón y tapa para evitar cualquier tipo de alteración en la muestra, como lo recomienda la NTE INEN 2176:1998 “Agua. Calidad del agua. Técnicas de muestreo”. Cada recipiente es etiquetado con letra clara, ubicación y la fecha (Figura suplementaria 1).

Para el tiempo de muestreo, las muestras se mantuvieron en una conservadora térmica ya que brinda un ambiente fresco y sin filtración de luz, aportando una temperatura adecuada de 4 a 5 °C, manteniéndolas en buenas condiciones hasta realizar los análisis de laboratorio, según lo estipula la NTE INEN 2169:1998 “para manejo y conservación de muestras” (Figura suplementaria 2).

Para vertientes, tanques de recepción y almacenamiento las muestras deben ser recolectadas sigilosamente ya que los dedos no deben tocar las paredes internas del recipiente, de igual manera se realiza para el muestreo en los domicilios, la muestra es tomada directamente del grifo de la red de distribución previamente desinfectando la boquilla del grifo con alcohol posterior a esto se abre y se dejar fluir el agua por 2 a 3 minutos para que la muestra de agua sea la más óptima (12, 13).

Para el análisis bacteriológico no debe transcurrir más de 6 horas y la muestra se debe transportar en una conservadora térmica para mantener la temperatura de 4 a 5 °C, como lo estipula en la NTE INEN 1105:1984 “Aguas. Muestreo para examen microbiológico”.

Determinación de cloruro

Se colocaron 25 mL de la muestra de agua en un Erlenmeyer limpio, luego se añadieron cuatro gotas de K_2CrO_7 para luego titular la muestra con 0,01 M de $AgNO_3$. Finalmente, se registró el valor de volumen consumido del titulante al momento de cambiar el color de amarillo a un tono ladrillo (14).

Determinación de nitrito

Se utilizó el equipo HACH DR 2800, configurando en programas almacenados la opción de Test N

Nitrito RB AV. Se preparó 10 mL de la muestra de agua en vasos limpios y se agregó un sobre de reactivo Nitriver en cada una de las diferentes muestras. Se procedió a agitar la muestra por 1 min para que se homogenice y obtener un tono rosado. Se agregó 10 mL de agua destilada en otro vaso para que sea el blanco y calibrar el equipo. Se introdujo la muestra blanco en la celda y se calibró el equipo presionando la opción cero para que la concentración sea de 0,00 mg/L NO^{-2} . Se midió las muestras preparadas y se registró los valores obtenidos en mg/L NO^{-2} . Para mayor confianza en los resultados se calibró el equipo cada 5 muestras (15).

Determinación de nitrato

Se utilizó el equipo HACH DR 2800, configurando en programas almacenados la opción de Test N Nitrato RB. Se preparó 10 mL de la muestra de agua en vasos limpios y se agregó un sobre de reactivo NitraVer 5 en cada una de las diferentes muestras. Se procedió a agitar la muestra por 3 min para que se homogenice y obtener un tono ámbar. Se agregó 10 mL de agua destilada en otro vaso para que sea el blanco y calibrar el equipo. Se introdujo la muestra blanco en la celda y se calibra el equipo presionando la opción cero para que la concentración sea de 0,00 mg/L NO^{-3} . Se midió las muestras preparadas y se registró los valores obtenidos en mg/L NO^{-3} . Para mayor confianza en los resultados se calibró el equipo cada 5 muestras (15).

Determinación de flúor

Se utilizó el equipo HACH DR 2800, configurando en programas almacenados la opción de Test 190 Flúor. Se preparó 10 mL de la muestra de agua en vasos limpios y se agregó 2 mL de reactivo SPADNS Reagent en cada una de las diferentes muestras. Se procedió a esperar 20 min para que se homogenice y la reacción finalice. Se agregó 10 mL de agua destilada y 2 mL de SPADNS Reagent en otro vaso para que sea el blanco y se procedió nuevamente a esperar 20 min. Se introdujo la muestra blanco en la celda y se calibró el equipo presionando la opción cero para que la concentración sea de 0,00 mg/L F⁻. Se midió las muestras preparadas y se registró los valores obtenidos en mg/L F⁻. Para mayor confianza en los resultados se calibró el equipo cada 5 muestras (16).

Determinación del fosfato

Se añadió 50 mL de la muestra de agua, 4 mL de amonio molibdato y 0,5 mL de cloruro estañoso

en un balón aforado y se procedió a aforarlo a 100 mL. Se preparó una solución patrón de 0,05 mg/mL partiendo de la solución madre, de esta solución se colocó 50 mL en un balón aforado y se añadió 4 mL de amonio molibdato y 0,5 mL de cloruro y se aforó a 100 mL. Se ajustó la longitud de onda a 650 nm para la solución blanco que es el agua destilada y a su vez se comprobó que la absorbancia fuera de 0 y la transmitancia 100. Se ajustó la concentración a 0,05 mg/mL. Se midió las muestras preparadas y se registró los valores obtenidos en mg/L (17).

Análisis microbiológico

En este análisis se determinó la cantidad de coliformes totales por el método de filtración por membrana de la siguiente forma (18). Se armó el equipo de filtración una vez esterilizado. Se colocó con la ayuda de unas pinzas una membrana de 0,45 en el centro del portafolios. Se vertió 100 mL de la muestra de agua en el portafolio y se aplicó la técnica al vacío sin exceder las 15 libras de presión. Se preparó una placa Petri con 2 mL de agar m-Endo (19) y un pad absorbente (20). Se extrajo el filtro de la membrana con una pinza esterilizada y se la colocó en la placa Petri. Se colocó las placas en la estufa en posición invertida a las placas a una temperatura de 37 °C en un tiempo de 24 a 48 horas. Se realizó un conteo después del periodo de incubación considerando como coliformes fecales a las colonias de tono rojizo y coliformes fecales a las que hayan adquirido un tono verdoso. El resultado se obtiene en UFC/100 mL (21).

Análisis estadístico

Se utilizaron pruebas de la t de Student no pareada para determinar las diferencias estadísticas entre los niveles de cloruro, nitrito, nitrato, flúor, fosfato y coliformes totales en comparación con los estándares establecidos por la norma NTE INEN 1108:2014. Este análisis se llevó a cabo utilizando el programa Graphpad Prism 10 (EEUU).

3. Resultados

Análisis de los resultados obtenidos de niveles de cloruro según la NTE INEN 1108:2014

En la figura 2A, se observa que los valores de la concentración de cloruro en los muestreos de los periodos junio-julio 2022 y febrero 2023 cumplen en su totalidad con la normativa ya que el límite máximo permitido por la NTE INEN 1108:2014 es significativamente superior ($p < 0,0001$), teniendo un valor de 250 mg/L.

Análisis de los resultados obtenidos de niveles de nitrito según la NTE INEN 1108:2014

En la figura 2B, se observa que los valores obtenidos de nitrito se encuentran significativamente por debajo del límite permisible en la normativa que es 3 mg/L ($p < 0,0001$), con los valores obtenidos de los diferentes muestreos se obtuvo un rango de 0,1 a 0,2 mg/L como máximo.

Análisis de los resultados obtenidos de niveles de nitrato según la NTE INEN 1108:2014

En la Figura 2C se observa que los valores de nitrato en las muestras donde se puede evidenciar que cumplen con la norma vigente con respecto a este parámetro ya que se encuentran significativamente por debajo de los 50 mg/L ($p < 0,0001$) que es el máximo permitido en la NTE INEN 1108:2014. Las muestras tomadas en los diferentes periodos de la fuente y en el tanque de recepción son las únicas con mayor concentración de nitrato entre 6,60 a 7,87 mg/L, el resto de muestras tomadas de los diferentes tanques de almacenamiento, distribución y de los domicilios se encontraban en el rango 4,3- 5,7 mg/L.

Análisis de los resultados obtenidos de niveles de flúor según la NTE INEN 1108:2014

En la figura 2D, se observa los valores de la concentración de flúor presente en las muestras de agua del periodo junio-julio 2022. Se evidencia que los datos de la fuente y los tanques de recepción exceden el 1,5 mg/L valor que es el límite máximo permitido por la NTE INEN 1108:2014, alcanzando un valor medio de 2,38 mg/L. En el muestreo del periodo febrero 2023 de igual forma los valores de la fuente, tanques de recepción y un tanque de distribución de Bellavista incumplen lo estipulado en la normativa, en el resto de los puntos de muestreo en los diferentes tanques después del tratamiento de potabilización, en los domicilios de los diferentes sectores se observó que no superan el límite máximo, pero la concentración de flúor es elevada manteniéndose en todos los muestreos realizados en el rango de 1,2-1,5 mg/L. En promedio, los niveles de flúor de todos los lugares de muestreo no presentan una diferencia significativa en comparación con el límite máximo permitido ($p = 0,05$). Esto demuestra que aunque la concentración de flúor en el agua es aceptable para el consumo humano, en la fuente debe existir grandes concentraciones de este elemento

de forma natural en la corteza terrestre a causa de infiltraciones por medio de rocas y el suelo.

Análisis de resultados obtenidos de niveles de fosfato según la NTE INEN 1108:2014

En la figura 2E, se observa los valores de la concentración de fosfato del muestreo en los periodos junio-julio 2022 y febrero 2023, las muestras de la fuente y tanques de recepción poseen valores de 0,91-1,08 mg/L estos valores, exceden significativamente los 0,3 mg/L ($p =$

0.0003) que es el límite máximo permitido por la NTE INEN 1108:2014, esto puede deberse a que en la fuente existe gran producción de algas como sedimentos. En el resto de puntos de muestreo los resultados se mantienen en los 0,3 mg/L, pero se debe tener cuidado que superen ese valor ya que si existen altas concentraciones de fosfato puede ser debido a la presencia de agroquímicos, excreciones de seres vivos en el agua ya sea por roturas e infiltraciones en la tubería de distribución de la planta de tratamiento (22).

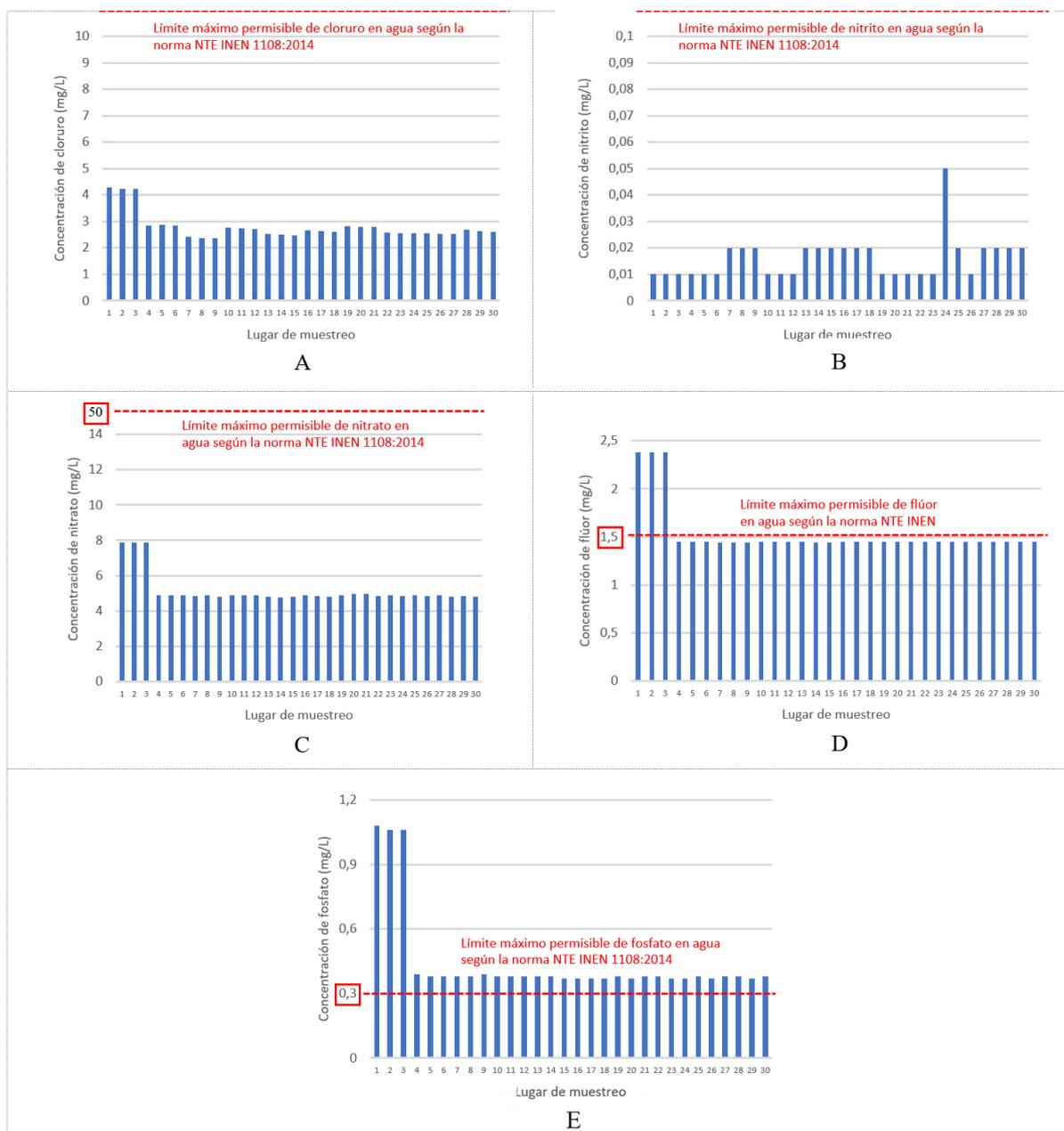


Figura 2. Niveles de cloruro (A), nitrito (B), nitrato (C), flúor (D) y fosfato (E) en las muestras de agua de la parroquia Benítez. Los datos representan la media de tres repeticiones independientes.

Análisis de los resultados microbiológicos según la NTE INEN 1108:2014

En la figura 3, se observa los resultados microbiológicos en el muestreo de los periodos junio-julio 2022 y el mes de febrero 2023, se evidenció presencia de coliformes totales en las muestras tomadas de la fuente y los tanques de recepción, debido a que no tienen ningún tratamiento presentan valores de 0,21-0,31 UFC/100 mL pero eran significativamente inferiores a los 1,1 UFC/100 mL ($p < 0,0001$) estipulado como límite máximo permitido por la NTE INEN 1108:2014, en el resto de muestras hubo ausencia total para coliformes totales lo que significa que el tratamiento de potabilización es efectivo y se obtiene agua de calidad para el consumo humano de la comunidad.



Figura 3. Niveles de coliformes totales en las muestras de agua de la parroquia Benítez. Los datos representan la media de tres

4. Discusión

En este estudio, se evaluó la calidad física, química y microbiológica del agua de consumo humano de la parroquia Benítez tomando muestras de 30 puntos estratégicos, este proceso se hizo en dos periodos dando un total de 120 muestras, los diferentes análisis se realizaron siguiendo la metodología NTE INEN 1108:2014. Agua potable. Requisitos, NTE INEN 1108:2006, OMS 1995, métodos HACH, filtración por membrana y normas ISO 690 (10).

Con relación al cloruro, al realizar una comparación con un estudio realizado por Espinoza, V. (2013) (23) en la parroquia el Rosal del cantón Mocha sobre el control físico-químico de la planta de potabilización de agua, se encontró valores similares que se encuentran en el rango de 2-5 mg/L, por lo cual se asume que el agua es apta para el consumo con respecto al cloruro. Sin embargo, es importante resaltar que concentraciones más altas de cloruro reducen la contaminación bacteriana, lo que significa que el agua no debe tener una concentración

excesivamente baja de cloruro (24). Por otro lado, una concentración excesivamente alta de cloruro está asociada con eventos adversos en los riñones en pacientes críticamente enfermos, incluyendo otros problemas de salud (25). Adicionalmente, es importante tener en cuenta que altas concentraciones de cloruro pueden causar un sabor desagradable en el agua (26).

En cuanto a los nitritos, se obtuvo una concentración de 0,001 mg/L y como máximo 0,05 mg/L, lo cual es similar a los valores obtenidos en un estudio realizado por Viteri, D. (2018) (27) en la parroquia Bolívar del cantón Pelileo sobre la calidad del agua potable de consumo. Con relación a la concentración del nitrato, se tomó en cuenta la calidad del agua proveniente de la fuente ya que indica mínima influencia de factores externos como la lluvia que ayuda en la filtración de pesticidas por el uso excesivo en actividades agrícolas ya que el nitrato se obtiene como subproducto del ciclo del nitrógeno. Los valores obtenidos son similares con el estudio realizado por Espinoza, V. (2013) (23) en el caserío el Rosal perteneciente al cantón Mocha sobre el control físico, químico y microbiológico en la planta de potabilización de agua donde obtuvo valores mínimos de 4 mg/L y máximos de 12 mg/L los cuales están por debajo del límite permisible y poseen similitud con la presente investigación y a su vez se asume que estas zonas son tierras agrícolas y el peligro de una contaminación por nitrato es muy baja. En consecuencia, se presume que el agua no contiene sustancias químicas utilizadas en la agricultura y está libre de contaminación relacionada con el ciclo del nitrógeno (28). Esto es importante, debido a que altas concentraciones de nitritos y nitratos están relacionados con el cáncer de esófago, cáncer gástrico, cáncer de colon y otros tumores (29).

Por otro lado, al realizar una comparación con una investigación realizada por Viteri, D. (2018) (27) en la parroquia Bolívar, en el cantón Pelileo, sobre la evaluación físico-química del agua de consumo, los datos de concentración del flúor son distintos a los de la presente investigación, ya que los valores obtenidos en la parroquia Bolívar son bajos, alcanzando un valor mínimo de 0,09 mg/L en los domicilios y un valor máximo de 0,7 mg/L en las fuentes de agua potable. La contaminación del agua por flúor es generalmente consecuencia del deterioro o lixiviación de rocas con contenido de fluoruro durante la percolación del agua en la tierra o por contaminantes industriales generados por el ser humano (30). Por lo tanto, la parroquia

Benítez no cuenta con una metodología óptima para eliminar el flúor y esto puede conllevar a un aumento en la incidencia de caries dental en esta parroquia, debido a que elevadas concentraciones de flúor puede provocar fluorosis y deterioro dental en los habitantes (31).

Con relación al fosfato, al hacer una comparación con un estudio realizado por Escobar, E. (2016) (27) en la parroquia Quinchibana, en el cantón Pelileo, sobre la evaluación físico-química del agua de consumo, los resultados obtenidos fueron de 0,2-0,3 mg/L mismos que poseen una similitud con los valores de la presente investigación, indicando una concentración de 0,3 mg/L, manteniéndose dentro del límite permisible en la normativa, por lo que el agua no presenta contaminación por efluentes industriales y escurrimientos de fertilizantes, los cuales constituyen la principal fuente de fosfato (32). Esto es bastante beneficio, debido a que niveles altos de fosfato pueden eliminar el calcio de los huesos, volviéndolos frágiles. Además, el exceso de fosfato puede causar depósitos de calcio en los ojos, pulmones, corazón y vasos sanguíneos, lo que aumenta con el tiempo el riesgo de sufrir un ataque al corazón, un derrame cerebral y la muerte (33).

Con relación a los coliformes totales, al comparar los resultados con un estudio realizado por Viteri, D. (2018) (27) en la parroquia Bolívar sobre la evaluación física y química del agua de consumo humano, no existen resultados similares. Sin embargo, en la parroquia Bolívar se determinó la presencia de coliformes en un 71% de sus muestras, lo cual supera el máximo permitido por la normativa y decretando el agua como no apta para el consumo humano. La presencia de microorganismos puede ocurrir debido a la falta de limpieza en los tanques, ausencia de protección en las cámaras de presión y la deficiencia en el tratamiento de potabilización y contaminación por alcantarillas, sistemas sépticos, corrales de engorde y patios de animales (34). Por otro lado, los datos de la parroquia Benítez indican que la población está consumiendo agua de calidad y, por ello, tiene un menor riesgo de padecer de enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua (35).

De esta manera, el presente estudio contribuye a proporcionar información sobre la calidad de agua en la parroquia Benítez, lo cual expande nuestro conocimiento sobre la realidad de Ecuador y en el futuro permitirá determinar qué parámetros deben ser tomados en cuenta para

optimizar la calidad de agua. De esta forma, habrá herramientas adicionales que permitan combatir problemas de salud pública, como la desnutrición crónica infantil, de una forma más eficaz.

El presente estudio presenta un análisis detallado de los principales químicos que afectan la calidad de agua. Sin embargo, con relación al análisis microbiológico, sólo analiza la presencia de coliformes totales, pero no presenta un estudio detallado de la presencia de coliformes fecales.

Para garantizar la seguridad y calidad del agua en el proceso de potabilización, se recomienda llevar a cabo una limpieza constante de la planta de tratamiento para evitar la acumulación de escombros y prevenir accidentes laborales. Además, se debe almacenar el agua tratada durante 12 a 24 horas para permitir una desinfección efectiva con cloro. Es esencial llevar un control de las concentraciones de cloro y los intervalos de tiempo para asegurar la dosis adecuada según la cantidad de agua almacenada. Se debe realizar un control anual de la calidad del agua para garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa aplicable. La mejora del proceso de floculación y coagulación es fundamental para reducir la concentración de flúor en el agua y proteger la salud de la población. También se recomienda realizar monitoreo anual de calidad en diversas etapas del proceso, desde la fuente hasta el consumo final, y emplear filtros de carbón activado para mejorar el sabor del agua debido al cloro.

»» 5. Conclusión

Este estudio determinó que la calidad de agua potable en la parroquia Benítez es buena debido a que cumple un riguroso control de factores como la limpieza de tanques de almacenamiento, cámaras de presión en cada cambio de temporada para evitar la acumulación de cualquier tipo de material exterior que pueda afectar la calidad del agua. Adicionalmente, se lleva un control adecuado de las cantidades de compuestos y el tiempo requerido para el tratamiento de potabilización, además se realiza monitoreos de agua y mantenimiento de la planta anualmente.

»» 6. Agradecimientos

Especial agradecimiento a las Instituciones de Educación Superior: Facultad de Ciencias y Salud Pública de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses en la realización del presente trabajo.

8. Limitación de responsabilidad

Se declara que el manuscrito es de entera responsabilidad de los autores.

9. Fuentes de apoyo

Laboratorio de la calidad del agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

10. Referencias bibliográficas

- Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*. 2022;158:106936.
- Tzanakakis VA, Paranychianakis NV, Angelakis AN. Water Supply and Water Scarcity. *Water*. 2020;12(9):2347.
- van Cooten MH, Bilal SM, Gebremedhin S, Spigt M. The association between acute malnutrition and water, sanitation, and hygiene among children aged 6-59 months in rural Ethiopia. *Matern Child Nutr*. 2019;15(1):e12631.
- Zhou H-l, Wei M-h, Cui Y, Di D-s, Song W-j, Zhang R-y, et al. Association Between Water Intake and Mortality Risk—Evidence From a National Prospective Study. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9.
- Atabati H, Kassiri H, Shamloo E, Akbari M, Atamaleki A, Sahlabadi F, et al. The association between the lack of safe drinking water and sanitation facilities with intestinal *Entamoeba* spp infection risk: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2020;15(11):e0237102.
- María Lorena Cadme A, Loguard Smith Rojas U, Thais Sarah Arreaga C, Ángel Virgilio Cedeño M, Betty Beatriz González O, Luis Alejandro Saltos V. Servicios de agua potable, saneamiento básico y problemas de salud asociados al consumo hídrico en el cantón Quevedo, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2021;5(5).
- López-Pacheco IY, Silva-Núñez A, Salinas-Salazar C, Arévalo-Gallegos A, Lizarazo-Holguin LA, Barceló D, et al. Anthropogenic contaminants of high concern: Existence in water resources and their adverse effects. *Science of The Total Environment*. 2019;690:1068-88.
- Bonetta S, Pignata C, Gasparro E, Richiardi L, Bonetta S, Carraro E. Impact of wastewater treatment plants on microbiological contamination for evaluating the risks of wastewater reuse. *Environmental Sciences Europe*. 2022;34(1):20.
- Caho-Rodríguez CA, López-Barrera EA, editors. Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI 2017.
- Arguello Hernández P, Carrillo L, Escobar Arrieta S, Guananga-Díaz N, Andueza Leal F, Albuja Landi A. PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ASSESSMENT OF WATER SUPPLY SYSTEM, THAT PROVIDES WATER TO HANDMADE FRESH CHEESE FACTORIES LOCATED IN QUIMIAG-RIOBAMBA-ECUADOR. *Perfiles*. 2019;1(21):12-8.
- Benítez IPC. Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Benitez Pachanlica 2017 - 2021. 2021.
- Kianpoor Kalkhajeh Y, Jabbarian Amiri B, Huang B, Henareh Khalyani A, Hu W, Gao H, et al. Methods for Sample Collection, Storage, and Analysis of Freshwater Phosphorus. *Water*. 2019;11(9):1889.
- Kalnina R, Demjanenko I, Smilgainis K, Lukins K, Bankovics A, Drunka R. Microplastics in Ship Sewage and Solutions to Limit Their Spread: A Case Study. *Water*. 2022;14(22):3701.
- Wu D, Hu Y, Liu Y, Zhang R. Review of Chloride Ion Detection Technology in Water. *Applied Sciences*. 2021;11(23):11137.
- Robles-Jimarez HR, Jornet-Martínez N, Campíns-Falcó P. New Green and Sustainable Tool for Assessing Nitrite and Nitrate Amounts in a Variety of Environmental Waters. *Water*. 2023;15(5):945.
- Mariño R, Zaror C. Economic evaluations in water-fluoridation: a scoping review. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):115.
- Nobaharan K, Bagheri Novair S, Asgari Lajayer B, van Hullebusch ED. Phosphorus Removal from Wastewater: The Potential Use of Biochar and the Key Controlling Factors. *Water*. 2021;13(4):517.
- Mates A, Shaffer M. Membrane filtration differentiation of *E. coli* from coliforms in

- the examination of water. *J Appl Bacteriol.* 1989;67(3):343-6.
19. Abu-Sini MK, Maharmah RA, Abulebdah DH, Al-Sabi MNS. Isolation and Identification of Coliform Bacteria and Multidrug-Resistant *Escherichia coli* from Water Intended for Drug Compounding in Community Pharmacies in Jordan. *Healthcare.* 2023;11(3):299.
 20. Banda RK, Mubita P, Moonga G, Meki CD. Bacteriological Quality and Heavy Metal Analysis of Packaged Water Produced in Lusaka, Zambia and Associated Quality Control Measures. *Frontiers in Public Health.* 2021;9.
 21. Soares AS, Miranda C, Coelho AC, Trindade H. Occurrence of Coliforms and Enterococcus Species in Drinking Water Samples Obtained from Selected Dairy Cattle Farms in Portugal. *Agriculture.* 2023;13(4):885.
 22. Ibrahim M, Iqbal M, Tang Y-T, Khan S, Guan D-X, Li G. Phosphorus Mobilization in Plant–Soil Environments and Inspired Strategies for Managing Phosphorus: A Review. *Agronomy.* 2022;12(10):2539.
 23. Espinoza Jarrín VN. Control físico-químico y microbiológico en el proceso de potabilización del agua en el caserío el rosal – cantón Mocha.: Universidad Técnica de Ambato; 2013.
 24. Lehtonen J, Hassinen J, Honkanen R, Kumar AA, Viskari H, Kettunen A, et al. Effects of Chloride Concentration on the Water Disinfection Performance of Silver Containing Nanocellulose-based Composites. *Sci Rep.* 2019;9(1):19505.
 25. Zhou D, Jiang J, Zhang J, Cao F, Peng Z. INCREASE IN CHLORIDE IS ASSOCIATED WITH MAJOR ADVERSE KIDNEY EVENTS IN CRITICALLY ILL PATIENTS. *Shock.* 2023;59(3):338-43.
 26. Atsumi N, Yasumatsu K, Takashina Y, Ito C, Yasui N, Margolskee RF, et al. Chloride ions evoke taste sensations by binding to the extracellular ligand-binding domain of sweet/umami taste receptors. *Elife.* 2023;12.
 27. Viteri Fiallos DN. Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua para consumo humano de la junta de agua potable de la parroquia Bolívar, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua. Repositorio ESPOCH: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018.
 28. Picetti R, Deeney M, Pastorino S, Miller MR, Shah A, Leon DA, et al. Nitrate and nitrite contamination in drinking water and cancer risk: A systematic review with meta-analysis. *Environmental Research.* 2022;210:112988.
 29. Ma L, Hu L, Feng X, Wang S. Nitrate and Nitrite in Health and Disease. *Aging Dis.* 2018;9(5):938-45.
 30. Ahmad S, Singh R, Arfin T, Neeti K. Fluoride contamination, consequences and removal techniques in water: a review. *Environmental Science: Advances.* 2022;1(5):620-61.
 31. Liane BJ, Chow A, Kline D. Skeletal Fluorosis: An Unusual Manifestation of Computer Cleaner Inhalant Abuse. *Cureus.* 2020;12(6):e8461.
 32. Isiuku BO, Enyoh CE. Pollution and health risks assessment of nitrate and phosphate concentrations in water bodies in South Eastern, Nigeria. *Environmental Advances.* 2020;2:100018.
 33. Calvo MS, Uribarri J. Public health impact of dietary phosphorus excess on bone and cardiovascular health in the general population. *Am J Clin Nutr.* 2013;98(1):6-15.
 34. Mellor JE, Smith JA, Samie A, Dillingham RA. Coliform Sources and Mechanisms for Regrowth in Household Drinking Water in Limpopo, South Africa. *J Environ Eng (New York).* 2013;139(9):1152-61.
 35. Gruber JS, Ercumen A, Colford JM, Jr. Coliform bacteria as indicators of diarrheal risk in household drinking water: systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2014;9(9):e107429.