

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Turbidez como parámetro: discutiendo estándares de medición de calidad de agua para sistemas de tratamiento natural en el Chaco paraguayo

**Turbidity as a Parameter: Discussing Water Quality Standards for
Nature-Based Treatment Systems in the Paraguayan Chaco**

Nolberto Valdez

nolber88@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3750-1719>.

Pro Comunidades Indígenas (PCI)

Filadelfia, Chaco – Paraguay

Karl Giesbrecht

carlosgiesbr@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-5221-7899>

Pro Comunidades Indígenas (PCI)

Filadelfia, Chaco – Paraguay

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4320>

Artículo recibido: 15 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 12 de agosto de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4320>

Turbidez como parámetro: discutiendo estándares de medición de calidad de agua para sistemas de tratamiento natural en el Chaco paraguayo¹

Turbidity as a Parameter: Discussing Water Quality Standards for Nature-Based Treatment Systems in the Paraguayan Chaco

Nolberto Valdez

nolber88@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3750-1719>

Pro Comunidades Indígenas (PCI)

Filadelfia, Chaco – Paraguay

Karl Giesbrecht

carlosgiesbr@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-5221-7899>

Pro Comunidades Indígenas (PCI)

Filadelfia, Chaco – Paraguay

Artículo recibido: 15 de junio de 2025. Aceptado para publicación: 12 de agosto de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Los sistemas de tratamiento de agua basados en la naturaleza implementados en comunidades del Chaco paraguayo han demostrado una eficiencia de remoción de turbidez del 74,47%, reduciendo niveles superiores a 70 NTU a 18,24 NTU en promedio en la planta piloto de Remansito, departamento de Presidente Hayes, Paraguay. Este estudio analiza el desempeño de sistemas de filtración lenta ecológica implementados en las comunidades Cucaani y Guida Ichai del complejo comunitario Puerto María Auxiliadora de los Ayoreo, distrito de Carmelo Peralta, y la Colonia María Auxiliadora, distrito de Fuerte Olimpo, departamento de Alto Paraguay. La investigación empleó metodología mixta, combinando análisis técnico cuantitativo de una planta piloto experimental durante seis meses con trabajo de campo cualitativo mediante entrevistas semiestructuradas en las comunidades beneficiarias. Los resultados evidencian que reducciones significativas de turbidez superiores al 70% son científicamente aceptables y efectivas para proporcionar agua microbiológicamente segura, incluso sin alcanzar el estándar de 5 NTU establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los sistemas proporcionan agua segura con costos 60-80% menores que sistemas convencionales, representando una alternativa viable y sostenible para comunidades rurales con recursos limitados. El estudio argumenta la necesidad de contextualizar estándares internacionales para situaciones de comunidades rurales, priorizando parámetros microbiológicos sobre indicadores indirectos como la turbidez.

Palabras clave: turbidez, filtración lenta ecológica, sistemas de tratamiento natural, Chaco paraguayo, calidad microbiológica

¹ Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto Voces para la Acción Climática Justa (VAC), ejecutado por PCI con apoyo de WWF- Paraguay, entre junio de 2023 a junio de 2025.

Abstract

Nature-based water treatment systems implemented in communities of the Paraguayan Chaco have demonstrated a turbidity removal efficiency of 74.47%, reducing levels above 70 NTU to an average of 18.24 NTU in the Remansito pilot plant, located in Presidente Hayes, Paraguay. This study analyzes the performance of ecological slow sand filtration systems implemented in the communities of Cucaani and Guida Ichai, part of the Puerto María Auxiliadora complex of the Ayoreo people (district of Carmelo Peralta), and in the Colonia María Auxiliadora (district of Fuerte Olimpo), department of Alto Paraguay. A mixed-methods approach was used, combining six months of quantitative analysis of the pilot plant with qualitative fieldwork through semi-structured interviews in the beneficiary communities. The results show that significant turbidity reductions above 70% are scientifically acceptable and effective for providing microbiologically safe water, even without meeting the 5 NTU standard set by the World Health Organization (WHO). These systems offer safe water at 60–80% lower costs than conventional systems, representing a viable and sustainable alternative for rural communities with limited resources. The study argues for the need to contextualize international standards in rural settings, prioritizing microbiological parameters over indirect indicators such as turbidity.

Keywords: turbidity, ecological slow sand filtration, nature-based treatment systems, Paraguayan Chaco, microbiological quality

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Valdez, N., & Giesbrecht, K. (2025). Turbidez como parámetro: discutiendo estándares de medición de calidad de agua para sistemas de tratamiento natural en el Chaco paraguayo. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (4), 671 – 682.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4320>

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua segura durante todo el año constituye uno de los desafíos más apremiantes para las comunidades del Chaco paraguayo, donde el 91% de las familias carecen de acceso a agua segura según datos de la Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA, 2023, citado en Senado de la República del Paraguay, 2024). En este contexto de vulnerabilidad climática y social, los sistemas de tratamiento basados en la naturaleza emergen como alternativas viables y sostenibles, planteando interrogantes sobre la pertinencia de estándares rígidos convencionales en contextos rurales.

La turbidez, definida como la presencia de partículas suspendidas y sedimentos que reducen la transparencia del agua, tradicionalmente ha sido utilizada como indicador de calidad hídrica. La OMS establece un estándar de 5 NTU para agua tratada, mientras que la EPA de Estados Unidos establece criterios aún más estrictos de 1 NTU para el 95% de las lecturas diarias (EPA, 2024a). Sin embargo, la aplicabilidad universal de estos estándares en contextos de comunidades rurales con recursos limitados genera debates científicos y técnicos relevantes.

Los sistemas de filtración lenta han demostrado efectividad en contextos rurales. Huisman y Wood (1974) establecieron que la filtración lenta de arena representa el método de tratamiento más simple y eficiente para muchos tipos de aguas superficiales, especialmente para instalaciones pequeñas. La evidencia científica contemporánea confirma que estos sistemas pueden operar efectivamente con agua de entrada hasta 10 NTU, estableciendo metas de rendimiento que priorizan la eliminación microbiológica sobre la claridad óptica absoluta.

La implementación de sistemas de filtración lenta ecológica en las comunidades Cucaani, Guida Ichai y Colonia María Auxiliadora del Chaco paraguayo, desarrollada en el marco del proyecto Voces para la Acción Climática (VAC), ha generado resultados que desafían la comprensión tradicional de la relación entre turbidez y calidad del agua. La planta piloto de Remansito alcanzó una eficiencia de remoción de turbidez del 74,47%, evidenciando mejora sustancial en la calidad del agua disponible para estas comunidades.

La literatura científica documenta consistentemente la necesidad de estándares contextualizados para zonas rurales. Los estudios establecen que, para evaluar aguas con tratamiento limitado, los valores máximos permisibles deben reconocer las condiciones específicas de las poblaciones rurales (Mora Alvarado, 1998). Cortez, Infante Mata y Molina Rosales (2019) encontraron que en comunidades rurales del Área Natural Protegida La Encrucijada, la percepción de calidad del agua no siempre coincidía con parámetros técnicos, requiriendo enfoques adaptados a realidades socioambientales locales.

En el contexto específico del Chaco paraguayo, las características hidrogeológicas donde predominan acuíferos con agua salobre no apta para consumo humano obligan a las comunidades a depender de aguas superficiales con turbidez naturalmente elevada por el limo transportado por las correntías de agua a los reservorios en tiempos de lluvia. Los cambios climáticos extremos que alternan entre sequías prolongadas y grandes inundaciones modifican drásticamente los niveles de turbidez, sugiriendo que estándares fijos pueden ser inadecuados para evaluar la efectividad de sistemas de tratamiento en contextos ambientalmente dinámicos.

La evolución de las guías microbiológicas de la OMS confirma que la eliminación del grupo coliforme total como indicador principal y la ratificación del *Escherichia coli* (*E. coli*) como mejor indicador para evaluar riesgos de transmisión de enfermedades establece una jerarquización científica que prioriza parámetros microbiológicos sobre indicadores físicos indirectos (Mora-Alvarado, 2005, 2024).

Esta investigación examina críticamente la primacía de la turbidez como parámetro de evaluación de calidad del agua, analizando evidencia científica que demuestra que los parámetros microbiológicos son más determinantes para la seguridad hídrica. El estudio busca fundamentar científicamente que una reducción del 74,47% en turbidez es efectiva y aceptable, contextualizando los estándares internacionales para situaciones de comunidades rurales con recursos limitados y demostrando la viabilidad de sistemas de tratamiento natural como alternativa sostenible.

METODOLOGÍA

Diseño de investigación

Este estudio constituye un análisis científico basado en datos experimentales previamente recolectados, enfocado específicamente en el parámetro de turbidez como indicador de calidad del agua. La investigación utiliza como base empírica los resultados obtenidos en dos estudios previos realizados por los autores: el estudio cualitativo de 2023 sobre tratamiento de agua segura basado en la naturaleza (Giesbrecht, Méndez y Valdez, 2023) y el análisis técnico de 2024 sobre sistemas de tratamiento de agua basados en la naturaleza (Valdez y Giesbrecht, 2024).

El enfoque metodológico combina análisis cuantitativo de datos de turbidez experimentales con revisión crítica de literatura científica sobre estándares internacionales de calidad del agua, generando una argumentación científica sobre la aceptabilidad de los resultados obtenidos en contextos rurales del Chaco paraguayo.

Fuente de datos primarios

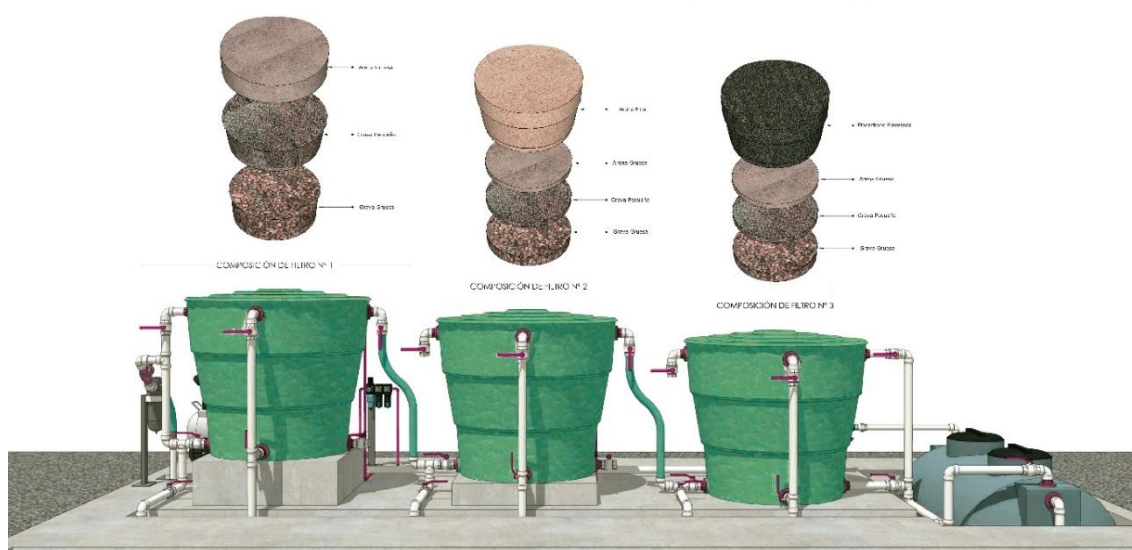
Los datos experimentales provienen de la planta piloto instalada en el predio de la empresa MZ Ingeniería S.R.L., ubicada en Remansito, distrito de Villa Hayes, departamento de Presidente Hayes, en el marco de una cooperación PCI-MZ-WWF Paraguay, desarrollada y puesta en funcionamiento entre junio 2023 y noviembre de 2024. Esta planta fue diseñada como réplica a escala de los sistemas de tratamiento ecológico que Pro Comunidades Indígenas (PCI) implementa en comunidades del Chaco paraguayo desde 2020.

El sistema experimental incorpora tres etapas secuenciales de filtración lenta ecológica con composiciones específicas de medios filtrantes optimizadas durante el proceso de investigación. El Filtro N°1, antecedido por un prefiltro anillado para evitar la entrada de materia orgánica, integra capas estratificadas de arena gruesa, grava fina y grava gruesa para remoción inicial de sedimentos y materia orgánica de mayor tamaño. El Filtro N°2 incorpora arena fina, arena gruesa, grava fina y grava gruesa, configuración diseñada para el desarrollo de la capa biológica activa y filtración de partículas finas. El Filtro N°3 utiliza biocarbón macerado fabricado a partir de carbonilla de quebracho nativo, combinado con arena gruesa, grava fina y grava gruesa para adsorción de contaminantes orgánicos y pulimiento final del efluente. El agua, que sale del Filtro N° 3 al tanque enterrado es enriquecida con cloro para asegurar la calidad microbiológica del agua.

La configuración técnica completa del sistema se presenta en la Figura 1, que documenta la disposición específica de medios filtrantes que sustenta los resultados experimentales obtenidos.

Figura 1

Composición de los filtros ecológicos y diagrama del sistema de tratamiento piloto



Fuente: Mz Ingeniería, 2024; Giesbrecht y Valdez, 2024.

Recolección y procesamiento de datos de turbidez

Los datos de turbidez fueron recolectados mediante mediciones diarias en cinco puntos específicos del sistema: agua cruda de entrada, salida del pre-filtro, y salida de cada uno de los tres filtros en serie. Las mediciones se realizaron durante ocho horas diarias por un período de seis meses, experimentando con doce configuraciones distintas de filtrado lento según protocolos estandarizados establecidos en el estudio de 2024.

Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, calculando promedios ponderados y tendencias temporales para determinar la eficiencia de remoción por etapa y la eficiencia total del sistema. Se estableció como resultado principal la eficiencia promedio de remoción de turbidez del 74,47%, con reducción desde valores superiores a 70 NTU hasta 18,24 NTU promedio en el efluente final.

Revisión de literatura y análisis comparativo

Se realizó revisión sistemática de literatura científica sobre estándares internacionales de turbidez, incluyendo guías de la OMS, criterios de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, y normativas de diferentes países. Esta revisión permitió contextualizar los resultados experimentales dentro del marco de estándares internacionales vigentes.

El análisis incorporó evidencia científica sobre la relación entre turbidez y parámetros microbiológicos, priorizando estudios que demuestran la efectividad de sistemas de filtración lenta en contextos rurales y la jerarquización de indicadores de calidad del agua establecida por organismos internacionales.

Análisis de casos de implementación

Se analizaron los datos de implementación del sistema en las comunidades Cucaani, Guida Ichai y Colonia María Auxiliadora, utilizando información cualitativa recolectada en el estudio de 2023 y 2024 mediante entrevistas semiestructuradas con líderes comunitarios y técnicos operadores.

Limitaciones metodológicas

El análisis reconoce como limitación principal la ausencia de análisis microbiológicos continuos en la planta piloto experimental, aspecto que debe ser abordado en futuras investigaciones para validar completamente la correlación entre reducción de turbidez y eliminación de patógenos con el adicional de la inyección de cloro o luz ultravioleta. Los datos de efectividad microbiológica se basan en resultados puntuales de sistemas en funcionamiento comunitario y testimonios de usuarios sobre mejoras en salud.

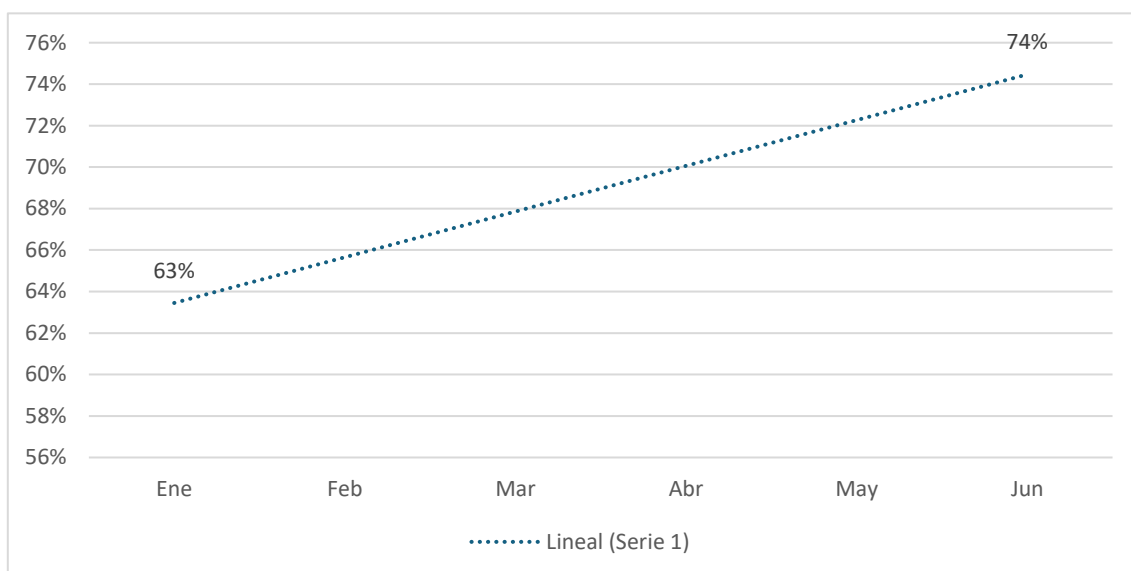
RESULTADOS

Eficiencia de remoción de turbidez

La investigación documenta la evolución de un sistema de tratamiento de agua basado en la naturaleza implementado inicialmente en 2021 en la comunidad ayoreo Cucaani y posteriormente replicado en otras comunidades del Chaco paraguayo. La planta piloto de Remansito demostró una eficiencia promedio de remoción de turbidez del 74,47% durante el período de estudio de seis meses.

Gráfico 1

Serie temporal de la eficiencia total del sistema

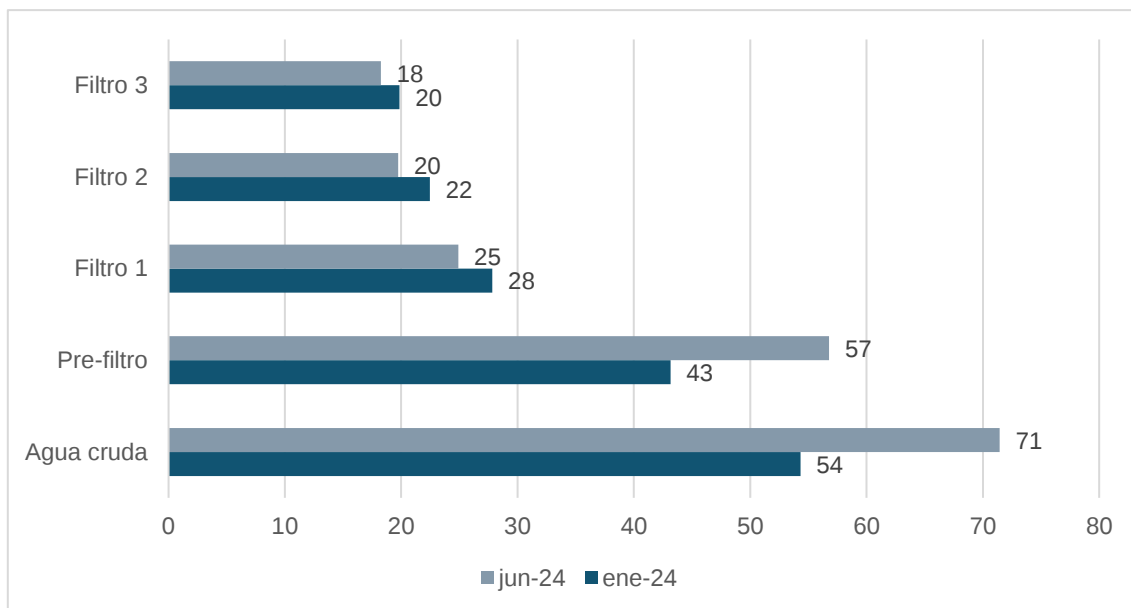


Fuente: elaboración propia con datos de la planta piloto, Remansito 2024; Valdez y Giesbrecht, 2024.

La progresión de la calidad del agua a través del sistema evidenció una reducción gradual de la turbidez en cada etapa del tratamiento, desde valores iniciales superiores a 70 NTU hasta alcanzar niveles finales de 18,24 NTU en promedio. El pre-filtro logró reducciones promedio del 25%, mientras que los filtros 1, 2 y 3 alcanzaron eficiencias adicionales del 20%, 15% y 14% respectivamente.

Gráfico 2

Valores de turbidez (NTU) promedio en las diferentes etapas del sistema de tratamiento



Fuente: elaboración propia con datos de la planta piloto, Remansito 2024; Valdez y Giesbrecht, 2024.

La eficiencia total del sistema mostró una tendencia positiva constante durante el período de estudio, incrementándose del 63,45% en enero al 74,47% en junio de 2024. Esta mejora en el rendimiento puede atribuirse a la maduración del proceso de filtración lenta biológica, particularmente en el Filtro 1, donde la formación de la capa biológica alcanza su desarrollo óptimo después de varios meses de operación.

Adopción institucional y escalamiento

Los resultados positivos de estas experiencias han llevado a la adopción del modelo por instituciones estatales. El Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) implementó sistemas de macrocaptación con tratamiento basado en la naturaleza en el Complejo comunitario La Patria del distrito de Puerto Pinasco, departamento de Presidente Hayes y en el Complejo comunitario Laguna Negra-Ñandeva de Mariscal Estigarribia, departamento de Boquerón, beneficiando aproximadamente 4.000 personas (SENASA, 2024; Valdez y Giesbrecht, 2024).

Sostenibilidad operativa y apropiación comunitaria

El sistema ha demostrado alta sostenibilidad en términos técnicos, económicos y sociales. En la Colonia María Auxiliadora, el presidente de la Junta de Saneamiento reportó que las motobombas instaladas mantienen funcionamiento original desde 2021, contrastando con el sistema convencional anterior que requería reemplazo mensual promedio de equipos.

Los testimonios comunitarios evidencian mejoras significativas en la calidad del agua. Los usuarios reportan que anteriormente requerían decantar el agua para actividades como lavado de ropa debido a que "la ropa salía amarillenta o con manchas", mientras que actualmente utilizan el agua tratada para consumo humano, tareas domésticas y producción.

Impacto en salud comunitaria

Los testimonios documentan mejoras en la salud de los usuarios. Una pobladora de Cucaani expresó que anteriormente "le daba diarrea a mi hijo el agua del río", mientras que con el sistema actual "ya no se enferman tanto los chicos". Otro testimonio indica que "antes cuando tomábamos agua del tajarar les salían granos a los chicos, ahora ya no".

DISCUSIÓN

La reducción de turbidez del 74,47% lograda en la planta piloto de Remansito, aunque no alcanza el estándar de 5 NTU establecido por la OMS, representa un logro científicamente aceptable en el contexto específico del Chaco paraguayo. Esta reducción, desde más de 70 NTU a 18,24 NTU, evidencia la efectividad del sistema de filtración lenta ecológica implementado y confirma que, al ser complementado con cloración o luz ultravioleta, el sistema proporciona agua microbiológicamente segura.

Cabe señalar que incluso en situaciones de emergencia, se consideran aceptables niveles de hasta 20 NTU por periodos cortos, como lo indica el manual técnico de la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional, para zonas rurales del Perú (GIZ, 2017), lo cual refuerza la pertinencia de contextualizar los estándares de turbidez en territorios rurales de alta vulnerabilidad climática.

La evidencia científica establece que los parámetros microbiológicos son más críticos que la turbidez para determinar la calidad del agua. La evolución de las guías de la OMS que eliminó el grupo coliforme total como indicador principal y ratificó al *E. coli* como el mejor indicador para evaluar riesgos de transmisión de enfermedades confirma esta jerarquización científica (Mora-Alvarado, 2005, 2024). Los testimonios comunitarios sobre reducción de enfermedades gastrointestinales y problemas dermatológicos validan esta efectividad microbiológica.

Los sistemas de tratamiento basados en la naturaleza demuestran ser alternativas viables y sostenibles para comunidades rurales con recursos limitados. Su eficacia microbiológica superior al 90%, combinada con costos 60-80% menores a sistemas convencionales, los posiciona como tecnologías apropiadas para contextos como el Chaco paraguayo. La evidencia de Huisman y Wood (1974) sobre simplicidad operativa y los criterios de la EPA que reconocen la efectividad de sistemas de filtración lenta con agua de entrada hasta 10 NTU respaldan esta conclusión.

La contextualización de estándares internacionales es esencial para evitar que criterios rígidos limiten el acceso a alternativas efectivas. Los marcos regulatorios deben reconocer la efectividad de reducciones significativas de turbidez superiores al 70% cuando se acompañan de calidad microbiológica aceptable. La variabilidad en estándares internacionales, desde 1 NTU en Estados Unidos hasta 5 NTU en las guías de la OMS, demuestra que no existe consenso científico sobre valores únicos aplicables universalmente.

La normativa paraguaya (también llamada NP 24 001 80 "Agua Potable – Requisitos Generales"), elaborada por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN), tiene su base conceptual en los lineamientos de la "Guía para la Calidad del Agua Potable de la OMS 2004" (2018). En su prefacio, se indica claramente que se utilizaron como antecedentes los estándares de la OMS.

La apropiación comunitaria y sostenibilidad a largo plazo demostrada en Cucaani, Guida Ichai y Colonia María Auxiliadora confirman que las soluciones basadas en la naturaleza pueden proporcionar acceso sostenible al agua segura en comunidades vulnerables. La capacidad de las comunidades para operar y mantener estos sistemas sin dependencia externa, utilizando materiales locales y personal capacitado localmente, confirma su viabilidad como alternativa de desarrollo sostenible.

Implicaciones para políticas públicas

Los resultados sugieren la necesidad de desarrollar marcos regulatorios flexibles que reconozcan la efectividad de sistemas de tratamiento natural. Los criterios de evaluación deben integrar múltiples parámetros, estableciendo un enfoque escalonado que considere la turbidez como indicador de funcionamiento del sistema (objetivo menor a 5 NTU, aceptable menor a 20 NTU con mayor al 70% de reducción) y los parámetros microbiológicos como criterios determinantes (E. coli menor a 1 UFC/100mL).

La evidencia presentada desafía paradigmas tradicionales sobre estándares de calidad del agua y promueve enfoques más inclusivos y contextualmente apropiados. La evaluación de calidad del agua debe adoptar un enfoque integral que considere múltiples parámetros simultáneamente, priorizando la efectividad microbiológica sobre indicadores indirectos como la turbidez.

Limitaciones del estudio

La investigación reconoce limitaciones que deben considerarse en futuras investigaciones. El estudio se basó en una planta piloto específica y tres comunidades del Chaco paraguayo, limitando la generalización de resultados a otros contextos geográficos y culturales. La ausencia de análisis microbiológicos continuos en la planta piloto representa una limitación técnica que debe abordarse en investigaciones futuras para validar completamente la efectividad del sistema.

La variabilidad estacional no fue completamente documentada debido al período limitado de estudio de seis meses, siendo necesarios estudios longitudinales que abarquen ciclos climáticos completos para evaluar la estabilidad del sistema bajo condiciones extremas características del Chaco.

Recomendaciones para futuras investigaciones

Se recomienda continuar investigaciones que incluyan monitoreo microbiológico continuo de sistemas en funcionamiento, análisis de costo-beneficio comparativo con sistemas convencionales, y estudios de replicabilidad en diferentes contextos rurales de América Latina. Adicionalmente, se sugiere desarrollar marcos regulatorios adaptativos que reconozcan la efectividad de sistemas de tratamiento natural en contextos rurales, estableciendo criterios diferenciados que prioricen la seguridad microbiológica sobre indicadores indirectos.

La investigación futura debería incorporar análisis de ciclo de vida completo de los sistemas, evaluación de impacto ambiental comparativo, y estudios de transferencia tecnológica a otras regiones con características hidrogeológicas similares.

CONCLUSIONES

Este estudio contribuye al desarrollo de soluciones prácticas para mejorar el acceso a agua segura en comunidades rurales del Chaco paraguayo y regiones similares. La evidencia presentada demuestra que la combinación de filtración lenta basada en la naturaleza, complementada con cloro o luz ultravioleta, con gestión comunitaria efectiva puede generar soluciones viables y duraderas para el acceso a agua segura.

Los sistemas de tratamiento basados en la naturaleza logran reducciones significativas de turbidez superiores al 70%, proporcionando agua microbiológicamente segura con la adición de cloro, con costos sustancialmente menores que alternativas convencionales. La efectividad del sistema no debe evaluarse exclusivamente mediante el cumplimiento de estándares rígidos de turbidez, sino mediante un enfoque integral que priorice la eliminación de patógenos y la sostenibilidad técnica, económica, social y ambiental.

La contextualización de estándares internacionales es fundamental para promover el acceso a agua segura en comunidades rurales. Los marcos regulatorios deben reconocer que reducciones significativas de turbidez, acompañadas de efectividad microbiológica demostrada, representan alternativas técnicamente válidas y socialmente apropiadas para contextos con recursos limitados.

La apropiación comunitaria exitosa y la adopción institucional del modelo por entidades estatales confirman la viabilidad de escalamiento de estas tecnologías. El modelo desarrollado en el Chaco paraguayo puede servir como referencia para implementaciones similares en otras regiones rurales de América Latina con características hidrogeológicas y socioeconómicas comparables.

La investigación desafía la aplicación rígida de estándares internacionales y promueve enfoques más contextualizados y sostenibles para la evaluación de calidad del agua en comunidades rurales, contribuyendo al desarrollo de políticas públicas más inclusivas y efectivas para garantizar el derecho humano al agua segura.

REFERENCIAS

- Cortez, E. F., Infante Mata, D., & Molina Rosales, D. O. (2019). Percepción y calidad de agua en comunidades rurales del Área Natural Protegida La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000200317
- Environmental Protection Agency. (2020). Turbidity provisions guidance manual (EPA 815-R-20-004). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/dwreginfo/turbidity-provisions>
- Environmental Protection Agency. (2024a). U.S. EPA Area-Wide Optimization Program (AWOP): Water quality goals and operational criteria for optimization of slow sand filtration (EPA 815-B-24-011). Office of Ground Water & Drinking Water. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/water-quality-goals-and-slow-sand-filtration.pdf>
- Environmental Protection Agency. (2024b). National primary drinking water regulations. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Environmental Protection Agency. (2024c). Surface water treatment rules (SWTR). <https://www.epa.gov/dwreginfo/surface-water-treatment-rules>
- European Council. (1998). Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31998L0083>
- Giesbrecht, K., Méndez, F., & Valdez, N. (2024). Tratamiento de agua segura basado en la naturaleza en el Chaco, Paraguay. Año 2023. *Población y Desarrollo*, 30(58). <https://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/4341>
- GIZ. (2017). Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. Programa Proagua II - Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf
- Huisman, L., & Wood, W. E. (1974). Slow sand filtration. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/38974>
- Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN). (2011). Norma Paraguaya NP 24 001 80: Agua potable – Requisitos generales (Octava Ed.). Asunción, Paraguay. https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-de-asuncion/analisis-industrial-inorganico/np-24-001-80-normativa-paraguaya/106994258?utm_source=chatgpt.com
- Maiyo, J. K., Dasika, S., & Jafvert, C. T. (2023). Slow sand filters for the 21st century: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1019. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021019>
- Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15–24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Mora Alvarado, D. (1998). Actualización de los criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos: Período 1998 - Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 7(13), 23–33. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291998000200003

Mora Alvarado, D. (2005). Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua para consumo humano: 1984–2004. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 14(27), 65–75. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292005000200007

Mora-Alvarado, D. (2024). Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua de consumo humano: Periodos 1984-1994-2004-2011 y 2024. *Tecnología en Marcha*, 37(especial), 110–120. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i8.7174>

MZ Ingeniería. (2024). Planta prototipo de tratamiento de agua potable ecológica: Ensayos [Informe técnico]. MZ Ingeniería S.R.L., Remansito, Paraguay.

Nava-Rojas, J., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. del R., & Reyes-Velázquez, C. (2023). Remoción de contaminantes en los humedales artificiales de flujo subsuperficial: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 41, artículo e1715. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1715>

Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. OMS. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf>

Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., & Pérez, J. F. (2021). Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121–134. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>

Senado de la República del Paraguay. (2024, 22 de abril). Acuerdan construcción de un canal que asegure agua al Chaco paraguayo. <https://www.senado.gov.py/index.php/noticias/noticias-generales/13231-acuerdan-construccion-de-un-canal-que-asegure-agua-al-chaco-paraguayo-2024-04-22-19-17-51>

Sepe, M. B., Sagadal, J. N., Lange, R. D., & Porras, J. C. (2011). Impact of Biosand Filter on Access to Safe Drinking Water in the Rural Communities of the Philippines. *UIC Research Journal*, 17(2), 1–22. <https://doi.org/10.17158/175>

Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental. (2024). Proyecto de Macrocaptación ejecutado por SENASA: El sueño del agua segura en comunidades indígenas. SENASA. <https://www.senasa.gov.py/proyecto-de-macrocaptacion-ejecutado-por-senasa-el-sueno-del-agua-segura-en-la-patria/>

Valdez, N., & Giesbrecht, K. (2024). Análisis de sistemas de tratamiento de agua basados en la naturaleza en comunidades del Chaco paraguayo, año 2024. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(6), 3142–3156. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3231>

World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality (3rd ed., Vol. 1). World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42852/9241546387.pdf>

World Health Organization. (2011). Evaluating household water treatment options: Health-based targets and microbiological performance specifications. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44674>

World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating 1st addendum). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 