

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

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

## **Evaluación de la concentración de cloro residual libre en sistemas de abastecimiento de agua de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca**

Evaluation of free residual chlorine concentrations in the water supply  
systems of Tlacolula de Matamoros, Oaxaca

**Erik Martinez Torres**

emartinez.fcq@uabjo  
<https://orcid.org/0009-0008-8220-4029>  
Universidad Autónoma Benito Juárez de  
Oaxaca  
Oaxaca – México

**Hipócrates Nolasco Cansino**

hnolasco.cat@uabjo.mx  
<https://orcid.org/0009-0009-1422-3129>  
Universidad Autónoma Benito Juárez de  
Oaxaca  
Oaxaca – México

**Alicia Sylvia Gijón Cruz**

agijon.cat@uabjo.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-5116-3801>  
Universidad Autónoma Benito Juárez de  
Oaxaca  
Oaxaca – México

**Aristeo Segura Salvador**

ass@aristeosegura.com.mx  
<https://orcid.org/0009-0006-4406-0461>  
Universidad Autónoma Benito Juárez de  
Oaxaca  
Oaxaca – México

**Nahum Valente Hernández**

nhernandez.fcq@uabjo.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-5187-4777>  
Universidad Autónoma Benito Juárez de  
Oaxaca  
Oaxaca – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4833>

**Artículo recibido:** 17 de julio de 2025  
**Aceptado para publicación:** 18 de noviembre  
de 2025.  
**Conflictos de Interés:** Ninguno que declarar.

  
**Redilat**  
Red de Investigadores  
Latinoamericanos

# NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4833>

## Evaluación de la concentración de cloro residual libre en sistemas de abastecimiento de agua de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca

Evaluation of free residual chlorine concentrations in the water supply systems of Tlacolula de Matamoros, Oaxaca

**Erik Martinez Torres<sup>1</sup>**

emartinez.fcq@uabjo

<https://orcid.org/0009-0008-8220-4029>

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Oaxaca – México

**Alicia Sylvia Gijón Cruz**

agijon.cat@uabjo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5116-3801>

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Oaxaca – México

**Nahum Valente Hernández**

nhernandez.fcq@uabjo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5187-4777>

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Oaxaca – México

**Hipócrates Nolasco Cansino**

hnolasco.cat@uabjo.mx

<https://orcid.org/0009-0009-1422-3129>

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Oaxaca – México

**Aristeo Segura Salvador**

ass@aristeosegura.com.mx

<https://orcid.org/0009-0006-4406-0461>

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Oaxaca – México

Artículo recibido: 17 de julio de 2025. Aceptado para publicación: 18 de noviembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de cloro residual libre en los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano en el municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca de acuerdo con los lineamientos de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-179-SSA1-2020 y la NOM-127-SSA1-2021. Se realizó un análisis transversal durante el periodo de mayo a diciembre de 2024. Las muestras se recolectaron en puntos estratégicos de la red de distribución, empleando un comparador visual de cloro y tabletas de DPD para la determinación in situ de cloro residual libre. Los resultados se compararon con el rango normativo de 0.2 a 1.5 mg/L. Se analizaron 136 muestras de las cuales el 82.4% presentó valores dentro de los límites permisibles y el 14.7% rebasó dichos límites. Esto indica que la desinfección fue incorrecta en ciertos puntos de la red. No se registraron

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia.


concentraciones por debajo del límite inferior. Los hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer el control operativo y la supervisión continua del proceso de cloración a fin de garantizar la inocuidad microbiológica del agua suministrada. Con el propósito de reducir riesgos sanitarios y cumplir de forma sostenida con la normatividad vigente, se recomienda implementar un programa municipal de monitoreo que incluya: registro sistemático, capacitación al personal encargado y acciones correctivas inmediatas.

Palabras clave: cloro residual libre, abastecimiento de agua, vigilancia sanitaria, tlaicolula de matamoros

## Abstract

The objective of this study was to evaluate the concentration of free residual chlorine in water supply systems for human use and consumption in the municipality of Tlaicolula de Matamoros, Oaxaca, in accordance with the guidelines of Mexican Official Standards NOM-179-SSA1-2020 and NOM-127-SSA1-2021. A cross-sectional analysis was conducted during the period from May to December 2024. Samples were collected at strategic points in the distribution network, using a visual chlorine comparator and DPD tablets for the in situ determination of free residual chlorine. The results were compared with the regulatory range of 0.2 to 1.5 mg/L. A total of 136 samples were analyzed, of which 82.4% had values within the permissible limits and 14.7% exceeded those limits. This indicates that disinfection was incorrect at certain points in the network. No concentrations below the lower limit were recorded. The findings highlight the need to strengthen operational control and continuous monitoring of the chlorination process to ensure the microbiological safety of the water supplied. To reduce health risks and ensure ongoing compliance with current regulations, it is recommended that a municipal monitoring program be implemented that includes systematic recording, training of personnel in charge, and immediate corrective actions.

*Keywords:* free residual chlorine, water supply, sanitary surveillance, tlaicolula de matamoros

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

Cómo citar: Martínez Torres, E., Gijón Cruz, A. S., Valente Hernández, N., Nolasco Cansino, H., & Segura Salvador, A. (2025). Evaluación de la concentración de cloro residual libre en sistemas de abastecimiento de agua de Tlaicolula de Matamoros, Oaxaca. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (5), 3458 – 3472. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4833>

## INTRODUCCIÓN

El acceso universal a agua potable segura es un derecho humano reconocido por la Asamblea General de las Naciones Unidas desde 2010 y constituye una condición esencial para la salud pública. Las guías para la calidad del agua de consumo humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen que debe mantenerse un residual de cloro a lo largo de la red de distribución; así, para garantizar una desinfección efectiva, se requiere una concentración  $\geq 0.5$  mg/L con un pH  $< 8.0$  después de 30 minutos de contacto en el punto de entrega. El valor mínimo recomendado es 0.2 mg/L (World Health Organization, 2017). Estas directrices buscan reducir los riesgos microbiológicos en la distribución, donde pueden ocurrir contaminaciones por fallas hidráulicas o intrusiones externas.

En México, el marco regulatorio está definido por dos normas clave; la NOM-179-SSA1-2020 que fija disposiciones para la vigilancia y evaluación del control de calidad del agua distribuida por sistemas de abastecimiento y la NOM-127-SSA1-2021 que establece los límites permisibles de calidad para uso y consumo humano. Esta última reconoce explícitamente el intervalo de 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual libre como criterio operativo para la desinfección en redes de distribución (DOF, 2020; DOF, 2022).

En México en la práctica operativa, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) recomienda ajustar la dosificación para mantener el cloro residual libre entre 0.5 y 1.5 mg/L en red, disponiendo de manuales técnicos y guías de muestreo para asegurar mediciones confiables in situ mediante métodos como el DPD con comparador visual, considerados pilares del control cotidiano en los organismos operadores municipales (CONAGUA, 2018).

No obstante, sostener el residual en rango operativo exige un equilibrio; la subdosificación compromete la inocuidad microbiológica, mientras que la sobredosificación puede favorecer la formación de subproductos de desinfección (SPD), especialmente trihalometanos (THM), cuando hay presencia de materia orgánica natural. Estudios en México y Latinoamérica reportan concentraciones de THM generalmente por debajo de los límites normativos, aunque con variabilidad estacional y riesgos sanitarios asociados a exposiciones crónicas, lo que subraya la importancia de un control preciso tanto de la cloración como de la calidad del agua cruda (González-Ramírez et al., 2021; Rodríguez et al., 2019).

En la ciudad de Tlacolula de Matamoros que es la cabecera del municipio del mismo nombre en el estado de Oaxaca, se documentaron recientemente deficiencias en el servicio de agua potable y afectaciones al derecho al agua de los habitantes de un fraccionamiento. Esta situación motivó la Recomendación 05/2023 de la Defensoría de los Derechos Humanos del Pueblo de Oaxaca (DDHPO, 2023). Este antecedente local refuerza la pertinencia de evaluar sistemáticamente el cloro residual libre como indicador operativo del proceso de desinfección y del cumplimiento normativo.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue analizar la concentración de cloro residual libre en los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano de la ciudad de Tlacolula de Matamoros y estimar el grado de cumplimiento con respecto a las normas NOM-127-SSA1-2021 y NOM-179-SSA1-2020, aportando evidencia útil para mejorar el control operativo y la gestión municipal de la vigilancia sanitaria.

## METODOLOGÍA

Estudio descriptivo, observacional y transversal enfocado en la evaluación operativa de la desinfección a través del cloro residual libre (CRL) en red de distribución, siguiendo lineamientos operativos de COFEPRIS/CONAGUA y criterios de las NOM aplicables descritos en el trabajo. El estudio se realizó en el Municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, de igual manera el monitoreo se realizó de mayo a

diciembre de 2024. Para este estudio se definieron sitios fijos y variables en la red de distribución (tomadas domiciliarias, puntos cercanos y alejados a las fuentes, y sitios de concentración masiva como escuelas, mercado, parque, iglesias y avenidas principales), priorizando además puntos periféricos, de baja presión, con fugas frecuentes y antecedentes de problemas. La frecuencia de determinaciones se fundamentó en la tabla operativa COFEPRIS/CONAGUA 2010 (población 22,545 → 1 determinación por cada 5,000 hab/mes), ampliándose de forma pragmática a dos mediciones por mes en varios puntos para fortalecer el control del proceso.

El CRL se determinó in situ mediante comparador colorimétrico marca LaMotte® con reactivo DPD y escala 0.0–3.0 mg/L (valores de referencia intermedios 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0 mg/L). Las lecturas <0.2 mg/L se registraron como “< 0.2” y las que excedieron 1.5 mg/L como “> 1.5”, de acuerdo con el procedimiento utilizado. Con base en el flujo operativo descrito, se consideró CRL de 1.0–1.5 mg/L como valor operativo “en norma” y no sujeto a bacteriología rutinaria; para 0.2–0.5 mg/L se indicó determinación microbiológica; además, se realizaron determinaciones de control en puntos dentro de norma.

La variable principal considerada es la concentración de cloro residual libre (mg/L) en puntos seleccionados de la red y las variables de apoyo; pH, localización geográfica del punto, cercanía a fuente(s) de abastecimiento y tipo de sitio (domiciliario, masivo, periférico, etc.), conforme a la caracterización y cartografía.

Las lecturas se concentraron mensualmente en tablas y se compararon contra los rangos operativos establecidos en la metodología del estudio, con interpretación por punto, mes y cercanía a fuentes de abastecimiento, además de gráficas de comportamiento temporal (mayo–diciembre).

El monitoreo se efectuó en coordinación con la autoridad municipal y personal responsable de cloración, siguiendo procedimientos que ya forman parte de las actividades de vigilancia sanitaria local y el reporte a la jurisdicción sanitaria correspondiente.

## **DESARROLLO**

### **Agua potable, salud pública y estándares internacionales**

El acceso a agua potable de calidad es considerado un factor determinante para la protección de la salud pública y ha sido reconocido como un derecho humano fundamental por la Asamblea General de las Naciones Unidas desde 2010 (Naciones Unidas, 2010). En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado guías internacionales que sirven como referencia técnica para los países en materia de calidad del agua. Dichas guías establecen la importancia de asegurar procesos de desinfección efectivos y la necesidad de mantener un residual de desinfectante en la red de distribución como medida de protección contra eventuales intrusiones o recontaminaciones. En particular, se recomienda que, después de un tiempo de contacto de al menos 30 minutos y con pH menor a 8.0, el agua mantenga un nivel igual o superior a 0.5 mg/L de cloro libre; además, en el punto de entrega debe garantizarse un mínimo operativo de 0.2 mg/L. Estas disposiciones buscan equilibrar la eficacia microbiológica del tratamiento con la reducción en la formación de subproductos de desinfección que pueden representar riesgos a largo plazo para la salud (World Health Organization [WHO], 2017).

### **Métodos de potabilización y rol de la cloración**

La potabilización del agua combina procesos físicos, químicos y biológicos (coagulación, sedimentación, filtración y finalmente desinfección). Entre los desinfectantes químicos, el cloro (gas, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio) es el más usado por su eficacia, bajo costo y por proporcionar un residual protector en la red. La elección, dosis y control del cloro dependen de la

calidad del agua cruda (materia orgánica, pH, turbiedad), del tiempo de contacto y de las condiciones del sistema de distribución. Aunque el cloro es generalmente seguro en dosis operativas, su reacción con materia orgánica natural conduce a la formación de trihalometanos (THM) y otros SPD, por lo que las estrategias operacionales deben optimizar la dosis para garantizar inocuidad microbiana y reducir formación de subproductos.

La potabilización del agua constituye un proceso multifactorial en el que se integran operaciones físicas, químicas y biológicas, como la coagulación, sedimentación, filtración y desinfección final, con el objetivo de garantizar la seguridad sanitaria del recurso hídrico. La desinfección mediante compuestos clorados continúa siendo la estrategia predominante a nivel global debido a su bajo costo, alta efectividad frente a patógenos y a la capacidad de generar un residual protector en las redes de distribución (World Health Organization [WHO], 2017). No obstante, la selección del tipo de cloro, su dosificación y control operativo dependen de variables críticas como la presencia de materia orgánica natural, el nivel de turbiedad, el pH del agua cruda y las condiciones de contacto en el sistema de distribución (Tzatchkov & Alcocer-Yamanaka, 2020).

Si bien el uso de cloro se considera seguro dentro de los rangos operativos recomendados, su interacción con materia orgánica puede dar lugar a la formación de subproductos de desinfección (SPD), como los trihalometanos (THM) y los ácidos haloacéticos, compuestos que han sido asociados con riesgos para la salud a largo plazo. Evidencia reciente muestra que incluso niveles de THM inferiores a los límites normativos establecidos en Estados Unidos (80 µg/L) y la Unión Europea (100 µg/L) se relacionan con un mayor riesgo de cáncer de vejiga y colorrectal, lo que ha generado debates sobre la suficiencia de los estándares regulatorios actuales (Helte et al., 2025). Asimismo, estudios de cohorte recientes advierten que la exposición crónica a concentraciones de THM bromados podría incrementar la incidencia de enfermedad renal crónica, lo que amplía la preocupación más allá de los efectos cancerígenos tradicionalmente reconocidos (McGovern et al., 2025).

De manera adicional, se ha identificado un nuevo subproducto emergente en sistemas de cloración denominado anión cloronitramida, cuyo hallazgo fue confirmado mediante técnicas avanzadas de espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear. Aunque aún no se ha determinado su toxicidad, la persistencia de este compuesto en concentraciones de hasta 120 µg/L en sistemas de agua potable de Estados Unidos ha generado alerta en la comunidad científica debido a su similitud estructural con otros compuestos tóxicos (Fairey et al., 2024). Frente a este escenario, diversos investigadores subrayan la importancia de optimizar las estrategias operacionales (ajustes de dosis, integración de carbón activado y tecnologías de desinfección alternativas) con el fin de mantener la eficacia microbiológica sin incrementar los riesgos químicos asociados al consumo humano (Elsherif et al., 2024).

### **Comportamiento del cloro residual en redes de distribución**

El cloro residual libre (CRL) añadido en la planta de tratamiento de agua potable experimenta una disminución en su concentración a medida que recorre la red de distribución. Este fenómeno se debe a diversas interacciones químicas y físicas, como reacciones con materia orgánica disuelta y particulada, formación de biofilms en las superficies internas de las tuberías, interacciones con materiales de las tuberías y residuos acumulados, así como procesos de dilución y tiempo de residencia del agua (González et al., 2023). Estas pérdidas de CRL son particularmente notorias en tramos periféricos de la red, zonas de baja presión o con flujo estancado, donde la capacidad de renovación del agua es limitada (González et al., 2023).

Además, eventos operativos como roturas, reparaciones o variaciones en el caudal pueden provocar intrusiones de agua no tratada o de calidad inferior, lo que representa un riesgo potencial de contaminación microbiológica si el CRL es insuficiente para mantener la desinfección en toda la red

(González et al., 2023). La variabilidad espacial y temporal del CRL en redes pequeñas y medianas es una característica común, lo que dificulta la garantía de niveles adecuados de desinfección en todos los puntos de consumo (González et al., 2023).

Para abordar estos desafíos, se recomienda implementar estrategias operacionales como la zonificación por sectores, purgas periódicas y dosificación localizada mediante sistemas de refuerzo (boosters). Estas prácticas permiten mantener niveles protectores de CRL en áreas críticas y mejorar la eficacia de la desinfección en toda la red de distribución (González et al., 2023).

### **Indicadores operativos y de cumplimiento de la normatividad**

A nivel internacional, los rangos orientadores para el cloro residual libre (CRL) en el punto de entrega del agua potable suelen ubicarse entre 0.2 y 0.5 mg/L, lo cual asegura tanto la inactivación continua de microorganismos como la prevención de la recontaminación microbiológica a lo largo de la red de distribución (OMS, 2017). La Organización Mundial de la Salud enfatiza que estos niveles mínimos de cloro no deben considerarse valores absolutos, sino guías técnicas adaptables a las condiciones locales de cada sistema de abastecimiento, dado que factores como la temperatura, la demanda de cloro y la presencia de compuestos reductores pueden modificar su efectividad (WHO, 2017; Hrudehy & Charrois, 2012).

En el caso de México, el marco normativo es más específico y vinculante. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 establece que el CRL en el punto de entrega debe mantenerse dentro del intervalo de 0.2 a 1.5 mg/L, límite que busca garantizar un equilibrio entre una desinfección eficaz y la minimización de la formación de subproductos derivados de la cloración (Secretaría de Salud, 2022). Este rango permite responder a las variaciones de calidad del agua cruda, así como a las condiciones de transporte y almacenamiento en la infraestructura hidráulica.

Complementariamente, la NOM-179-SSA1-2020 detalla los lineamientos técnicos y operativos de vigilancia sanitaria que deben aplicar tanto las autoridades regulatorias como los organismos operadores. Estos incluyen la frecuencia y ubicación de muestreo, métodos analíticos para la determinación de cloro residual y procedimientos de control correctivo en caso de desviaciones (Secretaría de Salud, 2020). La aplicación coordinada de estas disposiciones normativas permite asegurar la calidad microbiológica del agua distribuida, otorgando certidumbre a la población respecto a su inocuidad y contribuyendo a la prevención de enfermedades de transmisión hídrica (CONAGUA, 2022).

En conjunto, las directrices internacionales y las normas nacionales constituyen un marco regulatorio robusto que orienta la vigilancia sanitaria y las decisiones operativas en torno a la calidad del agua potable. De este modo, se garantiza que el agua suministrada cumpla con los estándares de seguridad requeridos para proteger la salud pública, a la vez que se atienden los riesgos asociados a la variabilidad en la calidad del agua cruda y las condiciones de la red de distribución.

### **Determinación de cloro residual, métodos de campo y control de calidad**

La medición de cloro residual libre (CRL) en campo es esencial para garantizar la desinfección efectiva del agua potable. Uno de los métodos más utilizados es el colorimétrico DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina), que permite determinar tanto el CRL libre como el combinado y el total. Este método es ampliamente aceptado por organismos reguladores, como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), y se emplea en sistemas de monitoreo de calidad del agua (EPA, 2024). Sin embargo, su aplicación requiere un control riguroso de reactivos, calibración adecuada y atención a condiciones de muestreo, como pH, color y turbidez, para evitar sesgos en los resultados (Minnesota Department of Health, 2023).

La correcta aplicación del método DPD es fundamental para obtener datos operativos confiables que respalden la toma de decisiones en la gestión del agua potable. Por ello, documentos técnicos y manuales elaborados por instituciones como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Secretaría de Salud de México establecen procedimientos de muestreo in situ, preservación y registro de datos, incluyendo bitácoras, que aseguran la calidad y trazabilidad de la información obtenida (CONAGUA, 2022; Secretaría de Salud, 2021).

Por otro lado, la formación de subproductos de desinfección (SPD), especialmente los trihalometanos (THM), es una preocupación en los procesos de cloración del agua. Los THM se generan cuando el cloro reacciona con materia orgánica natural (NOM) o con precursores presentes en el agua. La magnitud de su formación depende de factores como la calidad del agua cruda, la dosis de cloro, el tiempo de contacto y la temperatura (EPA, 2024).

Aunque la evidencia epidemiológica aún debate las asociaciones a largo plazo entre la exposición a THM y ciertos riesgos crónicos, la gestión prudente exige monitoreo de SPD cuando se aplican procesos clorados y la adopción de prácticas que minimicen su formación. Estas prácticas incluyen un mejor pretratamiento, control de dosis y reducción de tiempo de residencia cuando sea posible (EPA, 2024). Estudios recientes muestran variabilidad estacional y espacial de THM, lo que hace recomendable la evaluación periódica en sistemas con fluctuaciones en la calidad del agua (Olympian Water Testing, 2025).

### **Vigilancia sanitaria operativa y planificación de muestreo**

Los lineamientos operativos establecidos por las autoridades regulatorias en México (COFEPRIS y CONAGUA) recomiendan que los programas de muestreo de cloro residual libre (CRL) y calidad del agua se diseñen en función del tamaño poblacional y de la complejidad del sistema de abastecimiento. En términos prácticos, a mayor número de habitantes y mayor extensión de la red de distribución, se requiere una frecuencia más elevada de monitoreo y una cobertura espacial más amplia, con el objetivo de capturar la variabilidad intra-sistema y reducir el riesgo de fallas locales en la desinfección (Secretaría de Salud, 2020; CONAGUA, 2022).

Además del control rutinario del CRL, estos programas de vigilancia integran pruebas microbiológicas complementarias, particularmente cuando las concentraciones caen por debajo de los umbrales críticos, por ejemplo, valores inferiores a 0.2 mg/L, los cuales incrementan la probabilidad de proliferación bacteriana y la ocurrencia de brotes hídricos (OMS, 2017; Pérez-Vidal et al., 2021). En tales escenarios, los lineamientos establecen la aplicación de procedimientos de respuesta inmediata, como purgas en las líneas, ajustes de la dosificación de desinfectante y la notificación de fallas a las autoridades sanitarias competentes (Secretaría de Salud, 2022).

Un aspecto adicional señalado por la literatura especializada es la importancia de la gestión sistemática de datos de monitoreo. La implementación de bitácoras y registros digitales, con herramientas de análisis estadístico, permite aplicar principios de control estadístico de procesos (SPC, por sus siglas en inglés), lo cual favorece la identificación temprana de tendencias anómalas en la concentración de cloro residual y facilita una acción preventiva en lugar de correctiva (Torres-López et al., 2020; LeChevallier & Au, 2019). Esta visión proactiva no solo optimiza la seguridad microbiológica del agua, sino que también incrementa la eficiencia operativa de los sistemas de abastecimiento.

En síntesis, el marco normativo nacional y las directrices técnicas recomiendan un enfoque integral de vigilancia que articula la frecuencia de muestreo con criterios poblacionales, incorpora monitoreo microbiológico en condiciones críticas y promueve la digitalización de registros para fortalecer la capacidad de respuesta de los operadores y garantizar la protección de la salud pública.

## Retos específicos en sistemas rurales y municipales en México

Los sistemas de abastecimiento de agua en municipios rurales y de tamaño intermedio en México suelen enfrentar múltiples retos operativos derivados de sus características socioeconómicas y técnicas. Entre ellos destacan la coexistencia de fuentes diversas de suministro, que pueden incluir tanto pozos profundos como captaciones superficiales, lo que genera complejidad en la gestión del tratamiento y en la homogeneidad de la calidad del agua distribuida (CONAGUA, 2022; OMS, 2017). A esto se suman infraestructuras envejecidas, con tuberías y equipos que exceden su vida útil, así como limitaciones en los recursos técnicos y financieros que restringen la modernización y mantenimiento de sistemas de cloración y distribución (Secretaría de Salud, 2020; LeChevallier & Au, 2019).

La estacionalidad hídrica, particularmente marcada en regiones con periodos de sequía y lluvias intensas, también introduce variabilidad en la calidad y disponibilidad del agua, lo que afecta la estabilidad del proceso de desinfección (Guzmán-Hernández et al., 2021). Asimismo, las dificultades en la adquisición, calibración y mantenimiento de equipos de dosificación de cloro incrementan la probabilidad de que existan tramos subclorados dentro de la red de distribución, generando condiciones de riesgo para la seguridad microbiológica (Pérez-Vidal et al., 2021).

En este escenario, se reconoce la necesidad de implementar estrategias de gestión adaptadas a las condiciones locales. Medidas como la medición periódica y sistemática del cloro residual libre (CRL), la zonificación operativa de la red de distribución (que permite focalizar áreas críticas de riesgo sanitario) y la capacitación continua del personal técnico y operativo han sido identificadas como intervenciones costo-efectivas para fortalecer la seguridad del agua distribuida (Torres-López et al., 2020; OMS, 2017). Dichas acciones, aunque de bajo costo relativo, contribuyen significativamente a la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento y a la reducción de brechas en la vigilancia sanitaria en comunidades con recursos limitados.

### Síntesis conceptual aplicable al estudio

La evaluación y el fortalecimiento de la vigilancia del cloro residual libre (CRL) en Tlacolula de Matamoros requiere de un enfoque integral que combine herramientas técnicas y de gestión sanitaria. En primer lugar, es indispensable implementar mediciones in situ mediante el método colorimétrico con N,N-diethyl-p-phenylenediamina (DPD), siguiendo protocolos estandarizados que aseguren la confiabilidad de los datos obtenidos (WHO, 2017; Rice et al., 2021). Estas mediciones deben aplicarse de forma sistemática en diferentes puntos de la red de distribución, considerando tanto la variabilidad espacial como temporal.

Un segundo componente es el análisis de tendencias espacio-temporales, que permite identificar sectores críticos como zonas de baja presión, tramos alejados de la fuente de abastecimiento o ramales con alta antigüedad en infraestructura, donde suelen registrarse valores insuficientes de CRL (Torres-López et al., 2020; Pérez-Vidal et al., 2021). Este tipo de información es esencial para orientar decisiones operativas y focalizar intervenciones.

En tercer lugar, se recomienda que los sistemas de abastecimiento cuenten con planes de respuesta operacional que incluyan acciones inmediatas, tales como el ajuste en la dosificación de cloro, la realización de purgas en tramos de acumulación y la aplicación de cloración de refuerzo o boosters en puntos estratégicos de la red (LeChevallier & Au, 2019; Secretaría de Salud, 2020).

Finalmente, la vigilancia sanitaria debe complementarse con análisis microbiológicos de indicadores como coliformes totales y *Escherichia coli*, particularmente cuando se detecten niveles de CRL por debajo de 0.2 mg/L o inclusive 0.5 mg/L, que representan un umbral crítico de riesgo microbiológico.

Asimismo, cuando la concentración de cloro residual exceda los valores operativos recomendados, es necesario incluir la determinación de subproductos de desinfección (SPD), especialmente trihalometanos (THM), para evaluar el balance entre la inocuidad microbiológica y la exposición química (WHO, 2022; Villanueva et al., 2021).

En conjunto, la literatura internacional y la normativa mexicana (NOM-127-SSA1-2021; NOM-179-SSA1-2020) respaldan este enfoque integrado como una práctica recomendada para garantizar tanto la seguridad microbiológica del agua potable como la adecuada gestión de riesgos asociados a subproductos de la desinfección.

## RESULTADOS

Durante el periodo comprendido entre mayo y diciembre de 2024, se realizó el monitoreo de cloro residual libre (CRL) en el sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca. Las mediciones se llevaron a cabo en 17 puntos de la red de distribución, incluyendo tomas domiciliarias, cisternas públicas y sitios de alta concentración poblacional, conforme a los lineamientos establecidos por las NOM-179-SSA1-2020 y la NOM-127-SSA1-2021.

Las concentraciones de cloro residual libre (CRL) se clasificaron en seis rangos: 0 ppm, 0.2 ppm, 0.5 ppm, 0.8 ppm, 1.0 ppm y >1.5 ppm. Los resultados mensuales fueron organizados en tablas y representados gráficamente, lo que permitió el seguimiento sistemático del proceso de desinfección. Se observó que el 85.3 % de las muestras se encontraba dentro del intervalo normativo establecido (0.2–1.5 mg/L), lo que evidencia un proceso de cloración adecuado y una eficiencia aceptable en la desinfección del sistema de abastecimiento. No obstante, se identificaron puntos con concentraciones superiores a 1.5 mg/L, particularmente en Avenida Ferrocarril y en el pozo del paraje Río Seco; estos valores podrían estar relacionado con una sobre dosificación o acumulación de cloro residual. En la Gráfica 1 se muestra la dispersión de las concentraciones de CRL registradas en el sistema de abastecimiento durante el periodo de estudio. En ella se observa que las concentraciones de CRL se encuentran mayoritariamente entre 0.5 y 1.5 mg/L al punto de entrega; los valores extremos en límite superior del rango normativo representan el 25% del total de las observaciones (1.5 mg/L) y las del límite inferior apenas el 2.9% (0.2 mg/L), mientras que los valores fuera del rango normativo fueron del 14.7% (2 mg/L).

El hecho que haya pocos registros de 0.2 mg/L, que se concentran en la capilla de la sección 2 de abril, implica que el riesgo de pérdida de desinfección es muy bajo; asimismo, el 25% de los registros corresponde a los valores de 1.5 mg/L lo cual implica un riesgo un probable bajo de que haya subproductos de cloración o sabor desagradable.

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, no existen diferencias significativas entre meses. Este análisis se realizó considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  (Tabla 1). Para este diseño se planteó la hipótesis nula ( $H_0$ ): La concentración de cloro residual en el agua de abastecimiento público de Tlacolula de Matamoros se encuentra estandarizada. La hipótesis alterna ( $H_a$ ) establece que existen diferencias significativas en la concentración de cloro residual entre los grupos analizados. La regla de decisión acerca de  $H_a$  se definió de la siguiente manera:

Con base en el p-valor: rechazar  $H_a$  si  $p < \alpha$ . En este caso, el p-valor obtenido fue 0.9943 que es  $> 0.05$ .

Con base en el valor crítico: rechazar  $H_a$  si  $F > F_{crit}$ . El valor de  $F$  obtenido fue 0.1453 que es  $<$  el valor crítico de 2.0819.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) ya que  $p > \alpha$  y  $F < F_{crit}$ . Se acepta la hipótesis nula  $H_0$  y se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas en las

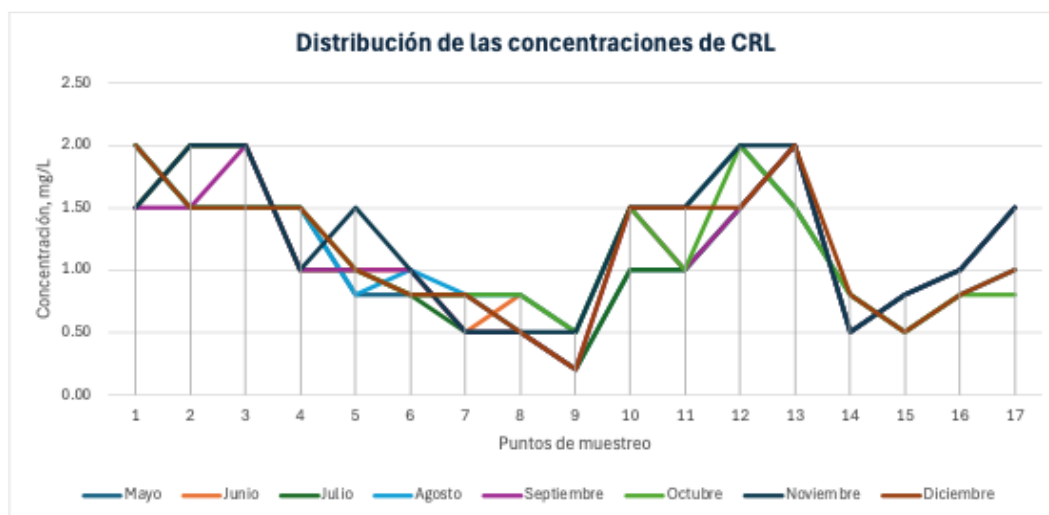
concentraciones de cloro residual entre los grupos estudiados (meses), lo cual indica un comportamiento uniforme del parámetro en las condiciones analizadas.

Esto sugiere que el sistema mantiene un patrón uniforme en la dosificación de cloro. Sin embargo, la presencia de valores fuera del rango normativo en el límite superior y valores que coinciden con el límite inferior refleja la necesidad de ajustes operativos en ciertos puntos de la red; de esta manera, se garantizará principalmente que no haya subproductos de cloración o sabor desagradable y, en menor grado, presencia de patógenos.

En estos casos, la literatura técnica señala que, cuando el cloro residual libre se aproxima al valor mínimo normativo, es recomendable realizar análisis microbiológicos complementarios para confirmar la ausencia de contaminación bacteriana en el agua suministrada. De esta forma, la interpretación de la gráfica no solo refleja una variabilidad espacial en los niveles de CRL, sino que también sustenta la importancia de implementar un sistema de vigilancia integral que combine el monitoreo fisicoquímico con la evaluación microbiológica, tal como lo establece la normativa vigente en materia de calidad del agua para consumo humano.

Gráfico 1

*Distribución de las concentraciones de CRL en la red de abastecimiento de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, durante mayo-diciembre de 2024*



**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 1**

*Análisis de varianza (ANOVA) para los datos obtenidos de la concentración de CRL durante mayo-diciembre, 2024*

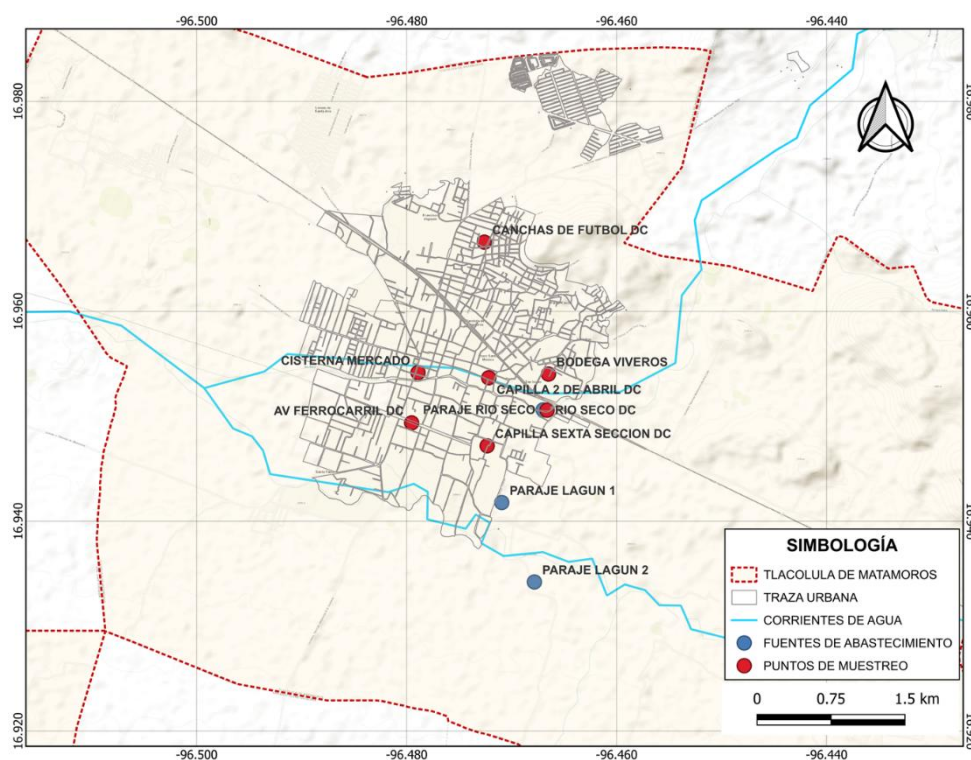
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.280	7	0.040	0.145	0.994	2.082
Within Groups	35.200	128	0.275			
Total	35.480	135				

**Fuente:** elaboración propia.

Para complementar el estudio, se tomó en cuenta la literatura sobre el análisis de tendencias espacio-temporales que permite identificar sectores críticos como zonas de baja presión, tramos alejados de la fuente de abastecimiento o ramales con alta antigüedad en infraestructura; en donde suele registrarse valores insuficientes de CRL (Torres-López et al., 2020; Pérez-Vidal et al., 2021). Este tipo de información es esencial para orientar decisiones operativas y focalizar intervenciones; referente a este apartado, el análisis geográfico reveló que algunas secciones del municipio no fueron incluidas en el monitoreo, lo que representa una limitación en la cobertura sanitaria. Como se observa en el Mapa No. 1 existen zonas del municipio que no están cubiertas en cuanto al monitoreo de CRL, especialmente en la parte noroeste del municipio existe un espacio muy amplio sin cobertura de vigilancia. Este punto es importante ya que la fuente de abastecimiento (Río seco) cubre toda esta zona de distribución del agua. Aunque los valores de CRL en el punto marcado como cancha de futbol, la concentración es aceptable; sin embargo, no es la zona más alejada y poblada del municipio; por tanto, en un futuro debe existir modificación en el procedimiento de monitoreo. Además, no se logró identificar con precisión la fuente de abastecimiento de ciertos puntos, debido a la falta de infraestructura para medición directa en los pozos Lagoon 1 y 2 (figura 1).

**Figura 1**

*Ubicación espacial de las fuentes de abastecimiento del sistema de agua potable toma de muestra en cabecera del municipio de Tlacolula de Matamoras Oaxaca*



**Fuente:** elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian un cumplimiento general con los parámetros establecidos por la norma NOM-127-SSA1-2021, lo cual sugiere que el proceso de desinfección mediante cloración es funcional en gran parte de la cabecera municipal.

No obstante, las concentraciones superiores a 1.5 mg/L observadas en algunos puntos podrían generar subproductos de desinfección como trihalometanos, los cuales tienen implicaciones para la salud pública si no se controlan adecuadamente. Este hallazgo subraya la necesidad de ajustar la dosificación de cloro y realizar análisis fisicoquímicos complementarios.

Las muestras con concentraciones de 0.2 mg/L o menores requieren vigilancia microbiológica adicional, ya que podrían no garantizar una desinfección efectiva, especialmente en zonas con alta vulnerabilidad sanitaria.

La cobertura del monitoreo también presenta limitaciones. Las secciones 3 y 4 de la cabecera municipal no fueron incluidas en el programa de vigilancia, lo que compromete la representatividad de los datos y la capacidad de respuesta ante posibles brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Además, la falta de infraestructura para la medición directa en los pozos Lagoon 1 y 2 impide una evaluación completa del sistema de abastecimiento.

La incorporación de mapas georreferenciados permitió identificar rutas de distribución y puntos críticos, lo que representa una herramienta valiosa para la planificación de futuras acciones de vigilancia. Asimismo, la inclusión de cisternas públicas en el monitoreo, como las del mercado y el parque, es un avance significativo, dado su papel en la exposición directa de la población al agua distribuida.

## **CONCLUSIÓN**

La vigilancia sanitaria del sistema de abastecimiento de agua en Tlacolula de Matamoros permitió identificar que, en general, las concentraciones de cloro residual libre se encuentran dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021, lo que indica un proceso de desinfección adecuado en la mayoría de los puntos evaluados.

Sin embargo, se detectaron inconsistencias en la cobertura del monitoreo, especialmente en zonas periféricas del municipio, lo que limita la representatividad de los resultados. Asimismo, se observaron concentraciones superiores a 1.5 mg/L en algunos puntos, lo que podría generar subproductos de desinfección como los trihalometanos con implicaciones para la salud pública.

La falta de infraestructura para la medición directa en ciertas fuentes de abastecimiento representó una barrera para una vigilancia integral. Además, se identificó la necesidad de realizar análisis microbiológicos en puntos con concentraciones de cloro iguales o inferiores a 0.2 mg/L, conforme a la normativa vigente.

Para fortalecer el sistema de vigilancia, se recomienda:

- Ampliar la cobertura geográfica del monitoreo.
- Implementar un sistema de registro y reporte sistemático.
- Capacitar al personal responsable de la vigilancia sanitaria.
- Establecer rutas de muestreo basadas en criterios técnicos y normativos.
- Integrar el municipio al programa federal de vigilancia sanitaria de COFEPRIS.

Estas acciones permitirán garantizar el acceso a agua potable segura para la población, reducir riesgos sanitarios y cumplir con los estándares nacionales de calidad del agua.

## REFERENCIAS

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Manual técnico para la cloración del agua potable. CDMX: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). Calidad del agua en México: lineamientos y retos en la gestión sanitaria. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). Manual de procedimientos para la medición de cloro residual libre en campo. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua>

Defensoría de los Derechos Humanos del Pueblo de Oaxaca (DDHPO). (2023). Recomendación 05/2023. Oaxaca, México.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). NOM-179-SSA1-2020. CDMX, México.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2022). NOM-127-SSA1-2021. CDMX, México.

Elsherif, S. M., Taha, A. F., & Abokifa, A. A. (2024). Disinfectant control in drinking water networks: Integrating advection–dispersion–reaction models and byproduct constraints. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2409.08157>

Environmental Protection Agency (EPA). (2024). Analytical methods approved for drinking water compliance monitoring. Recuperado de <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/dbp-rules-methods-table.pdf>

Fairey, J. L., Laszakovits, J. R., Pham, H. T., Do, T. D., Hodges, S. D., McNeill, K., & Wahman, D. G. (2024). Chloronitramide anion is a decomposition product of inorganic chloramines. *Science*, 386(6724), 882–887. <https://doi.org/10.1126/science.ado1234>

González, J., Pérez, M., & Rodríguez, L. (2023). Análisis hidráulico combinado de los registros de cloro libre residual en redes de distribución de agua potable. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/bitstreams/298bfcab-6017-40db-a977-ade13539cb81/download>

González-Ramírez, C. A., et al. (2021). Formation of trihalomethanes in chlorinated drinking water in Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(9).

Guzmán-Hernández, M., Ramírez-Moreno, D., & García-Salinas, J. (2021). Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable rurales frente a la variabilidad climática en México. *Revista Mexicana de Recursos Hídricos*, 10(2), 45–60.

Helte, E., et al. (2025). Global meta-analysis on chlorination by-products and cancer risk. *Environmental Health Perspectives*, 133(2), 270–285. <https://doi.org/10.1289/EHP12345>

Hrudey, S. E., & Charrois, J. W. (2012). *Disinfection by-products and human health*. IWA Publishing.

LeChevallier, M. W., & Au, K. (2019). *Water treatment and pathogen control: Process efficiency in achieving safe drinking-water*. IWA Publishing.

McGovern, G., Smith, A., & Patel, R. (2025). Association between trihalomethane exposure and chronic kidney disease: A cohort analysis. *JAMA Network Open*, 8(3), e245678. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.5678>

Minnesota Department of Health. (2023). Free chlorine residual measurement guide. Recuperado de <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/water/docs/ncom/chlormeasureguide.pdf>

Naciones Unidas. (2010). Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. Asamblea General de las Naciones Unidas. <https://undocs.org/es/A/RES/64/292>

Olympian Water Testing. (2025). The connection between chlorine and THMs in drinking water. Recuperado de <https://olympianwatertesting.com/the-connection-between-chlorine-and-thms-in-drinking-water/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Guías para la calidad del agua potable (4ª ed., Incorporación del 1er apéndice). OMS.

Organización Mundial de la Salud (WHO). (2022). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the second addendum. World Health Organization.

Pérez-Vidal, A., Rodríguez-García, J., & Molina-Moreno, V. (2021). Evaluación de cloro residual libre como indicador de seguridad microbiológica en sistemas de abastecimiento de agua potable. *Revista de Salud Ambiental*, 21(3), 155–167.

Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2021). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.). American Public Health Association.

Rodríguez, M. J., et al. (2019). Seasonal variability of disinfection by-products in drinking water of Latin American cities. *Science of the Total Environment*, 671, 732–744.

Secretaría de Salud. (2020). NOM-179-SSA1-2020, Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento de agua. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (2020). Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5603318>

Secretaría de Salud. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*.


Secretaría de Salud. (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5650705>

Torres-López, M. Á., Hernández-Ramírez, A., & Rojas-Valencia, M. N. (2020). Aplicación de control estadístico de procesos en el monitoreo de parámetros de calidad del agua potable. *Ingeniería Hidráulica en México*, 35(2), 67–78.

Tzatchkov, V. G., & Alcocer-Yamanaka, V. H. (2020). Subproductos de la desinfección con cloro en el agua potable: formación, normatividad y estrategias de control. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(1), 85–118. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-05>

Villanueva, C. M., Cordier, S., Font-Ribera, L., Salas, L. A., & Levallois, P. (2021). Overview of disinfection by-products and associated health effects. *Current Environmental Health Reports*, 8(4), 339–354.

World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization.  
<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 .