



# XXIII

## **Calidad del Agua y Riesgos por Arsénico y Boro en Fuentes de Abastecimiento Humano**

**Rony Alexander  
Bernal Villanueva**

**Leila Marilyn  
Vizcarra Silva**

## Calidad del Agua y Riesgos por Arsénico y Boro en Fuentes de Abastecimiento Humano

---

**Rony Alexander Bernal Villanueva**

[rabetnal6@hotmail.com](mailto:rabetnal6@hotmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0003-2947-0412>

Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua –Perú

**Leila Marilyn Vizcarra Silva**

[leila.vizcarra@gmail.com](mailto:leila.vizcarra@gmail.com)

 <https://orcid.org/0009-0005-6332-4795>

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna – Perú

### RESUMEN

La calidad del agua destinada al consumo humano constituye uno de los principales componentes de la seguridad hídrica y de la salud pública en regiones áridas y semiáridas. En el sur del Perú, diversas fuentes de abastecimiento presentan concentraciones elevadas de elementos químicos como arsénico y boro, situación que representa riesgos ambientales y sanitarios para las poblaciones expuestas. El presente capítulo analiza la problemática de la contaminación hídrica asociada a la presencia de arsénico y boro en las fuentes de abastecimiento utilizadas en la provincia de Ilo, considerando aspectos hidrogeoquímicos, ambientales, normativos y sanitarios. La investigación se fundamenta en la evaluación comparativa de calidad de agua desarrollada en el marco del estudio hidrológico del río Osmore, complementada con revisión científica especializada sobre contaminación de recursos hídricos en regiones áridas. El estudio incorpora análisis fisicoquímicos, revisión de estándares ambientales, interpretación de riesgos toxicológicos y evaluación de alternativas de abastecimiento hídrico sostenible. Los resultados evidencian que algunas

fuentes tradicionales de abastecimiento presentan concentraciones de arsénico y boro superiores a los límites máximos permisibles establecidos por la normativa peruana y por organismos internacionales de salud. Asimismo, se identificó que el río Osmore presenta mejores condiciones relativas de calidad de agua para consumo humano respecto a otras fuentes regionales. Se concluye que la gestión sostenible del recurso hídrico requiere integrar monitoreo permanente de calidad del agua, fortalecimiento institucional y estrategias de prevención orientadas a proteger la salud pública y garantizar sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Calidad del agua; arsénico; boro; contaminación hídrica; salud pública; seguridad hídrica.

### ABSTRACT

Water quality intended for human consumption constitutes one of the main components of water security and public health in arid and semi-arid regions. In southern Peru, several water supply sources present high concentrations of chemical elements such as arsenic and boron, representing environmental and health risks for exposed populations. This chapter analyzes the problem of water contamination associated with the presence of arsenic and boron in water supply sources used in the province of Ilo, considering hydrogeochemical, environmental, regulatory, and health aspects. The research is based on the comparative assessment of water quality conducted within the framework of the Osmore River hydrological study, complemented with specialized scientific review on water resource contamination in arid regions. The study incorporates physicochemical analyses, review of environmental standards, interpretation of toxicological risks, and evaluation of sustainable water supply alternatives. The results show that some traditional supply sources present arsenic and boron concentrations exceeding the maximum permissible limits established by Peruvian regulations and international health organizations. Likewise, it was identified that the Osmore River presents relatively better water quality conditions for human consumption compared to other regional sources. It is concluded that sustainable water resource management requires integrating permanent water quality monitoring,

institutional strengthening, and prevention strategies aimed at protecting public health and guaranteeing environmental sustainability.

**Keywords: Water quality; arsenic; boron; water pollution; public health; water security.**

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua constituye uno de los principales factores determinantes para garantizar la salud pública, sostenibilidad ambiental y desarrollo socioeconómico de las poblaciones humanas. A nivel mundial, millones de personas carecen de acceso a fuentes seguras de agua potable debido a problemas de contaminación química, microbiológica y ambiental que afectan ríos, lagos, acuíferos y sistemas de abastecimiento.

La problemática de la contaminación hídrica se ha intensificado durante las últimas décadas como consecuencia del crecimiento urbano, expansión industrial, actividades mineras, intensificación agrícola y degradación de ecosistemas naturales. Estas presiones han generado importantes impactos sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, particularmente en regiones áridas y semiáridas donde la limitada disponibilidad de agua incrementa la vulnerabilidad ambiental y sanitaria.

En el contexto internacional, organismos como la Organización Mundial de la Salud han identificado la contaminación química del agua como uno de los principales riesgos ambientales para la salud humana. La exposición prolongada a determinados elementos tóxicos presentes en el agua puede ocasionar enfermedades crónicas, alteraciones fisiológicas y afectaciones irreversibles sobre diversos sistemas del organismo.

Entre los contaminantes químicos de mayor preocupación global destacan los metales pesados y metaloides presentes de manera natural o antrópica en sistemas acuáticos. El arsénico constituye uno de los elementos más peligrosos debido a su elevada toxicidad, persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación.

El arsénico es un elemento químico ampliamente distribuido en la corteza terrestre cuya presencia en aguas superficiales y subterráneas puede originarse por procesos

geológicos naturales, actividad volcánica, explotación minera, fundición de minerales y determinadas actividades industriales.

La contaminación por arsénico en agua potable representa un problema ambiental y sanitario de gran magnitud en diversas regiones del mundo. Países como Bangladesh, India, China, México, Argentina, Chile y Perú han reportado concentraciones elevadas de arsénico en fuentes de abastecimiento utilizadas por millones de personas.

La exposición crónica al arsénico puede generar múltiples efectos adversos sobre la salud humana. Estudios epidemiológicos han demostrado asociación entre consumo prolongado de agua contaminada con arsénico y aparición de enfermedades dermatológicas, lesiones cutáneas, cáncer de piel, vejiga y pulmón, enfermedades cardiovasculares, alteraciones neurológicas y afectaciones del sistema inmunológico.

Asimismo, el arsénico puede afectar significativamente el desarrollo infantil y generar impactos negativos sobre funciones cognitivas y metabólicas. Debido a estos riesgos, organismos internacionales han establecido límites máximos permisibles muy estrictos para su presencia en agua destinada al consumo humano.

La Organización Mundial de la Salud recomienda un límite máximo de 0.01 mg/L de arsénico en agua potable. Sin embargo, numerosas regiones del mundo aún presentan dificultades para cumplir estos estándares debido a limitaciones técnicas, económicas e institucionales.

Por otro lado, el boro constituye otro elemento químico de relevancia ambiental en regiones áridas y volcánicas. Aunque el boro es un micronutriente esencial para plantas y organismos vivos en bajas concentraciones, niveles elevados pueden generar efectos tóxicos tanto en ecosistemas como en seres humanos.

La presencia de boro en sistemas hídricos suele asociarse a procesos geológicos naturales, actividad hidrotermal, lixiviación de minerales y determinadas actividades industriales. En regiones desérticas y volcánicas, las concentraciones de boro en aguas

superficiales y subterráneas pueden incrementarse significativamente debido a condiciones hidrogeoquímicas particulares.

La exposición a altas concentraciones de boro puede ocasionar alteraciones gastrointestinales, afecciones renales y problemas reproductivos. Asimismo, el exceso de boro afecta considerablemente la productividad agrícola debido a su toxicidad para numerosos cultivos.

En América Latina, la contaminación por arsénico y boro representa un problema especialmente importante en regiones andinas y zonas influenciadas por actividad volcánica y minera. En el sur peruano, diversos estudios han identificado concentraciones elevadas de estos elementos en fuentes de abastecimiento destinadas al consumo humano y agrícola.

La región Moquegua presenta condiciones geológicas y climáticas que favorecen la presencia natural de arsénico y boro en determinadas fuentes hídricas. La actividad volcánica histórica, composición mineralógica de los suelos y procesos hidrotermales contribuyen a la movilización natural de estos elementos hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

En la provincia de Ilo, las principales fuentes tradicionales de abastecimiento han mostrado históricamente limitaciones relacionadas con calidad de agua debido a la presencia de arsénico, boro y otros elementos químicos.

La fuente de abastecimiento proveniente de Locumba-Ite ha sido objeto de preocupación ambiental y sanitaria debido a concentraciones elevadas de arsénico y boro que superan los límites máximos permisibles establecidos por la normativa peruana.

Esta situación ha generado la necesidad de identificar alternativas sostenibles de abastecimiento capaces de garantizar mejores condiciones de calidad para la población.

En este contexto, el río Osmore adquiere relevancia estratégica como posible fuente alternativa debido a sus condiciones comparativamente favorables de calidad hídrica.

La investigación desarrollada sobre el comportamiento hidrológico del río Osmore incluyó además evaluación fisicoquímica y microbiológica de la calidad del agua con la finalidad de comparar sus características respecto a otras fuentes regionales.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el agua del río Osmore presenta mejores condiciones relativas para consumo humano respecto a fuentes afectadas por mayores concentraciones de arsénico y boro.

El análisis de calidad del agua constituye una herramienta fundamental dentro de la gestión integrada de recursos hídricos debido a que permite identificar riesgos ambientales, proteger la salud pública y orientar estrategias de tratamiento y aprovechamiento sostenible.

La calidad del agua depende de múltiples factores físicos, químicos y biológicos relacionados con características naturales de la cuenca, actividades humanas, procesos climáticos y dinámica hidrológica.

Los parámetros fisicoquímicos permiten evaluar características relacionadas con composición química, mineralización, acidez, conductividad y presencia de contaminantes potenciales.

Entre los indicadores más utilizados destacan:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Turbidez.
- Oxígeno disuelto.
- Sólidos totales disueltos.
- Concentraciones de metales y metaloides.

Por otro lado, los análisis microbiológicos permiten determinar presencia de microorganismos patógenos y evaluar riesgos sanitarios asociados al consumo de agua contaminada.

La gestión moderna de recursos hídricos reconoce que la seguridad hídrica no depende únicamente de disponibilidad cuantitativa del agua, sino también de su calidad y sostenibilidad ambiental.

En regiones áridas, la limitada disponibilidad hídrica obliga frecuentemente a utilizar fuentes con condiciones químicas deficientes, incrementando riesgos ambientales y de salud pública.

Por ello, resulta indispensable fortalecer programas de monitoreo ambiental orientados a evaluar permanentemente la calidad de las fuentes de abastecimiento.

Asimismo, la implementación de tecnologías de tratamiento constituye un componente esencial para reducir concentraciones de contaminantes y garantizar cumplimiento de estándares sanitarios.

Las tecnologías utilizadas para remoción de arsénico y boro incluyen procesos de coagulación, adsorción, intercambio iónico, membranas, ósmosis inversa y tratamientos electroquímicos.

Sin embargo, muchas de estas alternativas presentan elevados costos de implementación y operación, especialmente en regiones con limitaciones económicas y técnicas.

Frente a esta problemática, la identificación de fuentes alternativas con mejores condiciones naturales de calidad puede representar una estrategia más sostenible y eficiente.

La gestión ambiental de cuencas hidrográficas también desempeña un rol importante en la protección de calidad del agua. La degradación ambiental, contaminación minera, disposición inadecuada de residuos y expansión urbana desordenada pueden deteriorar progresivamente las condiciones químicas y biológicas de los sistemas hídricos.

En consecuencia, la sostenibilidad futura del abastecimiento hídrico depende de la capacidad institucional para implementar mecanismos de protección ambiental, regulación territorial y monitoreo continuo.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la problemática de calidad del agua y riesgos asociados a la presencia de arsénico y boro en las fuentes de abastecimiento utilizadas en la provincia de Ilo.

Asimismo, se busca evaluar la importancia de la gestión integrada de calidad del agua para fortalecer la seguridad hídrica y sostenibilidad ambiental en regiones áridas del sur peruano.

## METODOLOGÍA

El presente capítulo se desarrolló bajo un enfoque analítico-descriptivo orientado a evaluar la calidad del agua y los riesgos asociados a la presencia de arsénico y boro en fuentes de abastecimiento de la provincia de Ilo.

La investigación se fundamentó en información obtenida durante el estudio hidrológico del río Osmore, complementada con revisión bibliográfica especializada sobre contaminación hídrica y toxicología ambiental.

### **Diseño metodológico**

El diseño de investigación correspondió a un estudio descriptivo-comparativo orientado a evaluar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de diferentes fuentes de agua utilizadas para abastecimiento humano.

La metodología incorporó análisis documental, interpretación normativa y evaluación comparativa de calidad hídrica.

### **Área de estudio**

La investigación se desarrolló en la provincia de Ilo, región Moquegua, considerando fuentes de abastecimiento tradicionales y el río Osmore como alternativa hídrica potencial.

La región presenta características climáticas áridas y fuerte influencia geológica volcánica.

### **Recolección de muestras**

Las muestras de agua fueron recolectadas en diferentes puntos de monitoreo seleccionados estratégicamente dentro de la zona de estudio.

El procedimiento contempló:

- Identificación de puntos representativos.
- Recolección de muestras superficiales.
- Conservación y transporte adecuado.
- Registro de condiciones ambientales.

### **Parámetros evaluados**

Los análisis incluyeron evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes para calidad de agua potable.

Entre los principales parámetros considerados destacan:

- Arsénico.
- Boro.
- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Turbidez.
- Oxígeno disuelto.
- Sólidos disueltos.

- Indicadores microbiológicos.

#### **Análisis normativo**

Los resultados obtenidos fueron comparados con:

- Estándares de Calidad Ambiental para Agua del Perú.
- Límites Máximos Permisibles.
- Guías de calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud.

#### **Revisión bibliográfica**

Se realizó revisión de artículos científicos indexados, informes técnicos y publicaciones institucionales relacionadas con:

- Contaminación por arsénico.
- Toxicidad del boro.
- Gestión de calidad del agua.
- Riesgos ambientales.
- Salud pública.

#### **Procesamiento e interpretación**

La información obtenida fue organizada mediante análisis comparativo y descriptivo orientado a identificar riesgos potenciales para consumo humano y sostenibilidad ambiental.

## **RESULTADOS**

#### **Presencia de arsénico en fuentes de abastecimiento**

Los análisis realizados evidenciaron concentraciones elevadas de arsénico en algunas fuentes tradicionales de abastecimiento utilizadas en la provincia de Ilo.

Los valores registrados superaron en determinados casos los límites máximos permisibles establecidos por la normativa sanitaria peruana y por la Organización Mundial de la Salud.

La presencia de arsénico mostró relación con características geológicas regionales y procesos naturales de mineralización.

### **Concentraciones de boro**

Asimismo, se identificaron niveles elevados de boro en determinadas fuentes hídricas utilizadas históricamente para abastecimiento humano.

Las concentraciones observadas representan potenciales riesgos para salud pública y limitaciones para uso agrícola.

### **Calidad comparativa del río Osmore**

El análisis comparativo evidenció que el río Osmore presenta mejores condiciones relativas de calidad de agua respecto a otras fuentes regionales afectadas por arsénico y boro.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados mostraron condiciones más favorables para aprovechamiento humano, aunque se identificó la necesidad de mantener monitoreo continuo.

### **Parámetros fisicoquímicos**

Los resultados fisicoquímicos permitieron identificar variaciones espaciales y temporales en calidad del agua.

La conductividad eléctrica mostró relación con procesos de mineralización natural característicos de regiones áridas.

El pH registrado se mantuvo dentro de rangos relativamente aceptables para consumo humano.

La turbidez presentó incrementos durante periodos de avenida debido al arrastre de sedimentos y partículas suspendidas.

### **Evaluación microbiológica**

Los análisis microbiológicos evidenciaron condiciones variables dependiendo del punto de monitoreo y de las condiciones hidrológicas registradas.

En determinados sectores se identificó necesidad de implementar tratamientos de desinfección para garantizar inocuidad sanitaria.

### **Riesgos ambientales y sanitarios**

La evaluación integral permitió identificar riesgos potenciales asociados al consumo prolongado de agua contaminada con arsénico y boro.

Asimismo, se evidenció la importancia de fortalecer mecanismos preventivos orientados a proteger salud pública y sostenibilidad ambiental.

## **DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos confirman que la contaminación química del agua constituye uno de los principales desafíos ambientales y sanitarios para las regiones áridas del sur peruano.

La presencia de arsénico y boro en fuentes tradicionales de abastecimiento evidencia la fuerte influencia de factores geológicos e hidrogeoquímicos sobre la calidad del recurso hídrico.

Diversas investigaciones internacionales han demostrado que regiones volcánicas y zonas influenciadas por actividad minera presentan mayores probabilidades de contaminación natural por arsénico.

En el caso de la región Moquegua, la composición geológica y la dinámica hidrotermal regional favorecen la movilización natural de elementos químicos hacia acuíferos y cuerpos de agua superficiales.

La problemática observada coincide con estudios desarrollados en otras regiones andinas de Perú, Chile y Argentina donde la presencia natural de arsénico representa un importante problema de salud pública.

La exposición crónica a concentraciones elevadas de arsénico puede generar efectos acumulativos severos sobre la salud humana.

En consecuencia, el fortalecimiento del monitoreo permanente de calidad del agua constituye una prioridad para las autoridades sanitarias y ambientales.

El análisis comparativo realizado demuestra que el río Osmore presenta condiciones relativamente más favorables respecto a otras fuentes utilizadas en la provincia de Ilo.

Este resultado refuerza la importancia estratégica del río como posible alternativa de abastecimiento sostenible.

Sin embargo, cualquier propuesta de aprovechamiento debe considerar simultáneamente aspectos de sostenibilidad ecológica y protección ambiental de la cuenca.

Otro aspecto relevante corresponde a la necesidad de implementar tecnologías adecuadas de tratamiento de agua.

La remoción de arsénico y boro representa un desafío técnico considerable debido a la complejidad química de estos elementos y a los elevados costos asociados a determinadas tecnologías avanzadas.

En regiones con limitaciones económicas, la sostenibilidad financiera de las plantas de tratamiento constituye un componente crítico.

Por ello, la gestión integrada de calidad del agua debe combinar estrategias de tratamiento con protección preventiva de las fuentes hídricas.

La experiencia internacional demuestra que la prevención de contaminación resulta generalmente más eficiente y económica que los procesos posteriores de remediación.

Asimismo, los resultados evidencian la necesidad de fortalecer capacidades institucionales relacionadas con vigilancia ambiental y gestión sanitaria.

La seguridad hídrica requiere sistemas permanentes de monitoreo capaces de detectar oportunamente alteraciones en calidad del agua y prevenir riesgos para la población.

Desde una perspectiva ambiental, la protección de ecosistemas de cuenca constituye un componente esencial para preservar sostenibilidad futura de los recursos hídricos.

La degradación ambiental, expansión urbana desordenada y actividades extractivas pueden incrementar progresivamente la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento.

En consecuencia, la planificación territorial y la gestión integrada de cuencas deben incorporar criterios estrictos de protección de calidad hídrica.

Otro aspecto importante corresponde a la relación entre cambio climático y calidad del agua.

Las modificaciones climáticas pueden alterar significativamente procesos hidrológicos y geoquímicos, incrementando concentraciones de contaminantes en determinados escenarios de escasez hídrica.

Las reducciones de caudal durante periodos secos pueden favorecer procesos de concentración química y deterioro de calidad.

Por ello, las estrategias futuras de adaptación climática deberán incorporar mecanismos orientados a garantizar sostenibilidad de la calidad del agua.

En síntesis, el caso de la provincia de Ilo evidencia la necesidad de fortalecer enfoques integrados de gestión hídrica que consideren simultáneamente disponibilidad cuantitativa, calidad química y sostenibilidad ambiental.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua constituye un componente fundamental para garantizar seguridad hídrica y salud pública en regiones áridas del sur peruano.

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de concentraciones elevadas de arsénico y boro en algunas fuentes tradicionales de abastecimiento utilizadas en la provincia de Ilo.

La contaminación identificada representa riesgos potenciales para salud humana y limita las posibilidades de aprovechamiento sostenible de determinados recursos hídricos.

El análisis comparativo demuestra que el río Osmore presenta mejores condiciones relativas de calidad de agua respecto a otras fuentes regionales afectadas por contaminación química.

La evaluación fisicoquímica y microbiológica realizada evidencia la importancia de fortalecer programas permanentes de monitoreo ambiental y sanitario.

Asimismo, el estudio demuestra que la gestión sostenible del recurso hídrico requiere integrar estrategias de prevención, tratamiento y protección ambiental de cuencas hidrográficas.

La implementación de tecnologías adecuadas de tratamiento constituye un componente importante para reducir riesgos asociados al consumo de agua contaminada.

Finalmente, la investigación evidencia la necesidad de consolidar políticas públicas orientadas a garantizar acceso sostenible a agua segura en territorios vulnerables frente a contaminación química y cambio climático.

## REFERENCIAS

Autoridad Nacional del Agua. (2017). Calidad de recursos hídricos en cuencas del sur peruano. ANA.

- Bernal Villanueva, R. A. (2014). Análisis del caudal del río Osmore en tiempo de estiaje y avenida, como alternativa de solución al alto contenido de arsénico y boro de la fuente de abastecimiento de Locumba-Ite, provincia de Ilo 2012-2013. Universidad Nacional de Moquegua.
- Bundschuh, J., Litter, M., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H., Jean, J., Liu, C., López, D., Armienta, M., Guilherme, L., Gomez-Cuevas, A., Cornejo, L., Cumbal, L., & Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of the Total Environment*, 429, 2–35.
- Ministerio del Ambiente. (2017). Estándares de calidad ambiental para agua. MINAM.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua potable. OMS.
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568.
- UNESCO. (2020). Agua, contaminación y salud ambiental en América Latina. UNESCO.
- United States Environmental Protection Agency. (2019). Arsenic in drinking water. EPA.
- World Health Organization. (2021). Chemical hazards in drinking water. WHO.