



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Implementación del tratamiento del agua de pozo para mejorar la calidad por
osmosis inversa ozonizada en la Empresa INMEL Perú S.A.C. del Distrito de
Hualmay en el año 2024**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Autores

Bryayam Smith Ludgardo Sandoval

Franklin Jhulino Cadillo Ibarra

Asesor

Dr. Maximo Tomas Salcedo Meza

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Cadillo Ibarra, Franklin Jhulino	77130954	13/05/2026
Ludgardo Sandoval, Bryayam Smith	71061487	13/05/2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Salcedo Meza, Máximo Tomas	15602588	https://orcid.org/0000-0002-6190-3794
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CODIGO ORCID
Sanchez Guzman, Alberto Irhaam	15758117	https://orcid.org/0000-0003-1575-8466
Galvez Torres, Edwin Guillermo	15592688	https://orcid.org/0000-0002-7421-4453
Ramos Pacheco, Ronald Luis	15615274	https://orcid.org/0000-0003-2036-1068

2025- 099372 Cadillo Ibarra 2025- 099369 Ludgardo...

Implementación del tratamiento del agua de pozo para mejorar la calidad por osmosis inversa ozonizada en la empre...

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIQyM - PREGRADO - 2026

Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::1:3515238020

Fecha de entrega

23 mar 2026, 3:00 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

23 mar 2026, 3:06 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

o_para_mejorar_la_calidad_por_osmosis_inversa_ozonizada_3.docx

Tamaño del archivo

1.5 MB

59 páginas

10.323 palabras

57.783 caracteres



Página 2 de 64 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tm:oid::1:3515238020

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para co...

Filtrado desde el informe

• Bibliografía

Exclusiones

• N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

15% Fuentes de Internet

6% Publicaciones

7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguir de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedicamos a nuestros familiares, quienes estuvieron con nosotros en cada paso, y todas las personas que confiaron en nosotros.

Agradecimiento

A nuestro asesor el Dr. Máximo Tomas Salcedo Meza, por su guía en este largo proceso, su responsabilidad y profesionalismo.

A nuestra casa de estudio, en especial a nuestra facultad por permitirnos usar las instalaciones para poder concretar la investigación.

ÍNDICE

	Pág.
Páginas preliminares	
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice	VII
Resumen	X
Abstract	XI
Introducción	XII
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación de la investigación	21
1.5. Delimitaciones del estudio	22
1.6. Viabilidad del estudio	22
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	

2.1. Antecedentes de la investigación	24
2.1.1. Investigaciones internacionales	24
2.1.2. Investigaciones nacionales	25
2.2. Bases teóricas	28
2.3. Definición de términos básicos	32
2.4. Hipótesis de investigación	38
2.4.1. Hipótesis general	38
2.4.2. Hipótesis específicas	38
2.5. Operacionalización de las variables	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico	40
3.2. Población y muestra	41
3.2.1. Población	41
3.2.2. Muestra	41
3.3. Técnicas de recolección de datos	41
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	42

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados	45
4.2. Contrastación de hipótesis	45

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión y resultados	48
-----------------------------	----

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	51
-------------------	----

6.2. Recomendaciones	53
----------------------	----

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS	54
--------------------	----

ANEXOS	54
---------------	----

Evidencias del trabajo estadístico desarrollado (sábanas, matrices, hojas de cálculo, etc.) así como documentos, mapas, fotografías y cuadros pertinentes.	56
--	----

RESUMEN

En nuestro estudio titulado *“Implementación del tratamiento del agua de pozo para mejorar la calidad por osmosis inversa ozonizada para la empresa INMEL Perú S.A.C Del distrito de Hualmay en el año 2024”*. Tras analizar la realidad problemática y comprender los factores que motivaron la realización de esta investigación, se estableció el objetivo general: evaluar la calidad fisicoquímica del agua en el punto de uso mediante un sistema de ósmosis inversa, con el fin de asegurar el control microbiológico y determinar su aptitud para el consumo humano y para la elaboración de diversos productos. Para la muestra tomamos como referencia el agua potable del distrito de Hualmay, Empresa Envasadora Blue, Supe Leticia, Huaral, Chancay, Huacho, Barranca, Huaura, y el tanque de recepción de Agua Potable en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. Con respecto a la metodología, es de tipo aplica e innovación tecnológica, de nivel descriptivo y diseño transversal no experimental. Para las técnicas de recolección de datos hemos optado por la observación y un análisis de documentos con relación al tema. Finalmente, en nuestra tesis hallaron las conclusiones: La calidad del agua tratada mediante ósmosis inversa y posterior ozonización presenta una mejora significativa, debido a que este proceso logró disminuir las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Esto evidencia que la tecnología de ósmosis inversa ozonizada es adecuada para el consumo humano y para múltiples aplicaciones.

Palabras clave: *Calidad del agua, osmosis inversa, Ozonización, parámetros, potable, dureza de agua.*

ABSTRACT

In our study titled “Implementation of Well Water Treatment to Improve Quality through Ozonated Reverse Osmosis for the Company INMEL Perú S.A.C., in the District of Hualmay in the Year 2024”, after analyzing the problematic situation and understanding the factors that motivated this research, the general objective was established: to evaluate the physicochemical quality of the water at the point of use through a reverse osmosis system, in order to ensure microbiological control and determine its suitability for human consumption and for the production of various products. For the sample, we used as reference the potable water from the district of Hualmay, the Blue Bottling Company, Supe Leticia, Huaral, Chancay, Huacho, Barranca, Huaura, and the potable water reception tank at the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering. Regarding the methodology, it is applied research with technological innovation, descriptive in level, and based on a non-experimental cross-sectional design. For data collection techniques, we selected observation and document analysis related to the topic. Finally, in our thesis you will find the following conclusions: The quality of the water treated through reverse osmosis followed by ozonation shows a significant improvement, as this process succeeded in reducing the concentrations of physicochemical and microbiological parameters. This demonstrates that ozonated reverse osmosis technology is suitable for human consumption and for multiple applications.

Keywords: *Water quality, reverse osmosis, ozonation, parameters, potable, water hardness.*

INTRODUCCIÓN

Por medio de este trabajo proponemos conceptualizar el tema, “Implementación del tratamiento del agua de pozo para mejorar la calidad por osmosis inversas ozonizada para la empresa INMEL Perú S.A.C Del distrito de Hualmay en el año 2024”

Como contexto, son en total 12 distritos que forman parte de la provincia de Huara que es precisamente donde se ubica la empresa INMEL: Caleta de Carquín, Sayán, Ámbar, Paccho, Santa María, Checras, Huacho, Santa Leonor, Végueta, Hualmay, Huaura y Leoncio Prado. Huacho es la capital de la provincia.

Cabe destacar que nuestra tesis será con el propósito de instalar y evaluar la efectividad a nivel domiciliar y su almacenamiento seguro (TANDAS) es una opción excelente para mejorar el acceso al agua desionizado y ozonizada para consumo diversos, en hogares, escuelas, universidad, empresas, laboratorios y clínicas de su comunidad en el punto de uso. Sugeriremos se revise y comprenda los conceptos básicos sobre este tema en el desarrollo de esta tesis. Analizar los principales beneficios y restricciones de las diversas alternativas de tratamiento, así como identificar los aspectos y criterios esenciales para garantizar la implementación eficaz de un programa de TANDAS. El recurso hídrico constituye un elemento esencial para el bienestar humano, con un nivel de importancia comparable al del aire y los alimentos, ya que la vida sería inviable en su ausencia. En este escenario, el empleo de ozono dentro de los sistemas de depuración de aguas residuales constituye una opción tecnológica que promueve mejoras significativas en la preservación del ambiente y en la protección de la salud de la población. Este procedimiento favorece la remoción de compuestos químicos y agentes microbiológicos, lo que eleva de manera notable la calidad del recurso hídrico, en consecuencia, se reduce el riesgo de aparición de patologías asociadas al consumo de agua contaminada. Entre los contenidos desarrollados en

nuestra investigación hallaran: el enfoque de barreras múltiples para la obtención de agua apta para el consumo, una introducción a los sistemas de tratamiento doméstico, procedimientos de filtración, métodos de desinfección, así como pautas para un almacenamiento y manejo seguros, considerados como alternativas para fortalecer el alcance a agua potable. El método TANDAS, según el Ministerio de salud de Lima, les brindará a las personas la posibilidad de tratar el agua directamente en el lugar donde es utilizada, por ejemplo, las empresas, escuelas, la casa, la Universidad o los hospitales. Bajo esta noción y ya explicado se entiende por qué también se le conoce como “tratamiento en el punto de uso”. La investigación busca comprobar si se garantiza la calidad del agua tratada por osmosis inversa ozonizada, y también la conservación contenida adecuada, a continuación, veremos que puede ocasionar y cómo prevenirlo:

1. Enfermedades Diarreicas: El acceso insuficiente al agua potable y las deficiencias en infraestructura sanitaria y en prácticas de higiene constituyen factores determinantes en la aparición de enfermedades gastrointestinales, que ocasionan alrededor de 1,8M de fallecimientos al año, en un contexto global.
2. Sistemas centralizados vs. procesos de purificación del agua en el hogar y su conservación en condiciones seguras (TDAS):
 - Establecer redes centralizadas de abastecimiento de agua potable a gran escala es complicado en países en desarrollo debido a los esfuerzos de operación y mantenimiento, así como al riesgo de re contaminación durante la distribución.

Por lo tanto, el TDAS se centra en alternativas sencillas y de alta eficacia capaces de disminuir de manera notable las afecciones asociadas al consumo de agua contaminada.

3. Opciones de procesamiento doméstico del agua y resguardo seguro:

- Proceso de hervido: Hervir el agua es una opción común. Sin embargo, requiere tiempo y energía.
- Filtrar: Filtrar el agua elimina partículas y microorganismos. Hay filtros de diferentes tipos y tamaños.
- Clorar: Agregar pequeñas cantidades de cloro al agua puede desinfectarla.
- Desinfección Solar del Agua (SODIS): Exponer el agua a la luz solar durante 6 horas puede matar microorganismos.

4. Desinfección con ozono del agua procesada por ósmosis inversa:

El agua ozonizada constituye una técnica para hacer el agua potable, implica la incorporación de ozono en el agua hasta su completa disolución. Actuando como desinfectante, el ozono inactiva virus, parásitos y bacterias, a la vez que optimiza procesos de tratamiento como la ósmosis inversa, la microfloculación y la eliminación de sólidos suspendidos. (Valdivielso Alberto, 2024)

5. Ventajas del TDAS:

- Económico y Eficiente: este enfoque doméstico de tratamiento y almacenamiento seguro del agua ofrece una opción accesible y autónoma, sin necesidad de apoyo de sistemas centralizados o entidades externas.
- Contribuye a mejorar la calidad del agua: Al minimizar la contaminación entre los procesos de tratamiento y su utilización.

- Amplia Gama de Tecnologías Disponibles: Las personas pueden elegir las tecnologías más apropiadas para sus necesidades.

6. Desafíos del TDAS:

- Monitoreo y Mantenimiento: Requiere responsabilidad por parte de los pobladores.
- Capacitación: Cada institución, empresas, colegios, universidades, hogares deben ser capacitado para operar y mantener las tecnologías.
- Calidad del Agua Tratada: Puede ser superior al agua potable que recibimos en nuestros domicilios debido a que la dureza del agua en esta zona del Distrito de Hualmay bordea una dureza mayor a 500 ppm, que la comunidad desconoce.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Municipalidad de Huaura ha actualizado y formula sus instrumentos de gestión de acuerdo a la modernización del Estado y transformación Digital, tal como recomienda la Secretaria de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM).

La Municipalidad propone el Plan de Desarrollo Local Concertado (PDLCL) del distrito de Hualmay para el periodo 2023-2030, el cual aportará al cumplimiento de metas con una visión orientada al futuro y alineada con los distintos escenarios territoriales de la Agenda 2030, conforme a los lineamientos establecidos por el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN).

El objetivo es generar con una estrategia de desarrollo territorial local sostenible y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos, como señala el Alcalde Romero Jacinto (2022) en su instrumento de gestión con visión de futuro, por lo que teniendo en cuenta estas proyecciones, planteamos en este trabajo de investigación de tesis el desarrollo de la “Implementación del tratamiento del agua de pozo para mejorar la calidad por osmosis inversas ozonizada para la empresa INMEL Perú S.A.C Del distrito de Hualmay en el año 2024”

La limitada disponibilidad de agua apta para el consumo humano, junto con condiciones deficientes de saneamiento e higiene, constituye uno de los factores principales en la aparición de enfermedades diarreicas, las cuales ocasionan alrededor de 1,8 millones de fallecimientos al año en todo el mundo. En este contexto, garantizar el acceso a agua potable mediante sistemas centralizados representa un desafío considerable para los países en desarrollo, debido a limitaciones económicas, infraestructura insuficiente y dificultades en la gestión eficiente de los recursos hídricos. Esta situación evidencia la necesidad de implementar alternativas tecnológicas

y estrategias de tratamiento descentralizado que permitan mejorar la calidad del agua y reducir el riesgo sanitario en comunidades vulnerables.

Estos sistemas de gran envergadura requieren considerables esfuerzos de operación y mantenimiento, y existe de manera constante la posibilidad de que el agua potable se vuelva a contaminar durante los procesos de distribución o en las etapas de manipulación en el lugar donde finalmente se consume (ya sea en empresas con usos específicos, hogares, universidades, centros educativos, instituciones, entre otros). Por ello, el tratamiento del agua directamente en el punto de uso, mediante alternativas sencillas y de alta eficacia, puede disminuir de forma notable la aparición de enfermedades vinculadas al consumo de agua contaminada.

Los denominados “Tratamientos Domésticos de Agua y Almacenamiento Seguro” (TDAS) incluyen métodos como hervir el agua, filtrarla, clorarla, aplicar desinfección solar (SODIS), utilizar el coagulante ALUFLOC y, en la actualidad, aprovechar el avance tecnológico mediante pequeños módulos de tratamiento, como los sistemas de ósmosis inversa seguidos de un proceso de ozonización. Estos permiten obtener agua libre de metales pesados, parásitos y virus, comparable a la calidad del agua envasada disponible en el mercado. (ENPHO).

La Ley Universitaria N.º 30220, en su Artículo 52, dispone que la Incubadora de Empresas constituye un componente de la formación integral universitaria. En tal virtud, tiene la responsabilidad de fomentar la iniciativa emprendedora de los estudiantes mediante la promoción y creación de pequeñas y microempresas de su titularidad, otorgándoles las facilidades necesarias para el acceso y uso de los equipos, laboratorios e instalaciones institucionales, así como contribuir por nuestra parte con recursos económicos, técnicos, criterios de reciclaje, práctica de la economía circular, de innovación en competencias que los autores poseemos para este propósito con asistencia del personal Técnico del Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica

de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, las facilidades para el mantenimiento, instalar los equipos que adquiriremos, tal como implementaron otros egresados que nos antecedieron.

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel global, el aumento de la población ha provocado que más personas se concentren en las ciudades, y muchas áreas urbanas crecen de manera desorganizada, generando dificultades en el suministro de agua potable. En Perú, entre 7 y 8 millones de personas todavía carecen de acceso a agua segura. Lima es la ciudad más afectada: se trata de la segunda capital del mundo situada en un desierto, con apenas 9 milímetros de lluvia al año, dependiendo principalmente del río Rímac para abastecer de agua a su población. Agua y Alcantarillado en el 2023 en la Municipalidad de Huaura, se tiene déficit de agua potable para atender a la población con inversión pública y privada. Actualmente los pozos tubulares que producen un poco más de 300 l/seg no abastecen en forma adecuada a la población y los distritos aledaños de Hualmay, Santa María, Huaura y Végueta, Asentamientos humanos, Comunidades Campesinas y Centros poblados rurales que carecen de agua potable y alcantarillado. El proyecto de Agua de 30 millones de soles hasta la fecha no se hace realidad, modalidad Plan de Desarrollo Local Concertado

La salud y el agua están estrechamente vinculadas. Cada año, alrededor de 842,000 personas en el mundo fallecen debido a que consumen agua de mala calidad, carecen de un saneamiento adecuado o mantienen prácticas deficientes en cuanto a la higiene. Algunas de las enfermedades más resaltantes que se transmiten a través del agua incluyen la diarrea, la fiebre tifoidea, hepatitis, el cólera y gastroenteritis. El agua contaminada químicamente puede causar enfermedades de la piel y, si contiene metales pesados como mercurio, plomo o cromo en exceso, puede provocar graves enfermedades crónicas.

La provincia comparte la cuenca del río Huaura con Oyón y tiene al distrito de Ámbar como cabecera de la cuenca del río Supe. Así, su demarcación política supera los límites de la cuenca de Huaura (distrito de Supe) y presenta la debilidad de no controlar las principales fuentes de agua de reserva, que suman 70 millones de m³ en 12 reservorios y lagunas para uso agrícola. Del mismo modo, la gestión del agua se realiza sin integrar el manejo de los suelos, lo que constituye una limitación importante para la gestión ambiental.

Por lo cual, se ha tomado a la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay, la implementación de un sistema de tratamiento de agua por Ósmosis inversa ozonizado, para diversos usos, evidenciando la compra de agua envasada que está ocasionando un impacto directo en el consumo diario por el personal como otros usos circundantes de la empresa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general:

¿Cómo Implementar el tratamiento de agua de pozo por Ósmosis inversa (VI) en el punto de uso para mejorar su calidad Ozonizada (VD) para la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay, su aplicación en zonas rurales y urbanas?

1.2.2. Problemas específicos:

¿De qué manera se dimensionará el tratamiento de agua de pozo en el punto de uso, que asegure su calidad a desarrollarse en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica para su aplicación en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay y zonas rurales y urbanas?

¿Evaluación fisicoquímica del suministro de agua y del producto final que asegure su calidad para su empleo en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay y zonas rurales y urbanas?

¿Modo de establecer el rendimiento del proceso de obtención del producto final por el sistema de Ósmosis inversa ozonizada?

1.3. Formulación de los objetivos

1.3.1. Objetivo general:

Determinar la Implementación del tratamiento de agua de pozo por Ósmosis inversa (VI) en el punto de uso para mejorar su calidad Ozonizada (VD) para la empresa INMEL PERÚ SAC en el Distrito de Hualmay, su aplicación en zonas rurales y urbanas.

1.3.2. Objetivos específicos:

Determinar el dimensionamiento del tratamiento del agua en el punto de uso que asegure su calidad a desarrollarse en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica para su aplicación en la empresa INMEL PERÚ SAC en el Distrito de Hualmay, zonas rurales y urbanas

Evaluación fisicoquímica del suministro a la cisterna y del producto final que asegure su calidad para su consumo en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay, zonas rurales y urbanas

Establecer el rendimiento del proceso de obtención del producto final por el sistema de Ósmosis inversa ozonizada.

1.4. Justificación de la investigación

Es importante destacar que la construcción de pozos tubulares en la zona costera del Perú constituye un método fundamental para la captación de aguas subterráneas. Esta práctica permite abastecer a poblaciones que carecen de fuentes hidrológicas cercanas, contribuyendo así a mejorar su acceso al recurso hídrico. El problema principal es el alto contenido de sales disueltas, los halometanos posibles, bacterias, virus, parásitos, los insecticidas y fungicidas disueltos por la fumigación de los cultivos, por lo que es necesario el control fisicoquímico, la desinfección por el sistema de ozonización y el rendimiento del proceso de obtención del agua que asegure su calidad fisicoquímica y bacteriológica en empresa INMEL PERÚ SAC, Zonas Rurales y Urbanas para el consumo en el punto de uso, la preparación de alimentos, usos diversos, desarrollaremos esta metodología en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica.

Gracias a sus sobresalientes propiedades desinfectantes, la aplicación de ozono para el tratamiento de agua potable se ha convertido en uno de los usos más destacados de esta tecnología. De esta manera, se evita la necesidad de emplear biocidas químicos y otros productos agresivos que tradicionalmente se utilizaban para este fin. (Cosemar 2020). La implementación de un sistema complementario de tratamiento mediante ósmosis inversa y desinfección por ozono en el punto de uso garantiza la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua potable. En comparación con los métodos convencionales, este sistema evidencia diferencias tanto técnicas como económicas, y la metodología utilizada en esta investigación permitirá fundamentar decisiones relacionadas con el suministro de agua en los hogares. Considerando que vivimos en una etapa marcada por avances tecnológicos e innovaciones disponibles en el mercado, los conocimientos obtenidos pueden aplicarse a una

realidad concreta, aportando beneficios significativos para la salud humana. Asimismo, este tipo de tratamiento resulta adecuado para su uso en laboratorios de investigación, en la elaboración de vinos y cerveza artesanal, y en la producción de alimentos preparados en comedores y establecimientos similares.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1. Delimitación espacial

La empresa INMEL Perú S.A.C. se encuentra ubicado en Av. Domingo Mandamiento Sipán 602, Huacho 15137 en el distrito de Hualmay de la provincia de Huaura del De la región Lima. Es en dicha empresa donde conseguiremos las muestras ya ozonizadas para su comparación. Por otro lado, los distritos ya delimitados para su muestra están debidamente mencionados en el capítulo 3.

1.5.2. Delimitación económica

Fue financiada íntegramente con recursos propios, sin recibir apoyo económico de fuentes externas ni de instituciones públicas o privadas.

1.5.3. Delimitación temporal

La presente investigación se llevará a cabo en el periodo comprendido, desde octubre del año 2024 y enero 2025.

1.6. Viabilidad del estudio

El presente estudio es técnicamente viable, ya que se dispone de información suficiente y pertinente sobre los tres componentes esenciales de la calidad del agua: biológico, químico y físico. Se cuenta además con datos sobre los principales agentes patógenos, bacterias, virus, protozoarios y helmintos, los cuales son responsables de la mayoría de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada. Considerando que estos microorganismos

representan la mayor amenaza para la salud pública, el tratamiento del agua debe priorizar su eliminación. Asimismo, se cuenta con los equipos, instrumentos, filtros, insumos, procedimientos de mantenimiento y las adaptaciones necesarias para ejecutar adecuadamente el trabajo durante el desarrollo de la tesis. De igual modo, se dispone del Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica y de la asesoría especializada correspondiente, lo que asegura la factibilidad operativa del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales

Bataller, M., Fernández, L. y Véliz, E. (2010). Mencionan que la aplicación del ozono en los procesos de potabilización demostró ser altamente beneficiosa, dado su notable nivel de eficiencia y su amplio potencial para mejorar la calidad del agua. Esta tecnología no solo garantiza un suministro más seguro y contribuye significativamente a los objetivos de desarrollo sostenible. El rápido aumento en la utilización de la ozonización en el tratamiento de aguas, junto con las nuevas exigencias de los criterios tecnológicos en lo referente a los sistemas de ozono, el control eficiente de la formación de iones bromato, la limitada presencia de este subproducto en las plantas potabilizadoras y la posibilidad de evaluar con precisión su toxicidad, refuerzan la validez de esta alternativa como método de potabilización.

Adolfo Amador, M., Fernández, A., Méndez, I., Fernández, I. y Ramos, C. (2010). El estudio se centró en presentar la gestión y llevar a cabo una revisión analítica de un proyecto destinado a asegurar que el agua en el punto de uso de todos los círculos infantiles del municipio La Lisa, en La Habana, cumpla con los estándares de desinfección adecuados. Se realizó un estudio ambiental destinado a identificar las posibles fuentes de contaminación de la zona que pudieran afectar las aguas de abastecimiento de los círculos infantiles, así como un estudio de las redes hidráulicas para la implementación de los aparatos en cada centro, tomando en cuenta los tanques

y cisternas utilizados para el resguardo del agua potable. Entre marzo y julio de 2009, el Centro de Investigaciones del Ozono diseñó, instaló y evaluó 120 ozonizadores en 20 círculos infantiles, constatando que la ozonización en el punto de uso facilita el trabajo del personal encargado. Determinaron que la estrategia asegura la protección sanitaria de los niños de 1 a 5 años, sustituyendo el hervido convencional del agua y disminuyendo notablemente el uso de energía.

Cosemar. (2023). Gracias a sus propiedades desinfectantes, el ozono constituye una opción eficaz para el tratamiento y potabilización de aguas, incluyendo la rehabilitación de aguas de pozo no aptas para el consumo, por ejemplo, posibilita la conservación de sistemas de agua cerrados, así como su reutilización. Habitualmente, las aguas industriales contaminadas son sometidas a ozonización antes de ser devueltas al entorno natural. Por un lado, se logra una desinfección integral del agua gracias a la versatilidad del ozono, que permite aplicar tratamientos personalizados según las necesidades específicas. Por otro, estos procesos producen agua libre de olores y sabores indeseables, alcanzando el nivel de claridad deseado. En síntesis, siempre que se trate de agua no apta para el consumo, el ozono constituye una solución adaptable a las necesidades específicas, garantizando al mismo tiempo una elevada seguridad tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

2.1.1. Investigaciones nacionales

Salvador, J. (2021), Planteó que, en la actualidad, resulta imprescindible considerar el tratamiento y la purificación del agua, ya que diversos factores como la conservación, la decantación, el paso por filtros y la eliminación de contaminantes, afectan

directamente su calidad. Se sabe que el ozono es un gas que no tiene estabilidad y que se genera de manera natural durante las tormentas eléctricas o artificialmente mediante aparatos de soldadura y eléctricos. El estudio tuvo como finalidad establecer la concentración de O_3 necesaria para producir agua ozonizada destinada a la limpieza y sanitización de superficies contaminadas por SARS-CoV-2 a nivel piloto, evaluando parámetros como dureza, pH, y O_3 residual, TDS. Concluye que, A nivel piloto, se obtuvo agua ozonizada para la limpieza, desinfección y prevención frente a la pandemia del COVID 19, determinando que la concentración óptima de O_3 se encuentra entre 2,3 y 3 ppm.

Benites, J. (2022). “Sistema de ozonización durante la etapa de lavado y calidad del fruto - APPBOSA”. Con el propósito de evaluar los parámetros de calidad del banano orgánico, para validar el uso del sistema de ozonización durante la etapa de lavado en la cooperativa APPBOSA, ubicada en Sullana, Piura. El tratamiento con ozono mantuvo la corona del banano consistente, seca y libre de pudrición antes y después de la maduración, en contraste con la fruta sometida al tratamiento convencional. Se emplearon dos métodos para evaluar el tratamiento con ozono, inmersión y aspersión, determinándose una dosis óptima de 0,4 ppm/min de O_3 en el agua del proceso. Se concluyó que el ozono, gracias a su naturaleza gaseosa, permitió eliminar hongos fitopatógenos presentes en la corona del banano, frenando de manera sostenida a los microorganismos y su propagación

Ubillus. (2019). Presentó “concentración de ozono y tiempo de conservación del arándano fresco”. Tuvo como finalidad observar el efecto de tres dosis de ozono para

comparar la conservación fresco. Se muestran los valores promedio y la variabilidad de los estudios de textura en función del tiempo de exposición al ozono gaseoso y del período de contacto para cada uno de los tratamientos evaluados. Se concluyó que la concentración y el tiempo de contacto óptimos para prolongar la vida útil del arándano fresco fueron 3 ppm de ozono gaseoso durante 3 minutos, alcanzando un máximo de 35 días en refrigeración. Los parámetros tecnológicos esenciales incluyen hermeticidad, correcta inyección y homogeneidad del gas, así como el control de todas las variables para garantizar un tratamiento uniforme en toda la cámara.

En la Revista Big Bang Faustiniiano (2016). Se determinó que la dureza del agua está muy por debajo del límite de 500 mg/L (expresado como carbonato de calcio) establecido por la OMS como aceptable, por lo que no se requiere aplicar métodos adicionales para su eliminación. En relación con la detección de metales pesados en el agua en Huacho, las revisiones organolépticas, como sabor y color, no evidencian indicios que sugieran concentraciones relevantes de hierro u otros metales que pudieran generar riesgos para la salud. Esta apreciación coincide con los estudios desarrollados por el Dr. Máximo Tomás Salcedo Meza, quien justamente es el asesor de la presente tesis, el Doctor y su equipo, investigaron la presencia de Cd, Pb y Hg en el agua destinada al consumo humano en este distrito. Sus resultados demostraron que dichos metales se encuentran en niveles muy inferiores a los límites máximos permisibles establecidos por la OMS. En consecuencia, se infiere que el agua consumida por la población de Huacho no presenta concentraciones de plomo, mercurio, ni cadmio que representen un peligro para la salud.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad del agua a nivel local.

En las zonas rurales persisten importantes carencias en la provisión de agua apta para consumo y en los sistemas de alcantarillado, cuyos niveles de cobertura apenas alcanzan el 39 % y 64 % respectivamente, además, no se realiza ningún tipo de tratamiento de las aguas residuales domésticas o comerciales, y aunque se han incrementado las inversiones en infraestructura básica, el rápido crecimiento urbano de Huacho continúa elevando la demanda de estos servicios.

Dado que casi la totalidad de los centros poblados y urbanos de la provincia alrededor del 99 % no cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales, se explica que los tramos inferiores del río Huaura, las bahías de Carquín y Huacho registren concentraciones de bacterias de carga fecal que superan los límites máximos permisibles para aguas previstas para el abastecimiento de la comunidad.

La comunidad dispone de diversos recursos hídricos naturales, entre ellos un conjunto de humedales, como ríos y albuferas ubicadas en zonas altoandinas, además de aguas subterráneas que se distribuyen mediante canales y reservorios y que aportan más de 10,5 millones de m³ por año, a lo que se suma una extensa franja costera de aproximadamente 80 km y numerosos embalses vinculados a la actividad agrícola y a la producción de energía en áreas interandinas e irrigadas, conformando así un vasto conjunto de cuerpos de agua que aún no se encuentran ajustados a las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático, como las variaciones térmicas y la mayor magnitud de las precipitaciones.

Los estudios realizados en el río Huaura evidencian la presencia de contaminación por bacterias fecales termo-tolerantes y concentraciones elevadas de hierro, aunque aún falta

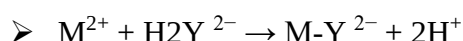
determinar las causas de los valores de pH registrados, los cuales hacen que estas aguas no sean aptas para ser consumidas por las personas, considerando además que alrededor del 10% de la población ingiere agua proveniente de manantiales o pozos sin procesos de potabilización o verificación de su pH.

La provincia no dispone de fuentes hídricas significativas en las cuencas de los valles de Huaura, ya que carece de lagunas o nevados como las que existen en Oyón. En contraste, la cuenca del río Supe/Ámbar sí cuenta con tres lagunas de gran tamaño que todavía no han sido aprovechadas para gestionar y estabilizar la disponibilidad de agua en Ámbar y en toda la cuenca de Supe. Con lo que sí cuenta la provincia es con diversas fuentes hídricas dispersas, entre ellas 168 lagunas altoandinas y reservas subterráneas que, a través de sus manantiales, aseguran la continuidad de la actividad agrícola en los valles interandinos. Estas mismas fuentes también abastecen de agua para uso poblacional a los distritos de Hualmay, Sayán, Carquín, Santa María, Huaura y Végueta, con un volumen que supera los 18 m³ por año.

2.2.3. Dureza del agua

Otros de los puntos que debemos tomar en cuenta en este marco es la dureza del agua, ya que afecta dado que depende del tipo de suelo y la ubicación geográfica por la que circula; en terrenos con abundancia de material calcáreo, el agua tiende a presentar mayor concentración de minerales. Por esta razón, según el lugar de residencia, es más habitual observar acumulaciones de sarro en los grifos o notar que las barras de jabón producen diferente cantidad de espuma. Esta dureza se evalúa por medio a una titulación complejométrica empleando ácido etilendiaminotetraacético, un compuesto quelante que reacciona formando complejos estables en proporción 1:1 con los iones divalentes presentes

en la muestra. Este método requiere la preparación de una solución tampón ($\text{pH} \approx 10$) para asegurar una complexométrica suficiente y el uso de un indicador colorimétrica que el viraje indicador se manifiesta con una transición de tonalidad rojiza a azulada al llegar al punto de terminación de la titulación. Las reacciones químicas más importantes se describen a continuación:



Además de la dureza, otros parámetros fisicoquímicos son críticos para la caracterización básica del agua:

- **pH:** Refleja la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una disolución. (H^+), esencial para comprender la acidez o alcalinidad del agua, determinada mediante un potenciómetro según la ecuación: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$
- **Conductividad Eléctrica (C.E.):** Vinculada con la aptitud del agua para transportar electricidad, está condicionada por la cantidad de iones disueltos en el medio y se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- **Sólidos Disueltos Totales (TDS):** Representan la concentración de sustancias disueltas, calculada mediante la relación: $\text{TDS (mg/L)} = \text{C.E.} \times \text{F}$ Donde F es el factor de conversión, generalmente entre 0.5 y 0.7.
- **Temperatura (T):** Influye en todas las propiedades fisicoquímicas y debe medirse para interpretar correctamente los resultados.

Tabla 1

Se clasifican los tipos de agua según su nivel de concentración de solutos disueltos.

Tipos de agua	mg/l	°fH	°dH	°eH
Agua blanda	≤17	≤1,7	≤0,95	≤1,19
Agua levemente dura	≤60	≤6,0	≤3,35	≤4,20
Agua moderadamente dura	≤120	≤12,0	≤6,70	≤8,39
Agua dura	≤180	≤18,0	≤10,05	≤12,59
Agua muy dura	>180	>18,0	>10,05	>12,59

Fuente: Vladimir Sánchez, (2023)

Existen compuestos, como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), capaces de unirse y formar complejos con iones de magnesio y calcio.

En la tabla, Vladimir indica que el EDTA debe añadirse gradualmente a la disolución y, una vez formados todos los complejos, es posible determinar la concentración de calcio presente, la cual afecta no solo el sabor del agua, también el funcionamiento y mantenimiento de diversos electrodomésticos, por lo que conocer la dureza permite implementar ajustes adecuados.

2.2.2. La desinfección con ozono

Las acciones de desinfección se es las técnicas principales para inactivar o eliminar organismos patógenos, con el fin de prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, tanto entre los destinatarios aguas abajo como en el medio ambiente. En la práctica, los procedimientos son bastante simples, una vez realizados los análisis correspondientes se aplican tratamientos de ozono ajustados a las características del agua y a su uso específico, en este caso, su potabilización, con el objetivo de cumplir los estándares establecidos como apropiados para el consumo humano. En efecto, un creciente número de plantas para la potabilización incorporan la ozonización en sus operaciones con el fin de

mejorar la calidad del agua, logrando obtener un recurso limpio, transparente y seguro, con las características microbiológicas requeridas para su consumo (Cosemar, 2023). Resulta fundamental que las aguas residuales reciban un tratamiento adecuado antes de aplicar cualquier desinfectante, de manera que su acción sea efectiva.

El cuadro siguiente presenta los microorganismos más frecuentes en aguas residuales domésticas y las enfermedades que comúnmente provocan:

Organismo	Enfermedad Causada
Bacterias	
<i>Escherichia coli</i> (enterotoxígeno)	Gastroenteritis
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (2,100 serotipos)	Salmonelosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Protozoos	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amebica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
Viruses	
Enteroviruses (72 tipos; por ejemplo: virus echo y coxsackie del polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis

Fuente: Tabla adaptada de Crites and Tchobanoglous, 1998.

El ozono es un potente oxidante y germicida, cuyos mecanismos de desinfección incluyen:

- Daño a los ácidos nucleicos, afectando purinas y pirimidinas.
- Ruptura de los enlaces carbono-nitrógeno, provocando despolimerización.
- Reacciones con los radicales generados por la descomposición del ozono.
- Oxidación o destrucción directa de la membrana celular, con liberación de sus componentes al exterior.

Ventajas:

- Tras el proceso, los microorganismos no se reproducen, salvo aquellos protegidos por partículas presentes en el agua residual.
- Al descomponerse rápidamente, no genera residuos peligrosos que deban ser eliminados tras el tratamiento.
- Como el ozono se produce directamente en la planta, se minimizan los riesgos relacionados con su transporte y manipulación.
- La ozonización requiere un tiempo de contacto breve, generalmente entre 10 y 30 minutos.
- El ozono supera al cloro en eficacia para eliminar virus y bacterias.
- La ozonización incrementa el oxígeno disuelto en el efluente, reduciendo la necesidad de reaeración y mejorando el nivel de oxígeno en el cuerpo receptor de agua.

Desventajas

- El ozono presenta una alta reactividad y corrosividad, por lo que es necesario emplear materiales resistentes, como acero inoxidable.
- El tratamiento puede implicar costos elevados tanto en inversión inicial como en consumo energético.

- Una dosificación insuficiente podría no inactivar adecuadamente ciertos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización, al ser más complejo que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, requiere equipos especializados y sistemas de contacto eficientes.
- La tecnología no resulta económicamente favorable para aguas residuales con concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, demanda bioquímica o química de oxígeno.
- Dado que el ozono es extremadamente irritante y potencialmente tóxico, los gases residuales de la cámara de contacto deben eliminarse para proteger al personal.

2.2.3. Sistemas de Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa (OI) es una técnica de purificación de agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar minerales e iones, con el propósito de retirar las partículas más grandes presentes en el agua destinada al consumo. El diseño y la estructura de las membranas se elaboran según las características del agua que será tratada. En cuanto a su origen, muchas fuentes hídricas nacen en las zonas altoandinas del Perú y se encuentran cercanas a áreas de explotación minera, lo que las expone a concentraciones peligrosas de metales pesados provenientes de dicha actividad. Esta contaminación compromete la inocuidad de la producción agropecuaria local y afecta el suministro de agua tanto para las comunidades rurales como urbanas. Opera mediante la aplicación de presión sobre el agua para forzar su paso a través de una membrana semipermeable, la cual retiene impurezas mientras permite el tránsito selectivo de determinadas moléculas o iones por difusión. La velocidad con la que estas especies atraviesan la membrana está condicionada por factores como la presión osmótica, la concentración, el gradiente electroquímico, la temperatura y la

propia capacidad de la membrana para permitir el paso diferencial de cada componente disuelto. Para que el proceso pueda considerarse verdaderamente selectivo, es necesario que la membrana restrinja el paso de partículas de gran tamaño, evitando que atraviesen sus poros. Al mismo tiempo, debe facilitar que los componentes de menor dimensión presentes en la mezcla puedan desplazarse sin dificultad a través de ella. De este modo, se garantiza una separación eficaz basada en las diferencias de tamaño molecular. (Equipo Flowen, 2022).

Esta técnica se basa en la difusión, por lo que su capacidad de separación está influenciada por la concentración del soluto, la presión aplicada y la velocidad de flujo del agua.

Ventajas

- Los equipos de ósmosis inversa destacan por su tamaño compacto, por lo que requieren muy poco espacio para instalarse.
- La purificación que alcanzan estos filtros mejora el sabor de los alimentos cocinados con esta agua.
- La eliminación del cloro permite que el agua del grifo no solo sea más segura, sino también más agradable al gusto y sin olores.
- Al utilizar un sistema de ósmosis inversa se reducen los gastos, ya que se evita la compra frecuente de garrafones.
- Estos purificadores son capaces de retener microorganismos y agentes patógenos como *Cryptosporidium* y *Giardia*, lo que contribuye a disminuir el riesgo de contraer infecciones estomacales u otras enfermedades asociadas.

Desventajas

- El proceso de ósmosis inversa elimina los minerales naturales presentes en el agua, por lo que es necesario incorporar un sistema de re mineralización para recuperar estos elementos beneficiosos.
- A diferencia de otros métodos de tratamiento, la purificación por ósmosis inversa funciona de manera más lenta.
- Debido a la ausencia de minerales, el agua resultante puede adquirir un pH ácido (inferior a 7.0), lo cual no favorece el equilibrio alcalino que necesita el organismo; idealmente, el agua de consumo debe mantenerse ligeramente básica.
- La membrana de ósmosis inversa puede bloquearse si no se protege adecuadamente, por lo que se recomienda colocar un pre filtro de sedimentos para evitar el paso de partículas que pudieran dañarla.

2.3. Definición de términos básicos

Ozono[O₃]: Es una forma alótropa del oxígeno compuesta por tres átomos y se considera el agente desinfectante químico más potente que existe. Su aplicación en la purificación y tratamiento del agua (ozonificación) se ha vuelto cada vez más frecuente. El término “ozono” deriva del griego *ózein*, que significa “oler”. En la atmósfera, este gas presenta un aroma muy particular que puede ser percibido por la mayoría de las personas cuando su concentración supera las 0.1 ppm.

Parámetros de calidad: De acuerdo con la FAO (2018), los parámetros de calidad reflejan qué tan cercanos están los valores obtenidos respecto a los valores de referencia del elemento analizado. Estos indicadores permiten evaluar distintos componentes relacionados con la calidad del agua. (Repositorio. upau.edu.pe)

Temperatura: La temperatura es uno de los parámetros físicos de mayor relevancia, pues afecta directamente la velocidad o desaceleración de la actividad biológica, los procesos de desinfección, la absorción de oxígeno, las operaciones de mezcla y la formación de precipitados, sedimentación y filtración. Diversos motivos, en su mayoría de origen ambiental, provocan que este parámetro experimente cambios constantes. (Paredes Urquieta, 2015)

PH: Tiene un impacto directo en procesos que se presentan durante el tratado del agua, como lo es en la corrosión y la formación de incrustaciones en los sistemas de distribución. Su control es esencial para garantizar la estabilidad del ozono en el medio acuoso, ya que para que la ozonización sea efectiva en la desinfección, se requiere un pH cercano a la neutralidad. La medición de este parámetro se realiza con un pH-metro, y generalmente el agua no contaminada presenta valores entre 6 y 9. Este rango permite identificar posibles variaciones que puedan generarse durante la aplicación de ozono. (HANNA INSTRUMENTS, 2019).

Potencial de óxido reducción (ORP): Este parámetro se utiliza para determinar la cantidad de ozono presente en el agua. El valor óptimo es de aproximadamente 600 mV y se mide mediante un ozonómetro durante el tratamiento

Conductividad: En términos generales, el agua posee la capacidad de conducir electricidad, aunque este comportamiento depende de la cantidad de sólidos disueltos totales presentes. Los minerales y sales disueltas generan iones que actúan como portadores de carga, permitiendo el flujo eléctrico. Como ejemplo, el agua destilada, a la que se le han removido todos los iones mediante destilación u otros métodos, no puede conducir la corriente eléctrica.

Dureza del agua: Está relacionada con la cantidad de iones pertenecientes a los metales alcalinotérreos, cuya presencia depende principalmente de las características geológicas del área de origen del recurso.

Alcalinidad: Representa la habilidad del agua para contrarrestar la presencia de ácidos. Esta propiedad, conocida como capacidad de amortiguación, indica qué tanto puede el agua evitar variaciones en su pH cuando se le agrega un ácido.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

Implementar un sistema de tratamiento de aguas de pozo por Ósmosis inversa (VI) en el punto de uso para mejorar su calidad Ozonizada (VD) para la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay, su aplicación en zonas rurales y urbanas.

2.4.2. Hipótesis específicas

Determinar el dimensionamiento del tratamiento del agua en el punto de uso que asegure su calidad a desarrollarse en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica para su aplicación en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay y zonas rurales y urbanas

Evaluación fisicoquímica del suministro a la cisterna y del producto final que asegure su calidad para su aplicación en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay y zonas rurales y urbanas

Establecer el rendimiento del proceso de obtención del producto final por el sistema de Ósmosis inversa ozonizada.

2.5. Operacionalización de variables:

Tabla 2

Determinación de variables y dimensiones

Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala de Medición
Ósmosis inversa (eliminación exceso de sales, metales pesados)	Proceso en el que se aplica una presión osmótica superior sobre la zona de la solución más concentrada, es decir, aquella con mayor contenido de minerales.	Operaciones análisis de Dureza	pH, STD, C.E. Dureza, Temperatura, Concentración	Razón
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala de Medición
Obtener agua de Calidad en el punto de uso (Ozonización)	Control de agentes patógenos, materia orgánica, inorgánica, minerales, que influyen.	Tratamiento con carbón activado u Ozono	Organoléptico, olor, sabor, inocuidad.	Razón

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

Es de tipo aplicada ya que utiliza conocimientos científicos para resolver un problema real y ofrecer una solución práctica. Su propósito es proponer o evaluar una intervención, metodología o tecnología que pueda implementarse directamente. Además, es de innovación tecnológica, pues tiene un enfoque en la eficiencia y eficacia de un método a favor del bienestar humano,

3.1.2. Nivel de investigación

Es descriptivo ya que los datos serán recolectados tal como se presentan en la realidad mediante observación directa, sin manipular las variables. El estudio se fundamenta en premisas científicas, conceptos, definiciones, leyes y teorías que permitirán sustentar y validar los resultados obtenidos. De esta manera, la investigación se apoya en bases teóricas sólidas para interpretar adecuadamente la información recolectada.

3.1.3. Diseño de investigación

El estudio presenta un diseño no experimental, ya que no se alterarán las variables, sino que se observarán y describirán los procesos utilizados para potabilizar el agua y envasarla en bidones de 20 litros como agua de mesa, tal como ocurren en su contexto real. Además, se llevará a cabo en un periodo específico, lo que permitirá comparar la variable analizada con la situación real en ese momento, por lo que corresponde a un enfoque transversal.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estará constituida por el recurso de agua subterránea en los distritos de la zona para ser comparados con el Agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento de ósmosis inversa ozonizada en la E.A.P de Ingeniería Química e Ingeniería Metalúrgica. Desarrollada por los Alumnos, Tesistas y Egresados de Posgrado.

3.2.2. Muestra

Las muestras fueron seleccionadas por conveniencia, una parte muestreada de la población que corresponde un total de 6 distritos, y dos empresas de Huacho, Blue life e INMEL S.A.C. Por otro lado, cabe mencionar que se tomó en cuenta también la facilidad de acceso al Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica, tiempo y disponibilidad del asesoramiento del personal Docente y Técnico para la elaboración del informe final.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Observación directa.

Se verificará en situ para realizar las observaciones de instalación, de los equipos de Ósmosis Inversa y el Ozonizador.

Análisis de documentos.

Se realizará una revisión de diversas fuentes documentales relevantes para el estudio, incluyendo libros especializados, folletos informativos, artículos de revistas científicas, investigaciones previas y tesis relacionadas con la temática. Todo este material bibliográfico

servirá como soporte teórico y permitirá contextualizar y respaldar los hallazgos de la investigación.

Validez y Confiabilidad.

Se contará con la colaboración de especialistas del área de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica, quienes aportarán su experiencia para garantizar el adecuado desarrollo del estudio. Asimismo, la investigación mantendrá solidez y coherencia mediante la presentación y verificación de los resultados obtenidos.

Recolección de muestras en 5 puntos: Los Tanques, Estructuras, Tuberías, Conexiones, Equipos, en el dimensionamiento del tratamiento del agua en el punto de uso que asegure su calidad a desarrollarse en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica para su aplicación en la empresa INMEL PERÚ SAC del Distrito de Hualmay y zonas rurales y urbanas, identificando los puntos críticos las cuales se examinaron para determinar, comparar su calidad, para consumo humano y diversos usos en TDA a las condiciones de recepción a las cuales van a estar sometidas el uso final del producto.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Kit De Prueba Para Dureza Total HANNA HI3812. El HI3812: Es un equipo químico de análisis que utiliza un método de titulación para medir la dureza total del agua en dos intervalos: de 0.0 a 30.0 mg/L y de 0 a 300 mg/L. El modelo HI3812 incluye todos los reactivos y materiales requeridos para llevar a cabo las mediciones. Además, el set proporciona insumos suficientes para efectuar alrededor de 100 determinaciones.

El kit de análisis incorpora todos los elementos necesarios, como el recipiente para la muestra, la pipeta plástica y los frascos cuentagotas con los reactivos correspondientes.

Para el intervalo de 0.0 a 30.0 mg/L, las mediciones cuentan con una resolución de 0.3 mg/L, mientras que para el rango de 0 a 300 mg/L, la resolución es de 3 mg/L.

A continuación, detallaremos en orden los materiales y reactivos utilizados:

- ✓ Vasos de plástico descartables, micro pipetas, goteros
- ✓ 1 botella (120 ml)
- ✓ Papel toalla
- ✓ Marcador.
- ✓ 2 vasos (10 ml y 50 ml)
- ✓ Anaranjado de metilo
- ✓ Ácido sulfúrico
- ✓ Ácido clorhídrico
- ✓ 1 jeringa graduada
- ✓ Fenolftaleína,
- ✓ (Solución EDTA HI3812-0)

Así mismo detallaremos los equipos empleados:

- ✓ Kit De Prueba Para Dureza Total HANNA HI3812
- ✓ pH-metro.
- ✓ Conductímetros.
- ✓ Equipo TDS
- ✓ Medidor de sólidos totales disueltos (TDS):
- ✓ Equipo Sistema de Osmosis Inverso
- ✓ Equipo Ozonizador.

- ✓ Sistema manual de distribución
- ✓ (Buffer de dureza), 1 botella con dosificador (30 ml), Reactivo 2 (Indicador), 1 botella con dosificador (10 ml)

Procedimiento. Evaluación de los parámetros básicos con los instrumentos disponibles, se procedió a realizar las respectivas mediciones de cada muestra, para ello, **se** colocan los equipos de medición, presionando el botón “MODE” del medidor pH, C.E. TDS, Dureza y Temperatura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 4

Resumen de los Valores y Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento domiciliario del agua (TDA), que asegure su calidad fisicoquímica y bacteriológica inocua por el sistema de ozonización.

Muestra y Parámetros	Dureza (mg/L)	pH	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	T ($^{\circ}\text{C}$)
Tanque de recepción	672	8.06	7064	3532	24.9
Primer filtrado	642	7.94	6864	3432	26.3
Salida de Osm. Inv.	33	6.74	690	345	25.3

1. Muestra de toma de tanque recepción de EMAPA en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

$$\text{Dureza} = \text{Gasto de EDTA} \times 300 \quad \text{Dureza} = 2,24 \times 300 \quad \text{dureza} = 672 \text{ mg/l CaCO}_3$$

2. Muestra del 1° Filtrado:

$$\text{Dureza} = \text{Gasto de EDTA} \times 300 \quad \text{Dureza} = 2,14 \times 300 \quad \text{Dureza} = 642 \text{ mg/L CaCO}_3$$

3. Muestra del Tanque de Osmosis Inversa:

$$\text{Dureza} = \text{Gasto de EDTA} \times 300 \quad \text{Dureza} = 0,11 \times 300 \quad \text{Dureza} = 33 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Tabla 5

Resumen de los Valores y Parámetros fisicoquímicos básicos del agua de los distritos que se han seleccionado para evaluar su calidad fisicoquímica.

Muestra y Parámetros	pH	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	Dureza (mg/L)	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
Blue Life	7.63	114	57	66	24.9
Supe-Leticia	7.72	408	204	156	24.0
Huaral	8.34	696	348	252	24
Chancay	8.18	904	452	301.2	24.5
Hualmay	8.94	1482	741	301.8	24
Barranca	8.22	1526	763	252	23.3
Huaura	8.78	3042	1521	417	23.5
Tanque: UNJFSC	7.72	7054	3527	763	24
Agua Ozonizada	6.74	690	345	33	24.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Implementación del Tratamiento del Agua de pozo para mejorar la calidad por Ósmosis Inversa Ozonizada en la Empresa INMEL Perú S.A.C. del Distrito de Hualmay en diciembre 2024.

Muestra de: Agua Empresa INMEL Perú S.A.C.	Dureza (mg/L)	pH	C.E. (μ S/cm)	TDS (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	T (°C)
Pozo de recepción	672	8.06	7,064.	3,532	166.12	24.9
Primer Filtrado	642	7,94	6,864	3,432	166.12	24.6
Tanque Producto final de Agua Tratada por Ósmosis Inversa y Ozonizada, que se ha de emplear en la Empresa y/o otras instituciones.	33	6.74	690	345	No presenta	24.6

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de los resultados

En esta investigación se ha evaluado los parámetros básicos fisicoquímicos ozonizada para el consumo humano en la Empresa INMEL Perú S.A.C. del Distrito de Hualmay mediante análisis fisicoquímico básico, empleando el sistema ozonización para el tratamiento microbiológico se determinó que:

La Dureza de la muestra de agua a la entrada al tanque de recepción fue muy alta (672 mg/L), lo que indica que el agua fue clasificada como muy dura, lo que puede causar incrustaciones graves en equipos y tuberías. Después de la primera filtración la dureza disminuyó ligeramente (642 mg/L), lo que indica la eficiencia limitada del proceso inicial para eliminar los iones de calcio y magnesio. La ósmosis inversa reduce significativamente la dureza en el Tanque de cosecha la que denominamos Producto final del Agua de pozo obtenida por Ósmosis inversa ozonizada. Tratada en el lugar de consumo, como se aprecia en la tabla 6. Cuyo valor es de (33 mg/L), clasificándola como agua blanda y apta para consumo humano, elaboración de productos, empleo como agua desionizado, aplicaciones sensibles como procesos industriales de precisión en la Empresa INMEL Perú S.A.C. del Distrito de Hualmay.

La conductividad del agua de pozo subterránea en la Empresa INMEL Perú S.A.C. del Distrito de Hualmay es de 7,064 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y después del primer filtrado el resultado es de 6,864 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dentro de los meses de noviembre y diciembre, como se indica es de 7,064 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en los límites máximos permisibles de la categoría A2 menciona un límite de 1600uS/cm, rango establecido en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAN. Producto final del Agua de

pozo obtenida por Ósmosis inversa ozonizada con una Conductividad eléctrica 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tabla 06.

El pH (8,06) a la entrada del pozo de recepción indica una apariencia ligeramente alcalina, posiblemente influenciada por la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El primer filtrado mantuvo un pH similar (7,94), mientras que la ósmosis inversa redujo significativamente el pH (6,74), probablemente debido a la eliminación de tampones alcalinos, cuyo valor del producto final del Agua de pozo obtenida por Ósmosis inversa ozonizada.

La C.E. a la entrada del tanque del pozo de recepción mostraron una alta Conductividad (7,064 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y después del primer filtrado 6,864 $\mu\text{S}/\text{cm}$, En el tanque de agua tratada por ósmosis inversa ozonizada, se logró una reducción significativa en ambos parámetros (690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un TDS 345 mg/L), destacando su eficacia en la desalinización y purificación del agua.

La temperatura de la muestra varió dentro de un rango estrecho (24,9 °C, 25,7 °C y 26,3 °C) que es suficiente para mantener las condiciones analíticas sin afectar significativamente las mediciones.

El nivel de alcalinidad en el agua destinada al consumo doméstico, como el agua potable, suele situarse entre 50 y 200 mg/L de CaCO_3 . Su principal impacto radica en su capacidad de reaccionar con ciertos cationes presentes en el agua, generando precipitados indeseados dentro de las tuberías (Jiménez, 2001). Estos resultados coinciden con los hallazgos de Ruiz y Coronado (2016), quienes señalan que el tratamiento mediante ósmosis inversa ofrece una alta eficiencia. De manera similar, Ramos (2021), confirma que las muestras analizadas se mantienen dentro de los Límites Máximos Permisibles. Lo que

muestra que nuestro Producto final del Agua de pozo obtenida por Ósmosis inversa ozonizada no presenta alcalinidad Carbonatada, reúne las Normas Nacionales MINAN.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En este estudio se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua subterránea tratada mediante ósmosis inversa, utilizando para ello análisis fisicoquímicos y sistema de ozonización para el manejo microbiológico, aprovechando la gran capacidad de oxidación del gas ozono [O₃] para consumo humano de la Empresa EMAPA Huacho.

Lo más importante del estudio es que se pudo reducir los valores de concentración correspondientes a los parámetros fisicoquímicos y el empleo del Ozono para el manejo microbiológicos, cuyos valores obtenidos demuestran significativamente.

La tecnología de ósmosis inversa resulta altamente eficiente para el tratamiento de diversas fuentes de agua que presenten contenido de minerales, metales pesados, contaminantes microbiológicos y sales orgánicas e inorgánicas. Su desempeño cumple con los criterios establecidos en las normas de calidad para el agua destinada al consumo humano y con los LMP establecidos.

Un aspecto fundamental para la realización de este estudio fue la posibilidad de desarrollar las pruebas en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación Tecnológica, lo que nos permitió analizar la eficiencia de purificación alcanzada a través de este método.

El análisis de muestras mostró que la ósmosis inversa fue muy efectiva para reducir la dureza del agua de 672 mg/l en la entrada del tanque a 33 mg/l, clasificándola como agua blanda y adecuada para aplicaciones industriales sensibles. Este resultado es consistente con Sawyer et al. (2003) quienes enfatizaron que este método es ideal para la eliminación permanente de durezas.

El pH era alcalino (8,06 y 7,94) en la fase inicial y disminuyó a 6,74 después del sistema de ósmosis inversa, que tuvo que ajustarse para cumplir con los estándares de la industria como lo sugieren Hammer y Hammer (2008). Además, según Alizadeh et al., la ósmosis inversa redujo significativamente la conductividad eléctrica (C.E) y los sólidos disueltos totales (TDS), confirmando su eficacia como proceso de desmineralización. (2015). Finalmente, como sugieren Morrison y Boyd (2012), una temperatura constante garantiza la confiabilidad de los resultados, enfatizando la importancia de las condiciones isotérmicas en los análisis fisicoquímicos.

La alcalinidad puede causar daños en seres vivos por exceso de carbonatos. El exceso de carbonatos puede generar varios efectos perjudiciales:

En la salud humana: Agua con alcalinidad elevada puede ser desagradable al gusto y causar molestias gástricas leves debido al aumento de pH.

En organismos acuáticos: Un exceso de CO_3^{2-} puede elevar el pH del agua por encima de 9, causando estrés fisiológico en peces y afectando el intercambio gaseoso en las branquias, lo que podría llevar a la mortalidad (Hem, 1985).

En la agricultura: Aguas con alta alcalinidad deterioran la estructura del suelo y dificultan la absorción de nutrientes esenciales por las plantas (Sawyer et al., 2003).

Por otra parte, Hem (1985) señala que “el incremento de la alcalinidad, especialmente cuando predomina CO_3^{2-} , puede inducir toxicidad indirecta al modificar las condiciones del pH en medios sensibles” (p. 121).

6.2 Recomendaciones:

- Mejora el sistema de la primera filtración utilizando tecnologías adicionales como filtros de resina catiónica para aumentar la eliminación de durezas antes del sistema de ósmosis inversa.
- Utilice un sistema de neutralización, como la inyección de bicarbonato o carbonato de sodio, para ajustar el pH del agua de pos tratamiento de ósmosis inversa para garantizar que permanezca dentro de un rango adecuado para el uso previsto.
- Repita el análisis de dureza, pH y CE. y TDS bajo diferentes condiciones operativas para garantizar la coherencia de los resultados y evaluar posibles mejoras.
- Se sugiere a las entidades responsables implementar sistemas de ósmosis inversa a gran escala con el fin de garantizar el suministro de agua segura para la población y para los establecimientos de salud. Asimismo, se recomienda el uso de equipos domésticos de ósmosis inversa en viviendas que no dispongan de acceso a agua potable de calidad.
- Se propone que el Ministerio de Salud continúe ejerciendo su función de regulación y vigilancia en materia de saneamiento ambiental, fortaleciendo la formulación de políticas y la actualización de normas de calidad sanitaria del agua y protección ambiental, conforme a lo establecido en la Décima Primera Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley 26338.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS

- Arauco, E. (2002). *Evaluación del tratamiento de agua por ósmosis inversa para una planta de estabilizantes de PV*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2349903>
- Environmental Protection Agency (2021). *Water Quality Criteria for Carbonate and Bicarbonate*. EPA. https://www-admin.mwdh2o.com/media/lkmlwtfh/mwd_awqr_2025_screen.pdf
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water* (3.a ed.). Estados Unidos: Geological Survey.
- Hernández, J. (2020). *El agua usada en operaciones mineras puede llegar a contaminarse a niveles*. [Tesis de grado de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Medellín, Antioquia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80846/1152707315.2021.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Horowicz, L. Y. y Klein, S. A. (2011). *Potabilizadores de agua para consumo familiar en zonas rurales*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Ministerio De Salud. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N°031-2010-SA*. Lima - Perú: Dirección General de Salud Ambiental.
- Organización Mundial De La Salud. (2004). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4.a ed.). Ginebra: OMS.

- Pagano, F. y. Z. (2017). *Análisis de membranas de osmosis inversa*. Universidad Tecnológica Nacional Medrano. Obtenido de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/prodeca-proimca/actas-prodeca-2017/DCA92_Aplicaciones-de-la-Osmos.pdf
- Pearson, A. (2015). *Advances in Water Treatment Technologies*. Elsevier.
- Ramos, L. (2021). *Evaluación de la calidad del agua purificada por ósmosis inversa para el consumo en instituciones educativas*. Ucayali [Tesis para título profesional, Universidad Nacional de Ucayali]. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5088>
- Rojas Egusquiza, E. (2016). *Diagnóstico situacional del proceso de tratamiento de agua potable de la planta municipal en el distrito de Tambo grande*. Piura - Perú: Universidad César Vallejo - Filial Piura.
- Salvador Estupiñan, J. G. (2021) *Obtención de agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica*.
- Seminario Zelada, F. (2015). *Producción de agua de mesa por osmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP*. Piura - Perú: Universidad de Piura.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5.^a ed. "). Fuente: McGraw-Hill.
- Valle Rivera, H. A. (2018). *Análisis de la calidad de tres métodos de potabilización de agua de mesa en la presentación de 20 litros en la ciudad de Piura*.

ANEXOS

VISTAS FOTOGRÁFICAS

Muestras recibidas en el Laboratorio de Análisis Instrumental e Innovación tecnológica



Lectura del parámetro pH. con el equipo portátil.



Lectura del parámetro de la Conductividad Eléctrica C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con el equipo portátil.



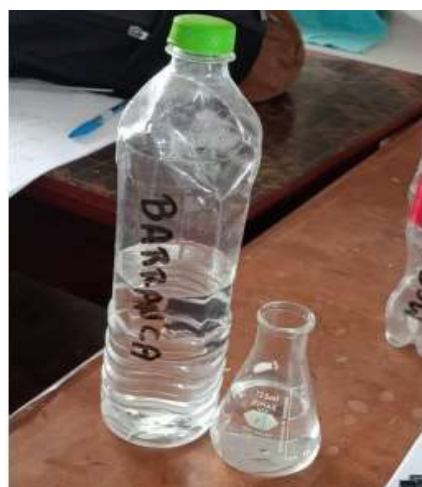
Kit para evaluar la Dureza de las muestras



Los tesistas comprobando Conductividad, pH, y TDS. Alcalinidad y otros parámetros.



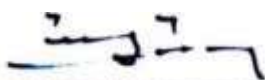
Muestras





ASESOR : **Dr. Máximo Tomas Salcedo Meza**

MIEMBROS DEL HONORABLE JURADO



PRESIDENTE : **Dr. Sánchez Guzmán Alberto Irhaam**



SECRETARIO : **Dr. Gálvez Torres Edwin Guillermo**



VOCAL : **Dr. Ramos Pacheco Ronald Luis**