UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE MAGNETISMO PARA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL POZO TUBULAR SUBTERRÁNEO DEL A.H. TEODORO BINDER II, UCAYALI-2024

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO AMBIENTAL

BRIGITTE ELISA BRICEÑO PEREZ

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 255-2025-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 12:00 horas del jueves 15 de enero del 2026, de acuerdo al reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales designados con memo múltiple 001-2026-UNU-FCsFyA-CGT conformando por los siguientes docentes:

Dr. Gabriel Mercado Jáuregui	Presidente
Dr. Cesar Mori Montero	Miembro
M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza	Miembro

Se procedió a la sustentación de tesis titulado **"APLICACIÓN DE MAGNETISMO PARA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL POZO TUBULAR SUBTERRÁNEO DEL A.H. TEODORO BINDER II, UCAYALI-2024"**, presentado por el bachiller **BRIGITTE ELISA, BRICEÑO PEREZ;** asesorada por el **M. Sc. JENNY PAOLA ZEÑA RUBIO**. Habiendo culminado la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado evaluador, los que fueron absueltos por la sustentante, en consecuencia la tesis fue **APROBADO** por **UNANIMIDAD**, recomendando subsanar las observaciones realizadas por el jurado evaluador, quedando expedito para el otorgamiento del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Siendo las 01:03 p.m. del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Dr. Gabriel Mercado Jáuregui
Presidente

Dr. Cesar Mori Montero
Miembro

M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Gabriel Mercado Jáuregui
Presidente

Dr. Cesar Mori Montero
Miembro

M.Sc. Letty Leonor Sandoval Mendoza
Miembro

M.Sc. Jenny Paola Zeña Rubio
Asesor

Bach. Brigitte Elisa Briceño Pérez
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/124-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"APLICACIÓN DE MAGNETISMO PARA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL POZO TUBULAR SUBTERRÁNEO DEL A.H. TEODORO BINDER II, UCAYALI-2024"

Autor(es)	:	**BRICEÑO PEREZ, BRIGITTE ELISA**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. ZEÑA RUBIO JENNY PAOLA**

Presenta un **porcentaje de similitud de 6%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 05/03/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, BRIGITTE ELIGA BRICEÑO PEREZ

Autor de la tesis titulada : APLICACIÓN DE MAGNETISMO PARA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACION DE HIERRO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL POZO TUBULAR SUBTERRANEO DEL A.H. TERRAZA BINDER II, UCAYALI-2024

Sustentada el año 2026

Asesor(a): M.S.C. JENNY PAOLA ZEÑA RUBIO

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 23 / 01 / 2026

Email: brigitteb.iamb@gmail.com Firma:

Teléfono: 969662206 DNI: 72122220

DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi pilar constante, mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles. A mi padre (Q.E.P.D.), quien, incluso en sus últimos momentos, me dio el aliento necesario para seguir adelante. Una especial mención a mi abuela Marina Bolívar, por su tiempo, dedicación y su amor incondicional, quien sembró en mí valores, principios y sobre todo la valentía para hacerle frente a la vida. A mis hermanos menores, a quienes dedico este logro con cariño, a quienes dejo como constancia de que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr nuestros propósitos de vida. A mis tíos que han tenido mucha influencia sobre mí, en especial a mí tía Juana Montoya por ser un ejemplo y mentora en mi vida

También me lo dedico a mí misma, por no rendirme, por persistir y resistir frente a cada obstáculo que se presentó en el camino. Por mis desvelos, mi esfuerzo, mi constancia y mi determinación para culminar esta etapa académica.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, por haber sido la casa de estudio que me acogió durante esta etapa.

A mi asesora Ing., Jenny Zeña por haberme en este proyecto, que en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar mis conocimientos.

Mi sincero agradecimiento a todos los docentes y miembros de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, cuyas valiosas enseñanzas han sido fundamentales en mi proceso de aprendizaje.

En particular, deseo reconocer al Profesor Dolmos quien, con su apoyo y orientación durante mi etapa universitaria, han sido una parte esencial de mi desarrollo académico. Aprecio profundamente la dedicación y el compromiso que han demostrado, los cuales han sido cruciales para mi crecimiento profesional.

ÍNDICE GENERAL

Pag.

DEDICATORIA……..v

AGRADECIMIENTO…… vi

ÍNDICE GENERAL……vii

ÍNDICE DE FIGURAS……x

ÍNDICE DE TABLAS……..ix

RESUMEN……xii

ABSTRACT……..……xiii

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1. Formulación del problema..... 19

1.1.1. Problema general..... 19

1.1.2. Problemas específicos..... 19

1.2. Objetivos de la investigación..... 19

CAPITULIO II MARCO TEORICO..... 21

2.1. Antecedentes del problema 21

2.1.1. Antecedentes internacionales 21

2.1.2. Antecedentes nacionales..... 23

2.1.3. Antecedentes locales..... 26

2.2. Bases teóricas 29

2.2.1.1. Dominios magnéticos 29

2.2.1.2. Magnetismo de los materiales 30

2.2.1.5. Interacción entre polos magnéticos 32

2.3. Definición de términos básicos 38

CAPÍTULO III METODOLOGIA 40

3.1. Metodología y técnicas utilizadas 40

3.1.1. Tipo de investigación 40

3.1.2. Nivel de investigación 40

3.1.3. Diseño de la investigación 41

3.2. Población y muestra 42

3.2.1. Población 42

3.2.2. Muestra 43

3.3. Procedimientos de recolección de datos……26

3.3.1. Técnicas de recolección de datos……26

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos 45

3.4. Procedimiento de la investigación 46

3.5. Procesamiento y tratamiento de datos 51

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52

4.1. Determinación de la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II . 52

4.2. Determinación del área de contacto óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II 56

4.3. Determinación del tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II 59

4.4. Eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II 62

CAPITULO V CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES 66

5.1. Conclusiones 66

5.2. Recomendaciones 66

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos de investigación 42

Tabla 2 Concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. 52

Tabla 3 Análisis de varianza de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético. 57

Tabla 4 Comparaciones de parejas de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético. 57

Tabla 5 Análisis de Varianza de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el tiempo de contacto del sistema magnético. 60

Tabla 6 Comparaciones de parejas de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el tiempo de contacto del sistema magnético. 60

Tabla 7 Eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. 62

Tabla 8 Análisis de varianza de la eficiencia de los tratamientos magnéticos de reducción de hierro en el agua de consumo humano 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Trozos de hierro en etapas de magnetización sucesivas 30
Figura 2 Representación de los polos de un imán y su campo magnético. 32
Figura 3 Representación de la Ley de polos magnéticos. 33
Figura 4 Mapa de puntos de monitoreo en vivienda. 45
Figura 5 Toma de muestras de agua de consumo humano del pozo tubular subterráneo ubicado en el Asentamiento Humano Teodoro Binder II. 46
Figura 6 Recolección y preservación de muestras 47
Figura 7 Medición de parámetros de campo 48
Figura 8 Determinación de hierro con kit de análisis 49
Figura 9 Medición de la fuerza y campo de magnético del imán 50
Figura 10 Grafica de fuerza y campo magnético del imán según área 51
Figura 11 Análisis de tendencia de la concentración de hierro según la distancia del sistema de abastecimiento de agua. 53
Figura 12 Determinación del área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano en el A.H. Teodoro Binder 2024. 56
Figura 13 Tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. 59
Figura 14 Elaboración de la caja de prueba 81
Figura 15 Pesado de reactivo para preparación de estándares de hierro 81
Figura 16 Ubicación del área de estudio 82
Figura 17 Etiquetado y rotulado de botellas de muestreo 82
Figura 18 Llenado de recipientes con muestra de agua 83

Figura 19 Recolección de muestra de agua de las viviendas 83

Figura 20 Medición de parámetros de campo 84

Figura 21 Medición de cloro en campo 84

Figura 22 Toma de muestra para análisis de hierro en viviendas 85

Figura 23 Agregado de reactivo a recipiente para análisis de hierro en viviendas 85

Figura 24 Determinación de hierro por color reactivo en las viviendas 86

RESUMEN

El hierro es uno de los principales contaminantes químicos en el agua de consumo humano extraído de fuentes subterráneas, el cual afecta la calidad del agua. El presente estudio tuvo por objetivo evaluar la efectividad de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024. Para esto se evaluó la concentración del hierro en el sistema de abastecimiento y además se tomó la muestra de agua para los tratamientos el cual se analizó por el método colorimétrico de la fenantrolina, la aplicación del magnetismo se llevó en una caja de policarbonato de un espesor de 3 mm con un área base de 10 cm x 10cm con una altura de 10 cm el cual conforma 1 litro del agua a diferentes concentraciones iniciales de hierro siendo de 0.5 mg/l, 1 mg/l y 5mg/l, donde se les aplico magnetismo en diferentes áreas de contacto de 10, 30 y 50 cm^2 a diferentes tiempos de retención de 30, 60 y 120 segundos. Como resultados se obtuvo que la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II en promedio fue de 0.96 mg/l Fe con un máximo de 1.4 mg/l Fe y mínimo de 0.58 mg/l Fe. Se concluye que la eficiencia de reducción de hierro utilizando el sistema de magnetismo es óptima con un área de 50 cm^2 a tiempo de 60 segundos con una eficiencia del 66.75% en aguas de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

Palabras clave: Hierro, agua, magnetismo, pozos, subterráneo**.**

ABSTRACT

Iron is one of the main chemical contaminants in drinking water extracted from underground sources, which affects water quality. The present study aimed to evaluate the effectiveness of applying magnetism to reduce iron concentrations in drinking water from the underground tubular well system of the A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024. For this, the concentration of iron in the supply system was evaluated and in addition, the water sample was taken for the treatments which was analyzed by the colorimetric method of phenanthroline, the application of magnetism was carried out in a polycarbonate box with a thickness of 3 mm with a base area of 10 cm x 10 cm with a height of 10 cm which makes up 1 liter of water at different initial concentrations of iron being 0.5 mg / l, 1 mg / l and 5mg / l, where magnetism was applied in different contact areas of 10, 30 and 50 cm^2 at different retention times of 30, 60 and 120 seconds. As results, it was obtained that the concentration of iron in water for human consumption of the underground tubular well system of the A.H. Teodoro Binder II average is 0.96 mg/l Fe with a maximum of 1.4 mg/l Fe and a minimum of 0.58 mg/l Fe. It is concluded that the iron reduction efficiency using the magnetism system is optimal with an area of 50 cm^2 at a time of 60 seconds with an efficiency of 66.75% in water for human consumption of the underground tubular well system of A.H. Teodoro Binder II.

Keywords: Iron, water, magnetism, wells, underground.

INTRODUCCIÓN

El acceso seguro al agua potable continúa siendo una de las problemáticas más urgentes a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud advierte que más de 2 mil millones de personas no cuentan con acceso adecuado a agua limpia, lo que supone una seria amenaza para la salud pública. Esta situación es más crítica en comunidades rurales y asentamientos informales, donde las infraestructuras son precarias o inexistentes y el consumo depende de fuentes contaminadas. La carencia de agua potable no solo compromete la salud, sino que perpetúa ciclos de pobreza y marginación, limitando el desarrollo sostenible y la justicia social. En el Perú, este problema se refleja en los asentamientos humanos que surgieron de manera espontánea en zonas urbanas y rurales, muchos de los cuales carecen de redes de agua y dependen de pozos artesanales, cisternas o fuentes superficiales sin control sanitario. En la región Ucayali, se estima que existen alrededor de 316 asentamientos humanos registrados donde el acceso seguro al agua es un desafío constante (INEI, 2025).

Un ejemplo de esta realidad es el Asentamiento Humano Nuevo Jerusalén, donde se evaluaron concentraciones de hierro férrico (Fe^{3+}) en el agua de consumo. Los resultados mostraron niveles de hasta 2,2 mg/L, superando los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA). Asimismo, el 86,1 % de los habitantes reportaron afecciones relacionadas con el consumo del agua, principalmente infecciones intestinales (32,3 %) (Guimaraes, 2022). De manera similar, un estudio en los asentamientos Los Olivos y Los 4 Suyos (Callería) halló que parámetros como pH, turbidez,

sólidos disueltos, hierro, manganeso y coliformes excedían los límites recomendados (Dávila e Inuma, 2019).

El exceso de hierro genera múltiples inconvenientes: altera el sabor y color del agua, ocasiona manchas en superficies, obstruye tuberías y favorece la proliferación de bacterias férricas, lo que dificulta el mantenimiento de las redes de distribución (Nergon, 2019). Aunque no es altamente tóxico, su consumo prolongado puede ocasionar problemas gastrointestinales y afectar órganos sensibles. Para contrarrestar estos efectos, se han desarrollado métodos como la oxidación química, la biofiltración con medios como Filtralite, el intercambio iónico y tecnologías basadas en microorganismos especializados (Álvarez, 2020).

En este contexto, la situación de Ucayali evidencia una carencia crítica de acceso a agua potable segura, con efectos negativos directos en la salud y calidad de vida de sus pobladores. Por tal, nos planteamos como objetivo Evaluar la efectividad de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, uno de los asentamientos humanos más antiguos y reconocidos de la ciudad de Pucallpa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial en zonas con limitado acceso al agua por fuentes como ríos y quebradas, se opta por la construcción de pozos tubulares, que extraen del subsuelo el agua, esta agua muchas veces puede arrastrar otros contaminantes, como metales y minerales, siendo el hierro uno de los componentes con mayor relevancia que perjudica la calidad del agua (Mukhopadhyay et al., 2025).

En estudios recientes, entre el 73% y el 88% de las muestras de agua subterránea superan los límites recomendados de hierro (Ghosh y otros , 2020). El hierro en concentraciones superiores a 0.3 mg/L produce un sabor metálico y olor desagradable, lo que reduce la palatabilidad del agua (Khatri et al., 2017). El hierro, en particular, es un componente relevante en la contaminación de pozos tubulares, ya que puede alterar el color, sabor y olor del agua, además de reaccionar con el cloro durante la desinfección, dificultando el tratamiento y aceptación del agua (Vargas et al., 2021). La presencia de hierro causa coloraciones rojizas o amarillas en el agua, manchas en ropa y utensilios, y depósitos en tuberías (Livinalli et al., 2023). La exposición crónica a altos niveles de hierro en el agua de pozo se asocia con problemas gastrointestinales (estreñimiento, dispepsia), irritación de piel y ojos, y, en casos extremos, daño hepático, cardiovascular y neurológico. Los niños son especialmente vulnerables, con riesgos no carcinogénicos más altos que los adultos (Hossain et al., 2023).

Si bien este problema es común en los AA.HH., se requiere buscar soluciones que conlleven a la disminución del hierro para mejorar la calidad del agua que se brinda a la población y mejor las condiciones sanitarias.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Problema general

- ¿Cuál es la efectividad de aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?
- ¿Cuál es el área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?
- ¿Cuál es el tiempo de retención que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la efectividad de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

- Determinar el área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.
- Determinar el tiempo de retención que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

CAPITULIO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

García (2022), evaluó la electrocoagulación como método para la remoción de hierro en fuentes de abastecimiento de Zamorano. Para ello, diseñó y construyó un reactor de electrocoagulación con una configuración que permitió tratar 10 litros de agua en 35 minutos, con un distanciamiento de 3 cm entre placas y una densidad de corriente de 1.5 mA/cm². Se determinó que el tratamiento alcanzó eficiencias de remoción de hasta un 98% cuando la concentración inicial de hierro era de 6.54 mg/L. Asimismo, se compararon las eficiencias de remoción en dos fuentes de abastecimiento con características distintas, sin encontrarse diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Resende et al. (2021), investigaron la síntesis de nanocompuestos magnéticos a base de hierro y su aplicación en procesos de adsorción para el tratamiento de agua. Estas síntesis se llevaron a cabo en una celda tipo estanco y en una celda de flujo con recirculación, utilizando electrodos de hierro sumergidos en una disolución acuosa de 0.04 M NaCl a temperatura ambiente. En la celda tipo estanco, se emplearon dos electrodos de hierro y se aplicó una corriente de 22 mA/cm² sobre el electrodo de trabajo. Se concluyó que los nanocompuestos magnéticos presentaron propiedades superparamagnéticas, siendo las estructuras núcleo-capa las que lograron la

mayor magnetización, con un valor de 65 emu/g. No obstante, se destacó la escasez de investigaciones sobre los impactos tóxicos de estas nanopartículas en el medio ambiente.

Wan y Tang (2021), evaluaron la aplicación de catalizadores tipo Fenton basados en hierro para el tratamiento de agua, centrándose en su preparación, caracterización y modificación. Se evidenció que la reacción tipo Fenton, que emplea catalizadores sólidos en lugar de Fe^{2+}, ha despertado un interés creciente. En particular, los catalizadores basados en hierro recibieron mayor atención debido a su abundancia en la Tierra, biocompatibilidad, baja toxicidad y fácil disponibilidad.

Zeng et al. (2021), estudiaron la eliminación de arsénico (V) mediante nanopartículas magnéticas núcleo-cubierta, sintetizadas a partir de residuos de tratamiento de agua con alto contenido de hierro. Tanto el núcleo magnético (FC) como la capa amorfa de óxido de hierro fueron elaborados a partir de estos residuos, conocidos como lodos de hierro. El análisis BET determinó que la superficie específica del FCF fue de 122.7 m^2/g, lo que favoreció la adsorción de arsénico (V). Además, se encontró que la eficiencia de adsorción del FCF fue elevada en un amplio rango de pH, entre 3 y 9.

Odio et al. (2020), desarrollaron un estudio sobre la ingeniería de superficie en óxidos de hierro nanoestructurados para la remoción de contaminantes en el agua. Se estableció que la funcionalización de óxidos nanoestructurados de hierro con ligandos orgánicos permitió el diseño de materiales híbridos inteligentes, con aplicaciones en adsorción y separación magnética de metales pesados. Asimismo, se concluyó que un control

preciso de la naturaleza y composición de los ligandos posibilitó la optimización de la selectividad y la eficiencia de remoción para contaminantes específicos.

Fadillah et al. (2020), analizaron los nanocompuestos magnéticos de óxido de hierro/arcilla para su aplicación en procesos de adsorción y oxidación catalítica en el tratamiento de agua. Se llevó a cabo la síntesis de nanopartículas de hierro con propiedades superparamagnéticas, estabilizadas con ácido esteárico, y se realizaron diversas caracterizaciones mediante técnicas espectrofotométricas, termogravimétricas y de transmisión electrónica. Se evidenció que la presencia de un emulsificante fue determinante para la estabilización de la fase del óxido de hierro, ya sea maghemita o magnetita, con propiedades magnéticas. Además, se destacó que la adsorción es un método atractivo por su simplicidad y bajo costo, siendo ampliamente utilizado en tratamientos industriales. Los nanocompuestos magnéticos de óxido de hierro fueron reconocidos por su estabilidad, alta capacidad de adsorción y facilidad de recuperación en comparación con los sorbentes convencionales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Bonilla (2025), el evaluó el índice de la calidad de agua vertida de la minera Pozo Rico de la provincia de Yanahuanca departamento de Pasco, 2021. Esta investigación utilizó una técnica cuantitativa y fue observacional, prospectiva, transversal y descriptiva. Finalmente, encontramos que, de acuerdo con ECA I y III, el potencial de oxígeno disuelto y las características físicas del hidrógeno se encuentran dentro del rango normal. Se encuentran

dentro del rango típico de ECA I y III para los siguientes parámetros químicos: plomo, arsénico, hierro, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, fósforo, sólidos disueltos totales, aceites y grasas, demanda química de oxígeno, cloruros y sulfatos. Del mismo modo, los coliformes fecales cumplen con el ECA de la categoría III. Siendo estos parámetros significativos con un p-valor < 0,05. Llegando a la conclusión que el índice de calidad del agua vertida es adecuado.

Castillo et al. (2022) analizaron la calidad del agua subterránea durante la pandemia por Covid-19 en la Universidad Nacional de Trujillo. Dado que dicha pandemia ha originado cambios importantes en las características de los ecosistemas y medio ambiente. La metodología fue de carácter descriptiva, exploratoria, de campo, transversal. Basada en los postulados de: DIGESA (2011), OMS (2006), Galdos-Balzategui, et al (2017), entre otros. Para el estudio fueron utilizados los parámetros físico-químicos de control, el multiparámetro HANNA modelo HI 9829, se tomaron dos muestras semestrales durante el año 2020 y dos repeticiones en dos pozos de agua y un baño. Dichos análisis fueron realizados en los laboratorios de la Facultad de Ciencia Biológicas, cuyos resultados fueron comparados con las normas vigentes, indicando que el agua utilizada para consumo humano, en los parámetros de olor y sabor, en las tres estaciones, presentan valores aceptables; sin embargo, el agua del pozo de almacenamiento central, no reúne las condiciones de salubridad y representa para la salud de las personas un riesgo. Se recomienda implementar políticas de control y monitoreo de la calidad del agua en la Universidad Nacional de Trujillo.

Barriga et al. (2022), estudiaron los parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua subterránea y superficial en la zona de influencia de una cantera de yeso en el Perú. La evaluación se realizó en base a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para agua aprobados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, específicamente para la Categoría 3 - D1 (riego de vegetales) y para la Categoría 3 - D2 (bebida de animales). Para el análisis de la calidad de agua subterránea se muestreó 1 punto correspondiente a un pozo artesanal ubicado en la zona de La Alameda. Para el análisis de agua superficial la red de muestreo se realizó en manantiales, flujo superficial y estancamiento de agua, que se encontraron en dos zonas, dentro de la concesión en estudio y alrededores. Para determinar la fiabilidad del análisis químico, se realizó un balance iónico de los principales cationes y aniones disueltos. Además, para caracterizar las aguas superficiales, se utilizaron el Diagrama de Piper y el Diagrama de Stiff, resultando la predominancia de aguas sulfatadas cálcicas. Las aguas subterráneas resultaron ser ligeramente ácidas y las aguas superficiales ligeramente alcalinas con valores significativos de concentración de sulfatos.

Valenzuela y Yucra (2022), evaluaron la calidad del agua subterránea del Parque Industrial Taparachi, ubicada en el distrito de Juliaca del departamento Puno, mediante la evaluación de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra de agua subterránea evaluados fueron: color, turbidez, pH, conductividad, TDS, cloruros, sulfatos, dureza total, metales totales (aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, plomo, antimonio, selenio y zinc) y coliformes

totales. Los resultados de los parámetros del agua subterránea de pozo fueron comparados con la normativa de la calidad de agua D.S. N°031-2010-SA, donde los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites máximos permisibles, a excepción de la dureza total con un valor de 573 mg/L, así mismo el arsénico con un valor de 0.040 mg/L y coliformes totales 2 NMP/100mL, por tanto el agua subterránea de pozo del Parque Industrial Taparachi no cumple con los estándares que establece la norma sobre la calidad del agua, en consecuencia el agua no es apta para consumo humano, se recomienda el uso de filtros en la zona para reducir dichos niveles superiores a la norma.

2.1.3. Antecedentes locales

Torres y Pinchi (2023) evaluaron la calidad del agua de consumo humano en las comunidades nativas de Santa Rosa, Dulce Gloria y Koshireni, ubicadas en el distrito de Yurúa, Ucayali, durante el año 2020. El estudio fue de tipo aplicado, descriptivo y no experimental, con un enfoque cualitativo y cuantitativo, e incluyó trabajos tanto de laboratorio como de campo. Se recolectaron seis muestras de agua de los ríos Yurúa y Breu en épocas de vaciante y creciente, siguiendo la metodología establecida en el protocolo de procedimientos para toma de muestras, prevención, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano, así como los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Los resultados evidenciaron que varios parámetros físicos y químicos del agua consumida por la población de estas comunidades excedían los límites establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Entre ellos, se encontraron valores superiores a los permitidos para color (15 mg/L), demanda química de oxígeno (10

mg/L), oxígeno disuelto (>6 mg/L), turbiedad (5 UNT), aluminio (0,9 mg/L), hierro (0,3 mg/L) y manganeso (0,4 mg/L).

Guimaraes (2022), el objetivo general fue evaluar si la calidad del agua que consume el Asentamiento Humano San Isidro es apta para el consumo humano. Así mismo los objetivos específicos fueron determinar los valores de los parámetros físicos (conductividad, solidos disueltos totales, turbiedad, pH, temperatura, cloro residual libre), parámetros químicos (aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso, selenio, arsénico, cadmio, mercurio, plomo) y parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes) del agua para consumo humano y compararlos con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano. El tipo de estudio fue descriptivo, no experimental del tipo transeccional. Se recolectaron 10 muestras de agua provenientes de la salida de la infraestructura del reservorio y 2 viviendas (vivienda intermedia y vivienda más alejada), utilizando los procedimientos establecidos en el Protocolo de procedimientos para toma de muestras, prevención, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano y el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. El análisis de los resultados consistió en encontrar una media aritmética para los parámetros físicos y microbiológicos, excepto para los parámetros químicos. Los resultados obtenidos demostraron que el valor del parámetro físico: cloro residual libre no cumple con el valor del límite máximo permisible por ser menor de 0.5 mg/L, los valores de los parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes termotolerantes no cumplen con el valor del límite máximo permisible por encontrarse por encima (haber

presencia de estos) y los valores de los parámetros químicos cumplen con los valores de los límites máximos permisibles. Se concluye que el agua que suministra la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) San Isidro a la población no cumple con los requisitos establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, por lo tanto el agua No es Apta para el Consumo Humano, poniendo en riesgo la salud de las personas.

Pinedo y Tananta (2020), el presente estudio se realizó, con el objetivo principal de evaluar la influencia del Hierro Férrico (Fe+3) presente en el agua en la salud de la población del Asentamiento Humano Nuevo Jerusalén y así poder establecer una relación de las mismas.Para ello se procedió a recolectar las muestras de los puntos establecidos para el muestreo del agua en AA. HH. Nuevo Jerusalén, por 3 repeticiones cada 15 días y posterior a cada recolección efectuar los análisis respectivos. Así mismo se realizó una encuesta al azar en la población que se abastecen del agua de los pozos del asentamiento humano para poder determinar el nivel de relación y como afecta en su salud.Los análisis físico – químicos y microbiológicos demostraron en los resultados que el agua no es apta para consumo humano ya que se encuentran superando de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031 - 2010- SA.Respecto al Hierro Férrico las pruebas realizadas muestran que este supera los LMP del reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031 - 2010- SA., donde el valor más alto es 2,2 mg/L Fe+3 para el punto de muestreo Pozo N° 2.En cuanto referente a la salud de la población se determinó mediante el test que el 86,1% de la

población presento algún síntoma referente al consumo del agua, siendo la infección intestinal la más frecuente (32,3%).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Magnetismo

El campo magnético se define como la influencia que determinados materiales o partículas experimentan al verse sometidos a una fuerza de atracción o repulsión dentro de su entorno. Esto significa que un imán puede generar una fuerza a distancia, es decir, sin requerir contacto directo (De la Torre, 2009).

2.2.1.1. Dominios magnéticos

El campo magnético de un átomo individual de hierro es tan fuerte que las interacciones entre átomos adyacentes provocan que grandes grupos de ellos se alineen. A estos grupos alineados se les denomina dominios magnéticos, los cuales están compuestos por miles de millones de átomos. Los dominios son microscópicos y existen numerosos en un cristal de hierro. Al igual que los átomos dentro de los dominios, los propios dominios pueden alinearse entre sí. Las aleaciones de hierro muestran comportamientos distintos: el hierro suave es más fácil de magnetizar que el acero, lo que favorece el alineamiento de todos los dominios en el hierro común (NODO, 2022).

Figura 1.

Trozos de hierro en etapas de magnetización sucesivas



2.2.1.2. Magnetismo de los materiales

Los imanes más comunes se fabrican a partir de aleaciones que contienen hierro, níquel y cobalto en diversas proporciones. Al pasar un campo magnético externo a través de un material, los dominios magnéticos tienden a alinearse con el campo externo, dependiendo de si el material es ferromagnético, paramagnético o diamagnético (NODO, 2022).

Ferromagnetismo: Este fenómeno físico se caracteriza por el ordenamiento magnético de los momentos magnéticos de una muestra en la misma dirección y sentido, de forma espontánea o en presencia de un campo magnético externo. Los materiales ferromagnéticos pueden formar imanes permanentes o

temporales al ser expuestos a un campo magnético exterior, que orienta sus dominios en la misma dirección que el campo.

Paramagnetismo: El paramagnetismo es una propiedad de ciertos materiales (como aire, aluminio, magnesio, uranio, entre otros), en los cuales los dominios magnéticos se orientan levemente en la dirección del campo magnético externo, lo que les otorga propiedades magnéticas similares a las de un imán.

Diamagnetismo: El diamagnetismo es una propiedad de materiales como bismuto, mercurio, cobre y plata, cuyos dominios magnéticos se orientan en dirección contraria al campo magnético externo, lo que les otorga propiedades magnéticas opuestas a las del campo aplicado.

2.2.1.3. Tipos de imágenes

Los imanes se pueden clasificar de la siguiente manera: (NODO, 2022)

Naturales: Son aquellos imanes que poseen propiedades magnéticas de forma natural, sin ningún tipo de manipulación. Un ejemplo de estos es la magnetita, que es el imán natural más conocido.

Artificiales: Son creados por el ser humano mediante la formación de aleaciones de materiales como hierro, níquel y cobalto, entre otros. Los imanes artificiales se dividen en dos tipos:

Temporales: Poseen una atracción magnética de corta duración.

Permanentes: Mantienen sus propiedades magnéticas durante un largo período de tiempo.

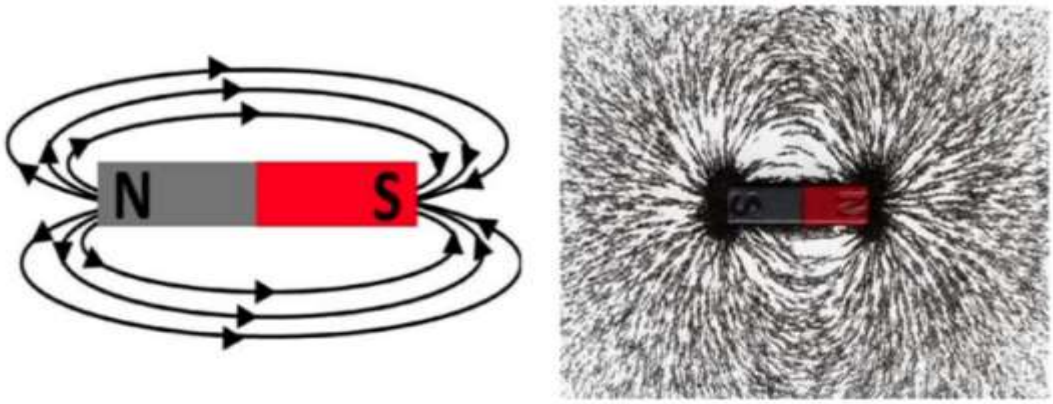
Electroimanes: Estos imanes están formados por materiales metálicos que adquieren propiedades magnéticas cuando una corriente eléctrica circula a través de ellos.

2.2.1.4. Campo magnético

Un imán consta de dos polos, un polo es llamado polo que busca al norte ya que apunta hacia el norte; y el polo opuesto se llama polo que busca al sur ya que apunta hacia el sur, de manera simple se les llaman respectivamente polo norte y polo sur (NODO, 2022).

Figura 2.

Representación de los polos de un imán y su campo magnético.

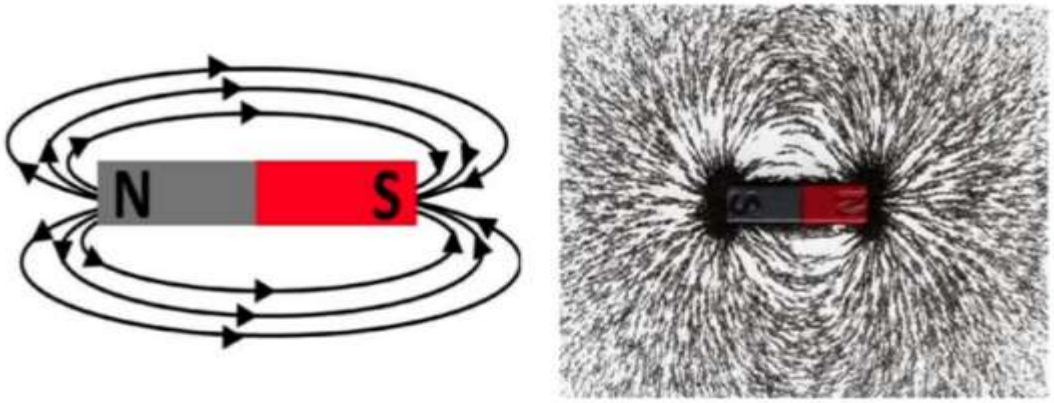


2.2.1.5. Interacción entre polos magnéticos

Los polos de un imán también siguen una ley similar a la ley de las cargas eléctricas. La ley de los polos magnéticos establece que los polos magnéticos iguales se repelen entre sí, mientras que los polos magnéticos opuestos se atraen (NODO, 2022).

Figura 3.

Representación de la Ley de polos magnéticos.



2.2.2. Hierro en el agua

El hierro es un elemento químico con el número atómico 26, lo que indica que cada átomo de hierro posee 26 protones en su núcleo. Su símbolo es Fe y está ubicado en el grupo 8 y periodo 4 de la tabla periódica, clasificándose dentro de los metales de transición. En condiciones estándar de temperatura y presión, el hierro se encuentra en estado sólido, constituyendo una parte significativa de varios minerales, aunque su forma pura es extremadamente rara (National Geographic, 2022).

En términos geológicos, el hierro es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre, precedido solo por el aluminio, y el cuarto elemento más prevalente, después del oxígeno, silicio y aluminio. En un contexto planetario, el hierro es el elemento dominante en el núcleo terrestre, dado que aproximadamente el 70% de este está compuesto por hierro en su estado fundido. Además, el hierro es el elemento más denso que puede formarse por fusión nuclear en los núcleos de las estrellas más masivas. Los elementos más pesados que el hierro solo se generan en las reacciones nucleares extremas ocurridas durante las explosiones de supernova (National Geographic, 2022).

2.2.2.1. Propiedad química del hierro

- La configuración electrónica del átomo de hierro es $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$.
- El hierro no se encuentra en estado puro en la naturaleza, sino que generalmente forma parte de diversos minerales, principalmente en forma de óxidos.
- El punto de ebullición del hierro es de 3.000 ºC, mientras que su punto de fusión alcanza los 1.536 ºC.
- El hierro es un metal extremadamente denso y duro, maleable, de color gris plateado, y presenta propiedades magnéticas.
- Los estados de oxidación más frecuentes del hierro son +2 y +3.
- En la naturaleza, el hierro se encuentra compuesto por una mezcla de cuatro isótopos estables: 56Fe (91,66%), 54Fe (5,82%), 57Fe (2,19%) y 58Fe (0,33%).
- Para obtener hierro en su estado puro, es necesario reducir primero los óxidos presentes en los minerales y luego someter el producto a un proceso de refinado para eliminar impurezas.
- Los minerales más importantes del hierro son la hematita (Fe_2O_3), la limonita ($FeO(OH)\cdot H_2O$), la magnetita (Fe_3O_4) y la siderita ($FeCO_3$).

2.2.2.2. Fuentes de hierro en el agua

El hierro presente en el agua proviene de diversas fuentes naturales y actividades humanas. Entre las fuentes naturales se encuentran la erosión y lixiviación de rocas y minerales, así como el drenaje de aguas ácidas provenientes de minas. Además, las descargas de aguas residuales industriales, ya sea por el uso del propio metal o de productos que lo contienen, contribuyen a la presencia de hierro en los cuerpos de agua. El hierro en el agua puede presentarse en dos formas: reducida (ión ferroso) u oxidada (ión férrico). Generalmente, las concentraciones de hierro en aguas continentales son inferiores a 1 mg/L, con un valor promedio de alrededor de 0.50 mg/L; sin embargo, se han registrado niveles superiores a 50 mg/L en algunas fuentes (IMTA, 2021).

Cuando el hierro se encuentra disuelto en su forma ferroso, no altera el color ni el sabor del agua. Sin embargo, al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico, el hierro se oxida y se convierte en hierro férrico, lo que provoca turbidez y un color marrón rojizo en el agua. El umbral de sabor para el hierro en el agua es de 0.3 mg/L. En concentraciones elevadas, el hierro puede interferir en el proceso de desinfección del agua, manchar la ropa, favorecer el crecimiento de bacterias del hierro, lo que genera taponamiento y corrosión en las tuberías, y alterar tanto el color como el sabor del agua (IMTA, 2021).

Las fuentes naturales de hierro y manganeso son más frecuentes en pozos profundos, donde el agua ha estado en contacto con las rocas durante periodos más largos. En las zonas mineras de carbón, estos metales también pueden originarse debido a las actividades mineras, tanto subterráneas como superficiales. El hierro y el manganeso suelen encontrarse juntos en las

aguas subterráneas, aunque el manganeso generalmente está presente en concentraciones mucho más bajas que el hierro (Swistock et al., 2023).

2.2.2.3. Efectos del hierro en la salud

El hierro es un elemento esencial para el funcionamiento adecuado del organismo de los seres vivos, representando aproximadamente el 0,004% del peso corporal humano, es decir, alrededor de 4,5 gramos de hierro por persona en promedio. La mayor parte de este hierro, aproximadamente el 65%, se encuentra en la hemoglobina, la proteína de los glóbulos rojos encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a todas las células del cuerpo a través del sistema circulatorio. Además, el hierro es crucial en la mioglobina, que es la proteína encargada de suministrar energía a los músculos. Un pequeño porcentaje del hierro, aproximadamente el 1%, se encuentra en diversas enzimas, y el resto se acumula en órganos como el hígado, el bazo y la médula ósea, donde actúa como reserva para la producción de hemoglobina (National Geographic, 2022).

El hierro, por lo tanto, es fundamental para mantener el organismo en buen estado de salud. Su deficiencia puede dar lugar a varios problemas de salud, siendo la anemia ferropénica uno de los más comunes. Entre los síntomas asociados con la deficiencia de hierro se encuentran el cansancio, la falta de energía, problemas de memoria y concentración, y debilitamiento del sistema inmunológico. Además, la falta de hierro durante el embarazo puede afectar negativamente al desarrollo cerebral del bebé, mientras que en niños puede generar retrasos en su desarrollo psicológico y problemas de atención (National Geographic, 2022).

Por otro lado, el exceso de hierro también puede ser perjudicial para la salud. Niveles elevados de hierro pueden provocar malestares como dolores estomacales y abdominales, estreñimiento, náuseas, diarrea, vómitos, inflamación de las paredes del estómago y úlceras. Asimismo, existe una enfermedad hereditaria llamada hemocromatosis, en la cual algunas personas acumulan niveles excesivos de hierro en el organismo, lo que puede resultar tóxico. Si no se trata adecuadamente, esta condición puede causar graves problemas de salud, como enfermedades cardíacas, cirrosis hepática o cáncer de hígado (National Geographic, 2022).

2.2.2.4. Efectos del hierro en el medio ambiente

En el entorno natural, el hierro desempeña un papel crucial. Por ejemplo, es esencial en el proceso de fotosíntesis de las plantas y en el crecimiento del fitoplancton marino. De hecho, el hierro actúa como un factor limitante en el desarrollo del fitoplancton, lo que llevó a los científicos, tras años de investigación, a descubrir que la fertilización con compuestos de hierro podría aumentar la producción primaria en los océanos (National Geographic, 2022).

Por otro lado, investigaciones científicas han sugerido que el hierro puede desempeñar un papel relevante en la lucha contra la contaminación y el cambio climático. Por ejemplo, en regiones con climas cálidos y alta radiación ultravioleta, el óxido de hierro, o hematita, podría contribuir a neutralizar los óxidos de nitrógeno contaminantes en la atmósfera. Además, las partículas de hierro generadas por las actividades urbanas e industriales pueden interactuar con los contaminantes atmosféricos, disolverse en ellos y fertilizar los océanos, lo que aumenta la producción primaria y favorece la captura de carbono en los mares (National Geographic, 2022).

2.2.3. Normativa de calidad de agua

El Decreto Supremo N.º 031-2010-SA aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, el cual está compuesto por diez títulos, ochenta y un artículos, doce disposiciones complementarias, transitorias y finales, y cinco anexos, cuyos textos forman parte integral de este decreto. En el anexo II, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) de Parámetros de Calidad Organoléptica, se incluye al hierro como uno de los parámetros de control, con un LMP de 0.3 mg Fe / L (MINSA, 2010).

2.3. Definición de términos básicos

Agua: El agua es un recurso vital para la vida. Entender sus características y propiedades permite una mejor comprensión de nuestro entorno (AQUAE, 2022).

Agua subterránea: Se encuentra bajo la superficie terrestre, en los huecos y fisuras del suelo, arena y rocas. Esta agua se almacena en acuíferos (rocas o sedimentos permeables que retienen agua) y puede ser extraída mediante pozos, emerger de forma natural a través de manantiales o desembocar en lagos o arroyos (Hermann y Prunes, 2022).

Hierro: El hierro es un mineral esencial para el crecimiento y desarrollo corporal, abundante en la naturaleza y clasificado como un elemento metálico (NIH, 2022).

Magnetismo: El magnetismo es un fenómeno físico en el que los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales (Endesa, 2024).

Pozos: Los pozos suelen ser construidos con acero sólido o revestimientos de plástico pesado, con ranuras que permiten el paso del agua (EPA, 2023).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología y técnicas utilizadas

3.1.1. Tipo de investigación

Este estudio se consideró como una investigación aplicada, ya que tuvo como objetivo resolver un problema específico mediante la implementación de una metodología concreta. La investigación aplicada se enfoca en solucionar cuestiones prácticas, basándose en los hallazgos y soluciones que se plantean en los objetivos del estudio (Arias, 2022). Se aplicó la metodología del magnetismo para resolver un problema como la presencia de hierro en las aguas de consumo humano.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación relacional, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para establecer relaciones causales entre variables. Este nivel permite comprobar hipótesis mediante la manipulación controlada de variables independientes y la observación de sus efectos sobre las variables dependientes, utilizando métodos estadísticos para validar los resultados obtenidos. En esta investigación se manipularon intencionalmente diferentes condiciones experimentales como el área de contacto con los imanes, el tiempo de exposición y las concentraciones de hierro en solución para evaluar su efecto sobre la remoción de hierro del agua. Estas condiciones corresponden a la variable independiente, mientras que la variable dependiente fue el cambio en la concentración de hierro. De acuerdo con Arias (2022), en el nivel experimental se busca determinar el efecto de una variable sobre otra a través de un diseño estructurado, lo cual se refleja en este estudio mediante la aplicación de

tratamientos específicos bajo condiciones controladas. Por tanto, el nivel experimental fue el más adecuado para alcanzar los objetivos planteados y validar la efectividad del uso del magnetismo en la remoción de hierro.

3.1.3. Diseño de la investigación

Es de tipo experimental, dado que se llevó a cabo diversos tratamientos considerando factores como el área de contacto con los imanes, tiempo de exposición y las concentraciones de hierro en solución. En un diseño experimental, la variable independiente corresponde al tratamiento, factor, condición o intervención que el investigador manipula o controla para evaluar su impacto sobre la variable dependiente (Arias, 2022). Para el análisis de las variables cuantitativas del estudio se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con 9 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando en total 36 unidades experimentales. De este modo se determinó las diferencias de las medias, se aplicó el método de ANOVA con pruebas de Tukey con un nivel de significancia estadística del 0.05.

Modelo estadístico.

$$\boldsymbol{Yij=\mu+Ti+\varepsilon ij}$$

Dónde:

Yij = Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima medida repetida.

u = Media poblacional de hierro

Ti = Efecto del i-ésimo tratamiento.

Eij = Error experimental o residual.

Los tratamientos para el análisis fueron los siguientes

Tabla 1

Tratamientos de investigación

Tratamiento	Aplicación de tratamiento
T1	Agua con contenido hierro aplicando 10 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 30 segundos de tiempo de retención.
T2	Agua con contenido hierro aplicando 10 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 60 segundos de tiempo de retención.
T3	Agua con contenido hierro aplicando 10 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 120 segundos de tiempo de retención.
T4	Agua con contenido hierro aplicando 30 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 30 segundos de tiempo de retención.
T5	Agua con contenido hierro aplicando 30 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 60 segundos de tiempo de retención.
T6	Agua con contenido hierro aplicando 30 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 120 segundos de tiempo de retención.
T7	Agua con contenido hierro aplicando 50 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 30 segundos de tiempo de retención.
T8	Agua con contenido hierro aplicando 50 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 60 segundos de tiempo de retención.
T9	Agua con contenido hierro aplicando 50 cm^2 de área de contacto de imanes expuesto a 120 segundos de tiempo de retención.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población del estudio fue de naturaleza experimental y aplicada, y estuvo constituida por el agua de consumo humano proveniente del sistema de abastecimiento subterráneo (pozo tubular) del Asentamiento Humano Teodoro Binder II, distrito de Callería, región Ucayali. Esta población comprende el agua desde el punto de captación (pozo tubular) hasta su distribución en las viviendas abastecidas por la red, donde la concentración de hierro puede variar por efectos del transporte, materiales de conducción y condiciones locales del sistema.

3.2.2. Muestra

La muestra del presente estudio estuvo conformada por dos componentes diferenciados, en concordancia con el enfoque metodológico de la investigación: una muestra para el monitoreo de la calidad del agua en campo y una muestra para la fase experimental de aplicación de magnetismo, ambas obtenidas a partir del sistema de pozo tubular subterráneo del Asentamiento Humano Teodoro Binder II.

a) Muestra para el monitoreo de hierro en el sistema de abastecimiento

La muestra para el diagnóstico de la concentración de hierro en el agua de consumo humano estuvo constituida por muestras de agua recolectadas directamente del sistema de abastecimiento, considerando el punto de captación y la red de distribución domiciliaria.

Se seleccionó un punto de muestreo en el pozo tubular subterráneo, correspondiente a la fuente principal de abastecimiento del asentamiento humano, así como puntos de muestreo en viviendas abastecidas por la red, ubicadas a diferentes distancias desde la captación (50 m, 100 m, 150 m, 200 m y más de 200 m). Esta distribución permitió evaluar la variación espacial de la concentración de hierro a lo largo del sistema de conducción y consumo.

En cada punto y rango de distancia se realizaron cuatro repeticiones, con la finalidad de reducir la variabilidad de los resultados y mejorar la representatividad de los datos obtenidos. Las muestras recolectadas fueron utilizadas para determinar la concentración de hierro mediante análisis de laboratorio y mediciones de parámetros de campo, siguiendo los protocolos establecidos para agua de consumo humano.

b) Muestra para la fase experimental de aplicación de magnetismo

La muestra para la fase experimental estuvo constituida por agua proveniente del mismo sistema de pozo tubular subterráneo, utilizada como matriz base para evaluar la efectividad del magnetismo en la reducción de la concentración de hierro bajo condiciones controladas de laboratorio.

Para esta fase se trabajó con un diseño completamente al azar, conformado por nueve tratamientos experimentales, resultado de la combinación de tres áreas de contacto del sistema magnético (10, 30 y 50 cm^2) y tres tiempos de retención (30, 60 y 120 segundos). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, generando un total de 36 unidades experimentales.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 1 litro de agua, volumen que permitió una adecuada manipulación, homogenización y análisis de la concentración inicial y final de hierro. El volumen total de agua empleada en la fase experimental fue de 40 litros, considerando agua adicional para control de calidad, calibración del sistema, enjuague del equipo y posibles pérdidas durante el procedimiento.

Las muestras experimentales fueron sometidas al tratamiento magnético en condiciones controladas, registrándose las variaciones en la concentración de hierro para evaluar la eficiencia de reducción asociada a cada combinación de área de contacto y tiempo de retención.

Figura 4.

Plano de ubicación de los puntos de monitoreo de hierro en viviendas del A.H. Teodoro Binder II



3.3. Procedimientos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Como técnica se aplicó la observación, el cual está dirigido a recolectar los datos de análisis de calidad del agua en el sistema de agua y también en el experimento de magnetismos para reducir el contenido de hierro en el agua del A.H. Teodoro Binder II.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron 2 instrumentos:

- Ficha de recolección experimental, donde se recolectó datos experimentales como el tratamiento, condiciones del área de contacto, tiempo de inicio y final, concentración inicial y final. Ver Anexo 4.

- Cadena de custodia de monitoreo del agua, esta contenía datos del punto de muestreo: código identificador, fuente de origen, descripción detallada del punto, hora y fecha de la toma de muestra, localidad, distrito, provincia y departamento, así como las coordenadas de ubicación del punto. Ver Anexo 5.

3.4. Procedimiento de la investigación

3.4.1.1. Procedimiento de monitoreo de calidad de agua

3.4.1.1.1 Ubicación de puntos de muestreo y registro de datos de campo

La ubicación de los puntos de muestreo cumplió los siguientes criterios:

Identificación: Cada punto de muestreo fue claramente identificado y marcado para garantizar su localización precisa en muestreos posteriores. Para ello, se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que registró las coordenadas en el sistema UTM y datum WGS84 (DIGESA, 2007).

Figura 5.

Toma de muestras de agua de consumo humano del pozo tubular subterráneo ubicado en el A.H. Teodoro Binder II



3.4.1.1.2. Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis

De acuerdo con (DIGESA, 2007), se siguieron las pautas indicadas en los "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales" de la 20ª edición de la American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation, publicada en 1998.

Las cuales consistieron en recolectar la muestra en recipientes rotulados, llenados a un 90% de la capacidad, además luego se agregaron los conservantes requeridos por parámetros a analizarse en laboratorio, estos se colocaron en un Cooler en cadena de frio y fueron enviados al laboratorio.

Figura 6.

Recolección y preservación de muestras



Se analizaron los parámetros de campo como pH, temperatura, y conductividad utilizando un multiparámetro, así mismo se analizó el contenido de cloro en el agua utilizando un colorímetro de campo.

Figura 7.

Medición de parámetros de campo



3.4.1.1.3. Análisis de laboratorio

Tabla 2.

Los métodos de análisis del agua en el laboratorio

Parámetros	Método de análisis
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed 2023 pH Value. Electrometric Method
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed 2023Conductivity. Laboratory Method
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24th Ed 2023Temperature. Laboratory and Field Methods
Hierro	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Fe B. 24th Ed 2023 Temperature Método de la fenantrolina
Cloro libre	SMEWW-APHA-AWW-AWEF Part 4500-Cl-G 24th Ed. (VALIDADO - Modificado) (Desarrollado en campo) 2022 Chlorine (Residual). DPD Colorimetric Method

Fuente: Estándar Métodos de Análisis de Aguas y Aguas Residuales (SMEWW) APHA, 2023.

3.4.1.2. Análisis de hierro en agua por el método de colorimetría por fenantrolina

El método 3500-Fe B. Método de la fenantrolina, que se presenta en el Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (APHA,2024). El método consiste en la disolución del hierro, este se reduce al estado ferroso mediante el ácido e hidroxilamina y se trata con 1,10-fenantrolina a un pH de 3,2 a 3,3. Tres moléculas de fenantrolina que forman quelatos con cada átomo de hierro ferroso para formar un complejo de color naranja rojizo. La solución coloreada obedece a la ley de Beer. Se toma 10 ml de muestra y se introduce en un vial cerrado, luego se agrega el reactivo para hierro, se agita vigorosamente por un (1) minuto se deja reposar de 1 a 5 minutos, se compara a contra luz el color con el disco colorimétrico y se anota la concentración de compasión.

Figura 8.

Determinación de hierro con kit de análisis



3.4.1.3. Determinación de la fuerza de atracción de imanes

El método de análisis de fuerza de imanes, se determina mediante el campo magnético que produce con respecto a la fuerza atracción que produce el imán a lo largo de su eje x. Donde se colocó los imanes con respecto un eje x (Vertical), se midió según la distancia la fuerza que genera, así determinando el campo magnético y la fuerza de atracción. Obteniendo los siguientes datos.

Se colocó en un péndulo o grúa una balanza colgante, que en el extremo inferior tiene uno de los imanes, bajo este se colocó una placa metálica con un área superior al del imán, luego se fue descendiendo el imán progresivamente hasta el punto máximo de contacto con la placa y se controló la fuerza ejercida.

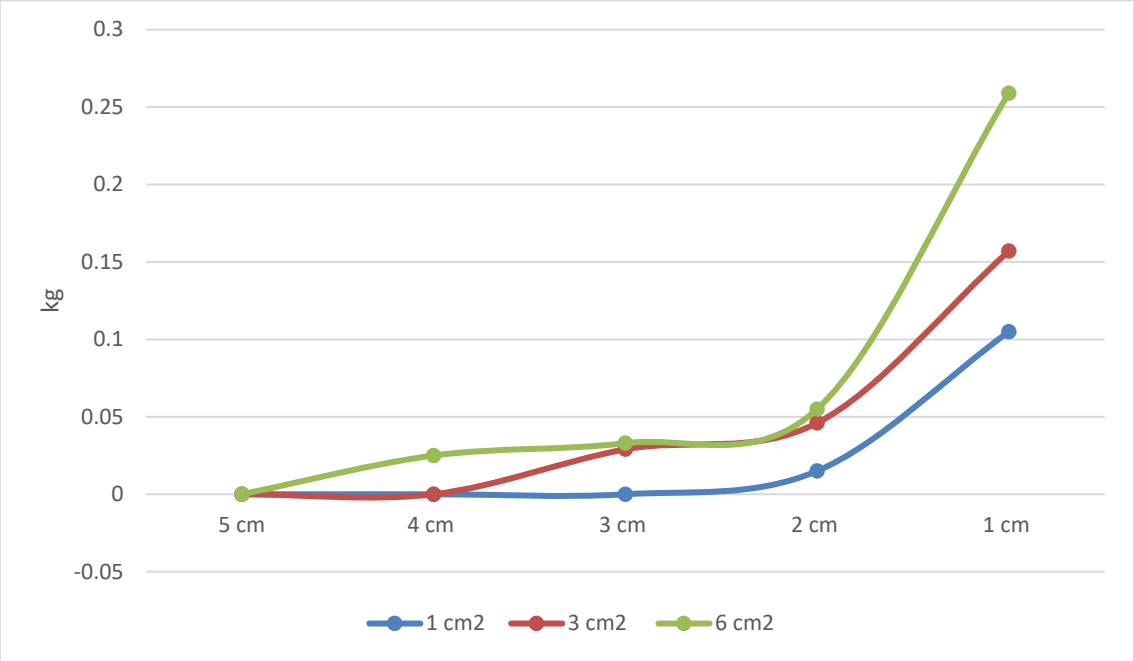
Figura 9.

Medición de la fuerza y campo de magnético del imán



Figura 10.

Grafica de fuerza y campo magnético del imán según área



Se llevo a cabo la prueba de laboratorio para determinar la fuerza y campo del imán, donde podemos afirmar que a mayor área mayor la fuerza y mayor el campo, pero este campo no crece ampliamente o significativamente según el área del imán, como se aprecia en la figura 10.

3.5. Procesamiento y tratamiento de datos

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el programa MICROSOFT Excel donde se generó la base de datos para ser graficada y post analizada mediante el programa estadístico MINITAB 19 donde se calculó las medias obtenidas y se determinó la varianza y significancia entre los tratamientos por el método de Tukey.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

Par la determinación de la concentración de hierro en las aguas de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, se realizaron análisis en diferentes puntos de la red, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.

Concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

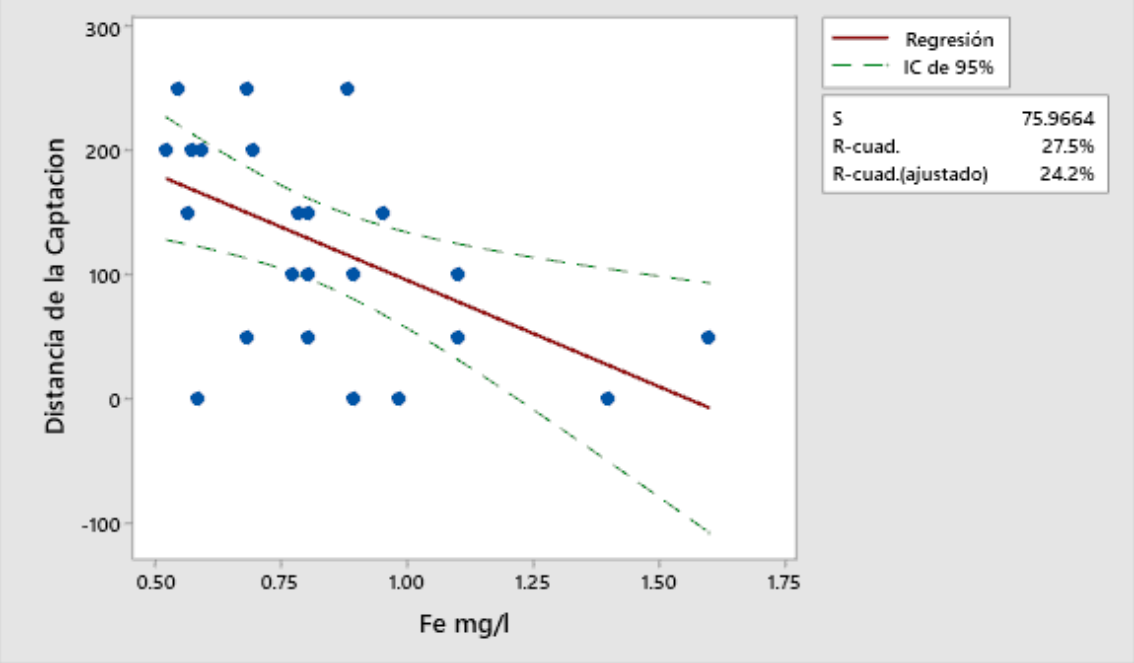
Punto de monitoreo	Fe mg/l		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Pozo tubular	1.4	0.58	0.96
Viviendas a 50 m	1.6	0.68	1.05
Viviendas a 100 m	1.1	0.80	0.89
Viviendas a 150 m	0.95	0.56	0.77
Viviendas a 200 m	0.69	0.52	0.59
Viviendas a más de 200 m	0.88	0.54	0.69

En la Tabla 3 se presenta la concentración de hierro en el agua de consumo humano proveniente del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. Se observa que la concentración promedio de hierro en el sistema de captación del pozo tubular es de 0.96 mg/l. En los diferentes puntos de distribución del sistema, los valores obtenidos son los siguientes: a 50 metros, la concentración promedio es de 1.05 mg/l; a 100 metros, 0.89 mg/l; a 150

metros, 0.77 mg/l; a 200 metros, 0.59 mg/l; y en las viviendas situadas a más de 200 metros, 0.69 mg/l. De acuerdo con estos datos, se puede inferir que la concentración de hierro disminuye en un 28% conforme se aleja del punto de captación, alcanzando un máximo de 1.6 mg/l y un mínimo de 0.52 mg/l respectivamente.

Figura 11.

Análisis de tendencia de la concentración de hierro según la distancia del sistema de abastecimiento de agua.



En la figura 11 se presenta el análisis de tendencia de la concentración de hierro en el sistema de abastecimiento de agua. Al aplicar una regresión lineal, se obtuvo un valor de R^2 de 0.275, lo que indica una relación moderada entre la distancia y la concentración de hierro. Sin embargo, la tendencia es débil, sugiriendo que a medida que aumenta la distancia, la concentración de hierro tiende a disminuir. Se observaron resultados fuera del intervalo de confianza de la regresión, lo que implica una desviación de los datos de una distribución normal. Esta variabilidad podría estar influenciada por factores externos, como

deficiencias en la instalación de las redes de agua, el tipo de suelo, la infiltración de contaminantes ferrosos debido a fallas en la red, o el aporte de hierro proveniente de conexiones metálicas (como los grifos) que contribuyen a la presencia del metal en el agua. Además, algunos de los resultados muestran un aumento en la concentración de hierro a corta distancia de la fuente, lo que sugiere la existencia de fuentes externas de hierro.

Para contrastar la hipótesis planteada, se evaluó si la concentración de hierro en el agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II supera el valor máximo permitido de 0.3 mg/L establecido en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N.° 031-2010-SA). Los resultados obtenidos mostraron concentraciones que variaron entre 0.52 y 1.6 mg/L, con un promedio general de 0.82 mg/L de hierro disuelto. El valor más alto se registró en el punto de captación (1.05 mg/L) y el más bajo en las zonas más alejadas del sistema de distribución (0.59 mg/L). Mediante el análisis estadístico con la prueba t de Student para una muestra, se comprobó que la concentración promedio de hierro es significativamente mayor que el límite de referencia. Este resultado permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, confirmando que la concentración de hierro en el agua del sistema de pozo tubular es superior a 0.3 mg/L.

Otras investigaciones respaldan la alta concentración de hierro en el agua para consumo humano, como del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, con valores promedio que oscilan entre 0.59 mg/L y 1.05 mg/L. Estos niveles superan el Límite Máximo Permisible (LMP) de 0.3 mg/L establecido según D.S. N.º 031-2010-SA para agua potable en Perú, lo que indica una problemática significativa de calidad del agua (Pinedo y Tananta,

2020). En otras regiones también presentan niveles elevados de hierro como en caso del pozo IRHS N.º 179 de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en Tacna, donde se reportaron niveles de hierro por encima de los límites permitidos, lo que llevó a la suspensión de su uso para consumo humano (Mendoza et al., 2019).

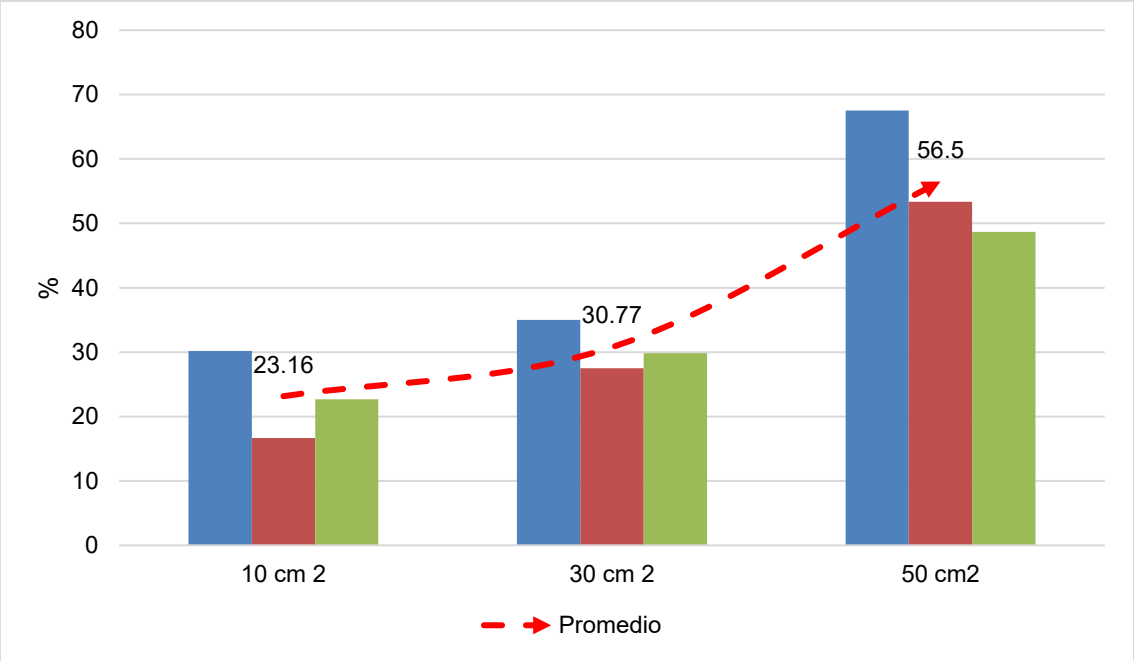
Se puede apreciar el nivel de hierro según la distancia presenta una reducción, esto es respaldado por el estudio de Guillen et al. (2021), donde indican que la variación de las concentraciones de hierro en función de la distancia desde el punto de captación, podría atribuirse a procesos de precipitación y oxidación natural del hierro al contacto con el oxígeno, así como a la interacción con los materiales de las tuberías. Sin embargo, esta disminución no garantiza que el agua cumpla con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano.

4.2. Determinación del área de contacto óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II

Para la determinación del área de contacto óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, se realizaron diferentes pruebas, el cual se presenta los resultados a continuación.

Figura 12.

Determinación del área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano en el A.H. Teodoro Binder 2024.



En la figura 12 se muestra los resultados donde se revela la reducción de hierro está directamente influenciada por el área de contacto. Con un área de 50 cm², la concentración de hierro se redujo en un 56.5%, seguida por un área de 30 cm² con una reducción del 30.77%, y finalmente, con un área de 10 cm², la reducción fue de solo un 23.16%. Como se observa en el gráfico, el mayor

porcentaje de reducción, tanto en relación con el área de contacto como con las concentraciones iniciales, se alcanzó en el área de 50 cm².

Tabla 4.

Análisis de varianza de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Área de imanes	2	7.213	3.606	1.85	0.162
Error	105	204.312	1.946		
Total	107	211.524			

En la tabla 4, se presenta el análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético. El análisis muestra un valor p de 0.162, el cual es mayor a 0.05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, que establece que todas las medias son iguales.

Tabla 5.

Comparaciones de parejas de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético.

Área de contacto	Agrupación	Diferencia de las medias	Valor p ajustado
10 cm^2 – 30 cm^2	A	-0.164	0.873
30 cm^2 – 50 cm^2	A	-0.448	0.156
50 cm^2 – 10 cm^2	A	-0.611	0.365

En la tabla 5, se presentan las comparaciones por parejas de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el área de contacto del sistema magnético. Los resultados muestran que la media de los grupos, según el área de contacto, no presenta diferencias significativas. En la comparación entre las áreas de 10 y 30 cm², se obtuvo un valor p de 0.873, lo que indica una diferencia no significativa. De manera similar, la comparación

entre las áreas de 30 y 50 cm² tuvo un valor p de 0.156, y la comparación entre las áreas de 50 y 10 cm² presentó un valor p de 0.365, ambos valores mayores a 0.05, lo que confirma lo indicado en el análisis de varianza (ANOVA) y permite aceptar la hipótesis nula, sugiriendo que todas las medias son iguales.

Los resultados muestran que, aunque el área de 50 cm² logró una reducción del 56.5% en la concentración de hierro, los análisis estadísticos (ANOVA y pruebas de Tukey) indican que no hay diferencias significativas entre las áreas evaluadas (valor p > 0.05). Este resultado permite aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna, concluyéndose que el área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano no es significativamente mayor a 20 cm².

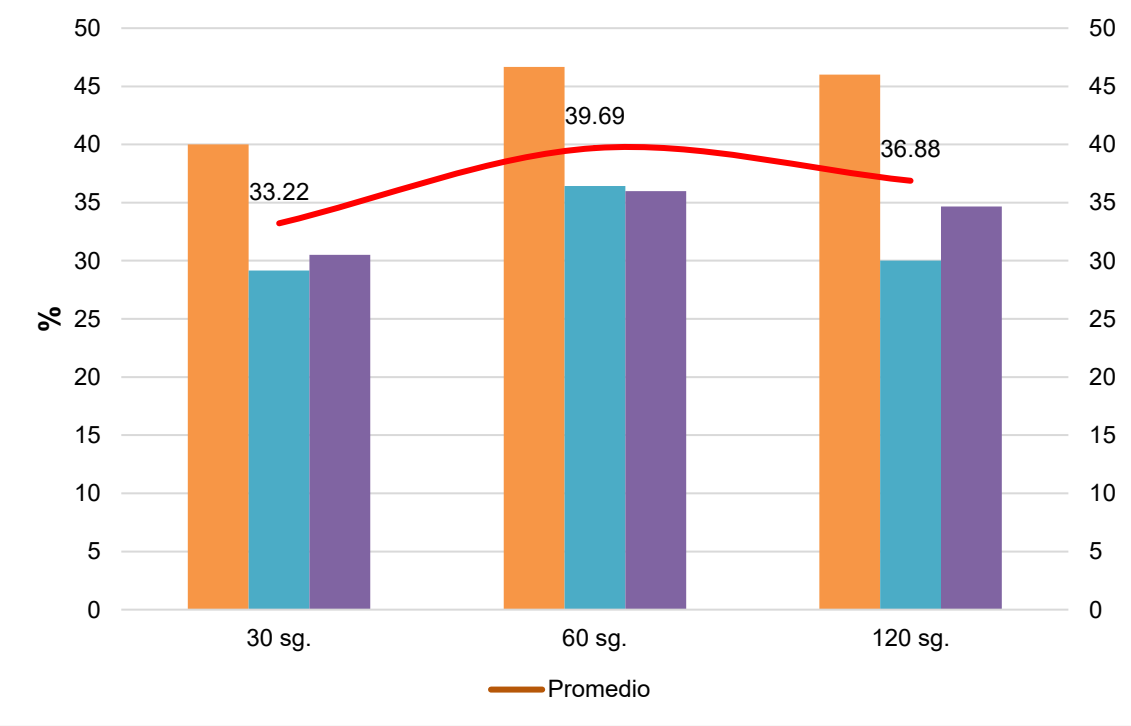
En estudios similares, se ha observado que el tratamiento magnético puede influir en la calidad del agua. Por ejemplo, Saavedra (2022), evaluó el efecto del tratamiento magnético en la cantidad de calcita en el agua potable de viviendas en la ciudad de Rioja, encontrando una reducción del 20.07% en la cantidad de sólidos incrustados tras la aplicación del tratamiento. Aunque este estudio se centró en la calcita, sugiere que el tratamiento magnético puede tener efectos positivos en la calidad del agua. Sin embargo, es importante destacar que la eficacia del tratamiento magnético puede variar según las condiciones específicas del agua y del sistema utilizado.

4.3. Determinación del tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II

Para la determinación del tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, se realizaron diferentes pruebas, el cual se presenta los resultados a continuación.

Figura 13.

Tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.



En la figura 13, se presenta el análisis del tiempo de retención óptimo para la reducción de hierro en el agua de consumo humano proveniente del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. Los resultados indican que la reducción de hierro no se ve significativamente afectada por el tiempo de retención. A los 60 segundos de contacto, la concentración de hierro se redujo en un 39.69%, mientras que, a los 120 segundos, la reducción fue del 36.88%, y

a los 30 segundos, la reducción fue del 33.22%. Como se observa en el gráfico, el mayor porcentaje de reducción en relación con el tiempo de retención y la concentración inicial se alcanzó a los 60 segundos de contacto.

Tabla 6.

Análisis de Varianza de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el tiempo de contacto del sistema magnético.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Área de imanes	2	0.299	0.1493	0.007	0.929
Error	105	211.226	2.0117		
Total	107	211.524			

En la tabla 6, se presenta el análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano, en función del tiempo de contacto con el sistema magnético. El valor p obtenido fue de 0.929, lo que es superior al umbral de 0.05, indicando que no existen diferencias significativas entre las medias. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, concluyendo que todas las medias son iguales.

Tabla 7.

Comparaciones de parejas de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano según el tiempo de contacto del sistema magnético.

Área de contacto	Agrupación	Diferencia de las medias	Valor p ajustado
30 sg- 120 sg	A	0.082	0.967
60 sg - 120 sg	A	-0.045	0.990
60 sg – 30 sg	A	-0.127	0.924

En la Tabla 7, se presentan las comparaciones de pares de Tukey de la eficiencia de reducción de hierro en el agua de consumo humano, según el tiempo de contacto con el sistema magnético. Se observa que, en las comparaciones realizadas, los valores p obtenidos fueron los siguientes: 0.967 para la comparación entre 30 segundos y 120 segundos, 0.990 para la comparación entre 60 segundos y 120 segundos, y 0.924 para la comparación

entre 60 segundos y 30 segundos. Todos estos valores son mayores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias. Este resultado confirma el análisis de varianza grupal, aceptando la hipótesis nula de que todas las medias son iguales. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula que plantea que todas las medias son iguales, y se rechaza la hipótesis alterna que sugiere que el tiempo de contacto influye significativamente en la eficiencia de reducción del hierro.

4.4. Eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II

Para la determinación de la eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, se realizaron diferentes pruebas, el cual se presenta los resultados a continuación.

Tabla 8.

Eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

Área de imanes (AI)	Tiempo de retención (TR)	Hierro		Eficiencia %	Desviación Estándar
		Inicial	Final		
50 cm^2	60 sg	2.17	1.05	66.75	13.38
50 cm^2	30 sg	2.17	1.09	53.83	14.58
50 cm^2	120 sg	2.17	1.16	47.00	10.49
30 cm^2	120 sg	2.17	1.44	32.67	9.88
30 cm^2	60 sg	2.17	1.50	31.67	10.01
10 cm^2	120 sg	2.17	157	31.00	13.03
30 cm^2	30 sg	2.17	1.62	28.00	8.52
10 cm^2	60 sg	2.17	1.71	20.67	7.59
10 cm^2	30 sg	2.17	1.78	17.83	9.47

En la Tabla 8, se presenta la eficiencia de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en el agua de consumo humano proveniente del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II. Los tratamientos, definidos por el área de imanes (AI) y el tiempo de retención (TR), mostraron variabilidad en su eficiencia. El tratamiento con mayor eficiencia fue el de 50 cm² de área de imanes a 60 segundos de tiempo de retención, con una reducción del hierro del 66.75%. Este fue seguido por el tratamiento de 50 cm² de área de imanes a 30 segundos de tiempo de retención, con una reducción

del hierro del 53.83%. En tercer lugar, se ubicó el tratamiento de 50 cm² de área de imanes a 120 segundos de tiempo de retención, con una reducción del hierro del 47.00%. El tratamiento con menor eficiencia fue el de 10 cm² de área de imanes a 30 segundos de tiempo de retención, con solo un 17.83% de reducción del hierro. Se puede observar que los tratamientos más eficientes corresponden a aquellos con mayor área de imanes, siendo predominantes los tratamientos con 50 cm². Además, el tiempo de retención influye como una variable significativa, ya que, en la mayoría de los tratamientos, el mayor tiempo de contacto mostró la mayor eficiencia.

Tabla 9.

Análisis de varianza de la eficiencia de los tratamientos magnéticos de reducción de hierro en el agua de consumo humano

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Área de imanes	8	24784	3098.0	25.58	0.006
Error	99	11990	121.1		
Total	107	36774			

En la tabla 9, se presenta el análisis de varianza de la eficiencia de los tratamientos magnéticos de reducción de hierro en el agua de consumo humano, donde el análisis con un valor p de 0.006 de significancia siendo menor a 0.05 indicando que las medias presentan una diferencia significativa estadística, rechazando la hipótesis nula que todas las medias son igual. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula que establece que todas las medias son iguales, y se acepta la hipótesis alterna, que sostiene que la aplicación de magnetismo influye significativamente en la reducción de hierro en el agua de consumo humano.

El método de aplicación de magnetismo para la reducción de la concentración de hierro en agua demostró una eficiencia máxima de 66.75%. Sin

embargo, otros estudios utilizando técnicas diferentes han reportado resultados más favorables. García (2022) evaluó la electrocoagulación como tratamiento para la remoción de hierro en las fuentes de abastecimiento de Zamorano, obteniendo eficiencias de remoción de hasta 98% cuando la concentración inicial de hierro era de 6.54 mg/L. Asimismo, Castañeda (2015) investigó el tratamiento de agua rica en hierro utilizando almidón de maíz y alumbre, encontrando que la coagulación con almidón produjo una remoción de hierro de 83%. Por otro lado, el estudio de Romero et al. (2014) analizó la remoción de hierro en agua con alta concentración proveniente del manantial La Vega, donde la concentración inicial de hierro era de 7.27 mg/L. En este caso, el método de precipitación con alumbre y cal logró una eficiencia de remoción de 98%, mientras que el método de oxidación con cloro alcanzó una eficiencia del 97%.

Además, Bracho et al. (2013), evaluaron un método piloto para la remoción de hierro en agua subterránea utilizando filtros de arena y carbón activado. Inicialmente, el contenido de hierro era de 0.3 mg/L, y este se redujo en un 33%. Pantoja (2014) aplicó electrocoagulación para la reducción de hierro en agua, reportando una eficiencia de reducción del 88.76% bajo condiciones óptimas de pH = 8.00, tiempo de 4 minutos y densidad de corriente de 30 A/m², con electrodos de aluminio. Por su parte, Polanco y Vélez (2018) evaluaron un sistema de tratamiento para la reducción de hierro y manganeso en la planta de potabilización del municipio de Santa Rosa de Osos, obteniendo un 86% de remoción de hierro mediante pre cloración gaseosa a 1.6 ppm, pH de 7.5 y dosificación de policloruro de aluminio a 8 ppm.

Estos estudios demuestran que la mayoría de los tratamientos empleados para la remoción o reducción de hierro en el agua se basan en la adición química

y filtración, métodos que son invasivos y pueden introducir contaminantes adicionales en el agua. Además, estos tratamientos afectan el componente físico del sistema de agua, generando residuos que requieren tratamientos adicionales para su eliminación. En contraste, el método propuesto basado en magnetismo no implica el uso de químicos ni componentes en contacto directo con el agua, lo que permite una remoción física del hierro, alcanzando eficiencias máximas de hasta un 80% y mínimas de un 17%, sin introducir contaminantes ni alterar las propiedades físicas y químicas del agua.

CAPITULO V

CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La eficiencia de reducción de hierro utilizando el sistema de magnetismo optima con un área de 50 cm^2 a tiempo de 60 segundos es del 66.75% con una máxima del 80% en las aguas de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.
- La concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II en promedio es de 0.96 mg/l Fe con un máximo de 1.4 mg/l Fe y mínimo de 0.58 mg/l Fe.
- El área de contacto optimo según los tratamientos fue de 50 cm^2 con una eficiencia promedio del 56.5% en la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.
- El tiempo de retención optimo según los tratamientos fue de 60 segundos con una eficiencia promedio del 39.69% en la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II.

5.2. Recomendaciones

- Realizar pruebas adicionales con diferentes intensidades de campo magnético o la combinación de magnetismo con otros métodos de tratamiento para optimizar el rendimiento.
- Continuar monitoreando la concentración de hierro en el agua de consumo humano, implementando métodos de tratamiento complementarios que reduzcan aún más la concentración de hierro,

especialmente en las muestras que superan los valores máximos permitidos de 1.0 mg/l Fe, garantizando así un agua más segura para el consumo humano.

- Explorar el uso de un área de contacto mayor a 50 cm² o la modificación de los parámetros del sistema (como la velocidad de flujo o la naturaleza de los materiales utilizados) para evaluar si se puede aumentar la eficiencia de la reducción de hierro.
- Es recomendable investigar el efecto de tiempos de retención más largos en el proceso de reducción de hierro, para ver si esto incrementa la eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

Agular Mora, G. (2020). *Determinacion del estado trofico actual de la laguna Busa Canton San Fernando Mediante Cuantificacion de la Clorofila A.* Cuenca: Universidad Politectinica de Salesiana. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19563/1/UPS-CT008897.pdf

ANA. (2018). *Metodologia para la determinacion del Indice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales .* Lima: MINAGRI.

Arevalo Cerron, C., & Condezo Panduro, J. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AA.HH ANTONIO MAYA DE BRITO, DISTRITO DE CALLERIA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI - 2015.* Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3234

Arias Gonzales, J. (2022). *Diseño y metodología de la investigación.* Mexico. Obtenido de https://blogs.ugto.mx/mdued/wp-content/uploads/sites/66/2022/10/Tipos-alcances-y-disenos-de-investigacion-paginas-66-79.pdf

Barriga Paria, Christ Jesus, Figueroa Condori, Elvis Felix, Chavez Quispe, Braynner Jheyson, Flores Arias, Jesenia Medalit, Flores Bautista, Gina Sarai, Mamani, Eladio Eugenio, Cabana Bautista, Iván Anthony, & Quispe Quispe, Ruben Freddy. (2022). Quality of surface and underground water

in the area of influence of a gypsum quarry in Peru. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 88*(2), 101-116. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2022000200101&script=sci_arttext&tlng=en

Bonilla Espinoza, Kely Rosmery. (2025). *Evaluación de la calidad de agua vertida de la minera Pozo Rico-Yanahuanca- Pasco, 2021.* Pasco: Universidad de Huanuco. Obtenido de https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5908

Castañeda Jiménez , A. (2015). *Tratamiento de agua rica en hierro con almidón de maíz y alumbre.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito. Obtenido de https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/331

Castillo Vereau, Dolores Esmilda ; Tuesta Collantes, Lurdes ; Salazar Saldaña, Seiri Eric. (2022). *Evaluación de la calidad del agua subterránea durante la pandemia por covid-19 en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8482675

Confederación Hidrográfi ca del Ebro. (2018). *Metodologia para el estableciemiento del estado ecologico segun la directiva marco del agua en la Confederacion Hidrogradica de la Ebro.* (J. de la Fuente Álvaro, Ed.) España: Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

De la Torre, F. (2009). *Accionamientos Electromagneticos.* Universidad Nacional de Rosario. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/16744/21502-19%20ACCIONAMIENTOS%20ELECTROMEC%C3%81NICOS%20Introducci%C3%B3n%20al%20magnetismo.pdf?sequence=3&isAllowed=y

DIGESA. (2007). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD SANITARIA DE LOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.* Lima: MINSA/DEPA.

Fadillah, G., Perwira Yudha, S., Sagadevan , S., Fatimah, I., & Muraza, O. (2020). Magnetic iron oxide/clay nanocomposites for adsorption and catalytic oxidation in water treatment applications. *Open Chemistry, 18*(1), 159. Obtenido de https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/chem-2020-0159/html

Gallego Maldonado, D., & Salazar Lopez, L. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE LAS MACRÓFITAS DEL HUMEDAL MEANDRO DEL SAY COMO INSUMO DE LAS HERRAMIENTAS DE CONSERVACIÓN.* Bogota: Universida Santo Tomas. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2543/2015dianagallego.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Garcia Castro , S. (2022). *Evaluación de la electrocoagulación como tratamiento para remoción de hierro en las fuentes de abastecimiento de Zamorano .* Honduras: Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/items/e330eba7-4337-4fc4-a7ac-fc51a309c493

García Murillo, P., Fernández Zamudio, R., Cirujano Bracamonte, S., & Chirino Argenta, M. (2010). *Habitantes del agua. Macrófitos.* Andalucía: Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Obtenido de https://distritoforestal.es/images/Art%C3%ADculos/1080x888/macrofitos.pdf

Ghosh, G., Khan, M., Chakraborty, T., Zaman, S., Kabir, A., & Tanaka, H. (2020). Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Scientific Reports, 10*. Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41598-020-62187-5

Gomez Rodriguez, A., Valderrama Valderrama, L., & Rivera Rondon, C. (2017). Comunidades de macrófitas en ríos andinos:composición y relación con factores ambientales. *Acta Biológica Colombiana, 22*(1), 45-58. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/3190/319050490005.pdf

Guillen-Rivas, J., Jaramillo-Cedeño, A., & Córdova-Mosquera, R. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. *Polo del Conocimiento, 6*(9), 1384-1407. Obtenido de https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3118/html?utm_source=chatgpt.com

Guimaraes Pérez, Luis Xavier. (2022). *Evaluación de la Calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano San Isidro, Callería-Ucayali, 2020.* Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de

https://repositorio.unu.edu.pe/items/ed3804df-1e2b-4fa6-b2e5-d65e583fb7c8

Hossain, M., Haque, M., Parvin, M., & Islam, M. (2023). Evaluation of iron contamination in groundwater with its associated health risk and potentially suitable depth analysis in Kushtia Sadar Upazila of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable, 21*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X23000462?via%3Dihub

IMTA. (2021). *http://atlasagua.imta.mx/*. Obtenido de http://atlasagua.imta.mx/Views/hierro.html#:~:text=El%20hierro%20presente%20en%20el,contienen%20hierro%20en%20sus%20procesos.

Khatri, N., Tyagi, S., & Rawtani, D. (2017). Recent strategies for the removal of iron from water: A review. *Journal of water process engineering, 19*, 291-304. Obtenido de https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2017.08.015

Layme Hancco, S. (2021). *Determinación del índice de estado trófico de la laguna Chacas, Juliaca 2019.* Juliaca - Peru: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Obtenido de http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/5216/T036_72325061_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Livinalli, N., Silvestre, W., Duarte, J., Peretti, I., & Baldasso, C. (2023). Study of reverse osmosis performance for manganese and iron removal from raw freshwater. *Chemical Engineering Communications, 210*(11), 1961 - 1971. Obtenido de https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00986445.2023.2169681

Magdaleno Puche , J. (2017). *Uso de nanopartículas magnéticas recubiertas con un polielectrolito catiónico como adsorbente para la eliminación de contaminantes en aguas y como sistema de estudio de la inhibición de la opsonización.* España: Universidad Miguel Hernández. Obtenido de http://dspace.umh.es/handle/11000/4154

Maldonado Patiño, D. (2019). *Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya.* Capulhuac, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/95338/Tesis%20Diana%20Karina%20Maldonado%20Pati%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mateu del, R. (2015). *Aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro a la eliminación de mercurio del agua.* Baliarica: Universitat de les Illes Balears. Obtenido de https://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/1143

Mendoza Rodas, Z. L., Paredes Chacón, O. F., & Cabrera Navarrete, M. E. (2019). Diagnóstico del estado actual y monitoreo de la calidad del agua subterránea del pozo irhs n° 179 de la ciudad universitaria - Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann De Tacna. *Ciencia & Desarrollo, 16*(1), 27-33. Obtenido de https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/349?utm_source=chatgpt.com

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). España: Gobierno de España. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-

aguas/M-L-OFM-2013_Muestreo_Macr%C3%B3fitos_Lagos_24_05_2013_tcm30-175288.pdf

Ministerio del Ambiente. (2017). Aprueban Estándares de calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones complemtarias-Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (01 de Octubre de 2021). *ppda.mma.gob.cl/*. Obtenido de https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/

MINSA. (2010). *Decreto Supremo N.° 031-2010-SA: Apruébese el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.* Lima: Ministerio de Salud. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa

Muciño Márquez, R., Aguirre-León, A., & Figueroa-Torres, M. (2017). Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica, 27*(3), 281-291. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v27n3/0188-8897-hbio-27-03-281.pdf

Mukhopadhyay, A., Ghosh, P., Jana, J., & Chatterjee, D. (2025). Arsenic and microbial contamination in drinking water wells: A field study in West Bengal, India. *Journal of Environmental Science, Health & Sustainability, 1*(1). Obtenido de https://journals.enviromindsolutions.com/index.php/jeshs/article/view/11

National Geographic. (24 de Agosto de 2022). *https://www.nationalgeographic.com.es/*. Obtenido de

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hierro-fe_18218

New York Botanical Garden. (Diciembre de 2022). *NYBG Steere Herbarium*. Obtenido de https://sweetgum.nybg.org/science/vh/specimen-list/?SummaryData=procumbens&rownum=26

Nibis Bracho, Yesenia Chacón, Francisco Hernández, Luis Vargas, & Daniel Santiago. (2013). Pilot-scale evaluation of color removal, iron, oil and grease in groundwater. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 36*(1), 53-60. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702013000100008

NODO. (30 de Marzo de 2022). *blogs.ugto*. Obtenido de https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-1-magnetismo/

Odio Chacón, O., Viltres Cobas, H., & Reguera Ruiz , E. (2020). Ingeniería de superficie en óxidos de hierro nanoestructurados para la remoción de contaminantes en agua. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias, 11*(28), 344-347. Obtenido de https://rlac.buap.mx/sites/default/files/11%20%2828%29-80.pdf

Pantoja Cadillo, Agérico. (2014). *Reducción de concentración de hierro en agua, mediante la electrocoagulación.* Callao: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1031

Pinedo Rodriguez, Alvaro Jhair y Tananta Flores, David Abilio. (2020). *Evaluación del hierro férrico (fe+3) en el agua para consumo humano y su influencia en la salud de la población del Asentamiento Humano Nuevo*

Jerusalén, distrito de Callería, región Ucayali, 2019. Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de https://repositorio.unu.edu.pe/items/7ed50014-0e0a-4d67-a338-e3ea059e4eec

Polanco Deivis, & Velez Juan. (2018). *Evaluación del sistema de tratamiento para reducción de hierro y manganeso en la planta de potabilización del municipio de santa rosa de osos - antioquia.* Santa rosa de osos - antioquia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Obtenido de https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20918/13852960.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Resende Marcelo, L., Santos de Gois, J., Araujo da Silva , A., & Vargas Cesar , D. (2021). Synthesis of iron-based magnetic nanocomposites and applications in adsorption processes for water treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters, 19*, 1229–1274. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01134-2

Romero Jairo, Cardenas Leidy, & Castañeda Amparo. (2014). remoción de hierro en agua con alta concentración del manantial La Vega. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingenieria*(94), 31-34. Obtenido de https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/2265/Remoci%c3%b3n%20de%20hierro%20en%20agua%20con%20alta%20concentraci%c3%b3n.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Saavedra Villalobos, Marco Antony. (2022). *Efecto del tratamiento magnético en la cantidad de calcita del agua potable de viviendas en la ciudad de Rioja*

- *2021.* Lima: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32194

Starbird-Pérez, R., & Montero-Campos, V. (2015). Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano. *Revista Tecnología en Marcha, 28*(3), 45-54. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822015000300045&script=sci_arttext

Swistock, B., Sharpe, W., & Robillard, P. (10 de enero de 2023). *extension.psu.edu*. Obtenido de https://extension.psu.edu/hierro-y-manganeso-en-sistemas-de-agua-privados

Torres Vela, C., & Pinchi Lino, S. (2023). *Evaluación de calidad de las fuentes de agua de consumo humano que abastece a las comunidades nativas Santa Rosa, Dulce Gloria y Koshireni, En el Distrito De Yurua, Ucayali, 2020.* Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6384

Valenzuela-Antezana, R.N. & Yucra-Limahuaya, Y. (2022). Evaluación de la calidad de agua subterránea del Parque Industrial Taparachi del distrito de Juliaca. *ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica de Ingenierías, 4*, 67-72. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Valenzuela-Antezana/publication/363284533_Evaluacion_de_la_calidad_de_agua_subterranea_del_Parque_Industrial_Taparachi_del_distrito_de_Juliaca_Evaluation_of_the_quality_of_groundwater_of_the_Industrial_Taparach

Vargas, T., Baía, C., Da Silva Machado, T., Dórea, C., & Bastos, W. (2021). Decay of Free Residual Chlorine in Wells Water of Northern Brazil. *Water, 13*(7). Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4441/13/7/992

Wan, J., & Tang, J. (2021). Fe-based Fenton-like catalysts for water treatment: Preparation, characterization and modification. *Chemosphere, 276*, 130177. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521006469

Zeng, H., Yin, C., Qiao, T., Yu, Y., Zhang, J., & Li, D. (2018). As(V) Removal from Water Using a Novel Magnetic Particle Adsorbent Prepared with Iron-Containing Water Treatment Residuals. *ACS Sustainable Chem. Eng., 6*(11), 14734-14742. Obtenido de https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.8b03270

Zeng, H., Zhai, L., Qiao, T., Zhang, J., & Li , D. (2021). Removal of As(V) by a core-shell magnetic nanoparticles synthesized with iron-containing water treatment residuals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 627*, 127074. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927757210094032

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

APLICACIÓN DE MAGNETISMO PARA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DEL POZO TUBULAR SUBTERRÁNEO DEL A.H. TEODORO BINDER II, UCAYALI-2024

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
General	General	General	Dependiente: Hierro en agua	Calidad del agua	pH (H+) Temperatura (ºC) Conductividad (us/cm^2) Solidos totales disueltos (mg/l) Oxígeno disuelto (mg/l) Hierro (mg/l)
• ¿Será efectiva la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024?	Evaluar la efectividad de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024.	La efectividad de la aplicación de magnetismo para reducir la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, Ucayali 2024, es mayor al 50% de reducción de hierro.			
Específicos	Específicos	Específicos	Independiente: Aplicación del Electromagnetismo	Área de contacto	cm^2
• ¿Cuál es la concentración de hierro en agua de consumo humano de sistema del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?	Determinar la concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II	La concentración de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, es superior a 0.3 mg/l Fe.		Fuerza magnética	g/cm^2
• ¿Cuál es el área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?	Determinar el área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II	El área de contacto que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, es mayor a 20 cm^2.		Tiempo de retención	segundos / L.
• ¿Cuál es el tiempo de retención que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II?	Determinar el tiempo de retención que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II	El tiempo de retención que se debe aplicar para la reducción de hierro en agua de consumo humano del sistema de pozo tubular subterráneo del A.H. Teodoro Binder II, es 1 minutos de contacto.			

Anexo 2: Panel fotográfico

Figura 14. Elaboración de la caja de prueba



Figura 15 Pesado de reactivo para preparación de estándares de hierro

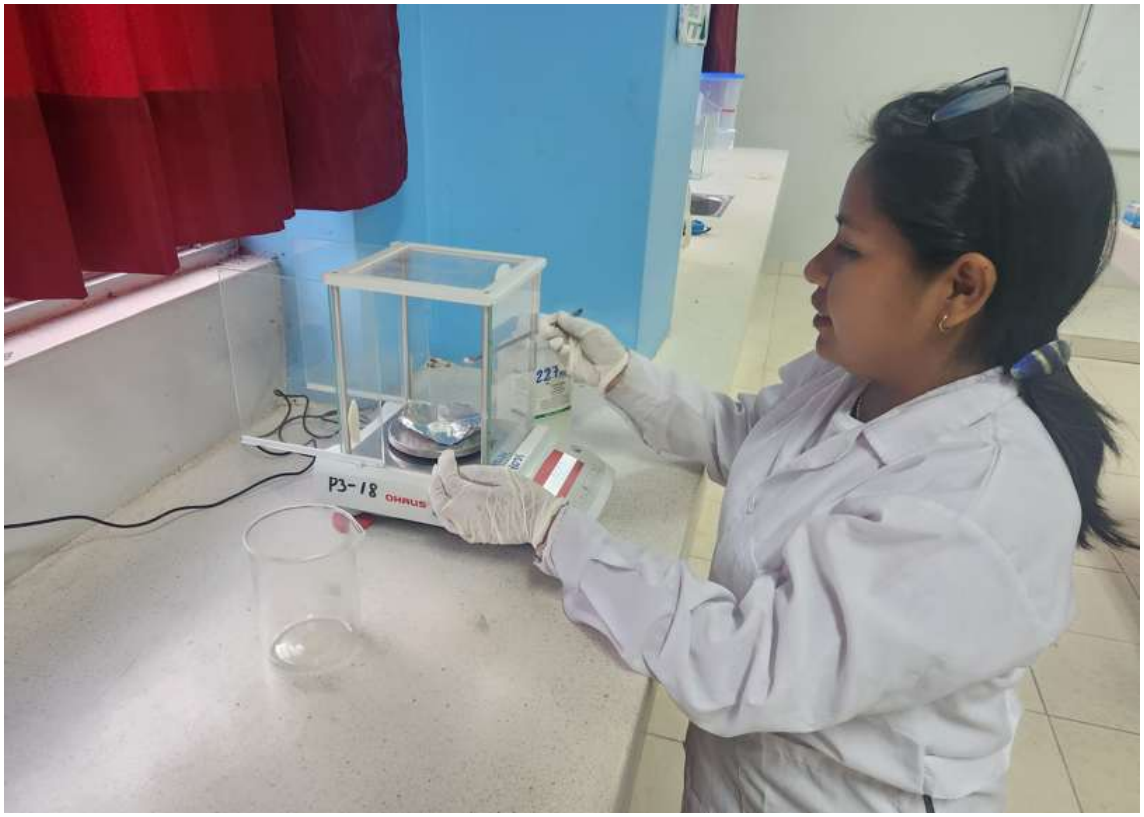


Figura 16 Ubicación del área de estudio



Figura 17 Etiquetado y rotulado de botellas de muestreo



Figura 18 Llenado de recipientes con muestra de agua



Figura 19 Recolección de muestra de agua de las viviendas



Figura 20 Medición de parámetros de campo



Figura 21 Medición de cloro en campo



Figura 22 Toma de muestra para análisis de hierro en viviendas



Figura 23 Agregado de reactivo a recipiente para análisis de hierro en viviendas



Figura 24 Determinación de hierro por color reactivo en las viviendas



Anexo 3: Análisis estadístico

HOJA DE TRABAJO 1

Análisis de regresión: Distancia de la Captación vs. Fe mg/l

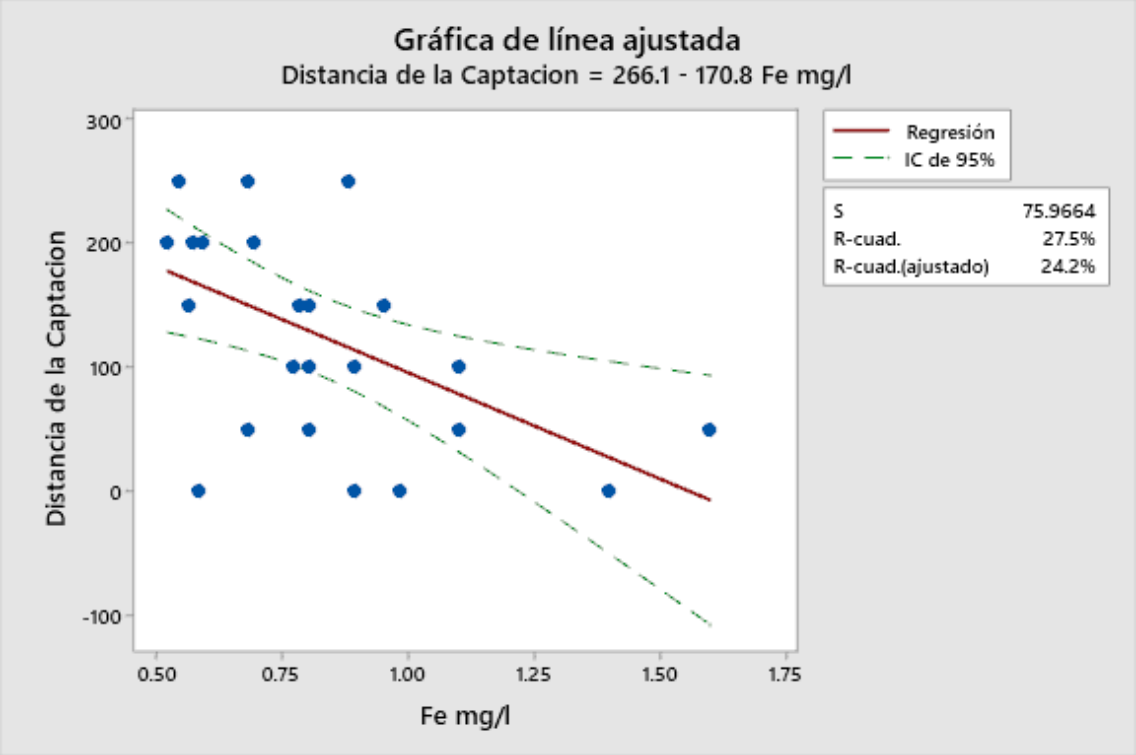
La ecuación de regresión es
Distancia de la Captación = 266.1 - 170.8 Fe mg/l

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
75.9664	27.45%	24.15%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	48040	48040.4	8.32	0.009
Error	22	126960	5770.9		
Total	23	175000			



HOJA DE TRABAJO 1

Análisis de regresión: Distancia de la Captación vs. Fe mg/l

Ecuación de regresión

Distancia de la Captacion = 266.1 - 170.8 Fe mg/l

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV

Constante	266.1	51.3	5.19	0.000	
Fe mg/l	-170.8	59.2	-2.89	0.009	1.00

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
75.9664	27.45%	24.15%	14.55%

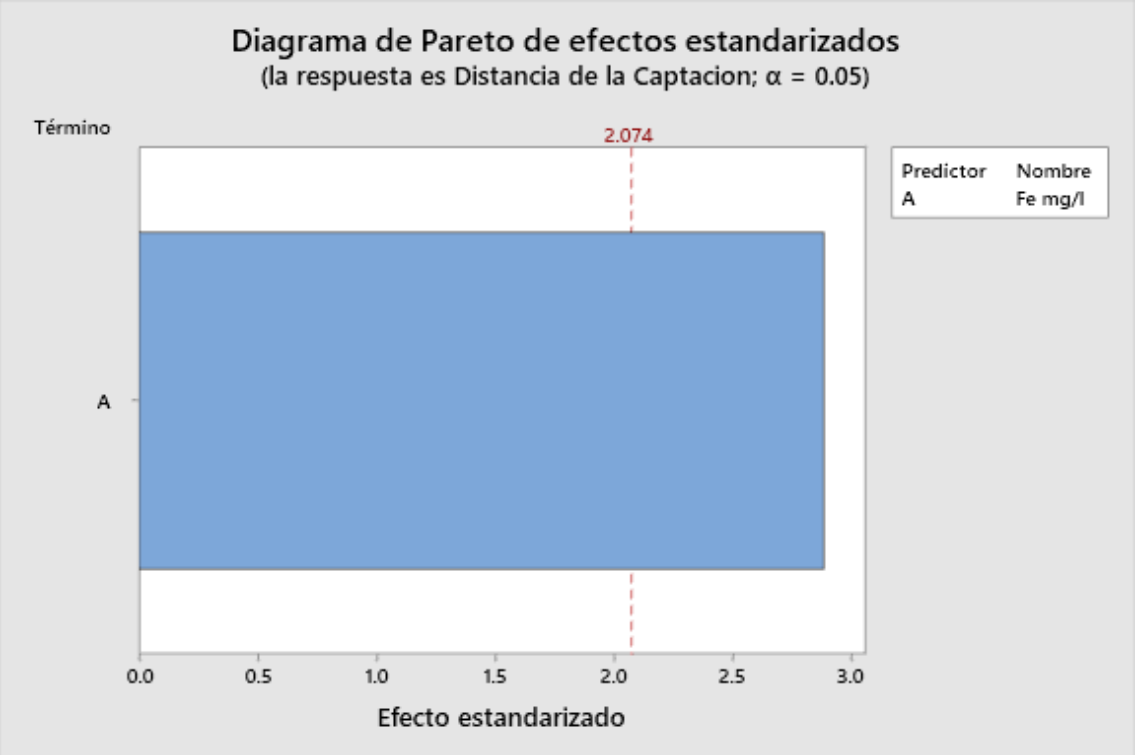
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	48040	48040	8.32	0.009
Fe mg/l	1	48040	48040	8.32	0.009
Error	22	126960	5771		
Falta de ajuste	16	89043	5565	0.88	0.614
Error puro	6	37917	6319		
Total	23	175000			

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Distancia de la Captacion	Ajuste	Resid	Resid est.	
4	0.0	167.1	-167.1	-2.29	R
7	50.0	-7.2	57.2	0.98	X

Residuo grande R
X poco común X



HOJA DE TRABAJO 1

ANOVA de un solo factor: Concentración Final de hierro m vs. Área de imanes

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	α = 0.05

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Área de imanes	3	10 cm^2; 30 cm^2; 50 cm^2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Área de imanes	2	7.213	3.606	1.85	0.162
Error	105	204.312	1.946		
Total	107	211.524			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.39493	3.41%	1.57%	0.00%

Medias

Área de imanes	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
10 cm^2	36	1.683	1.589	(1.222; 2.144)
30 cm^2	36	1.519	1.453	(1.058; 1.980)
50 cm^2	36	1.072	1.097	(0.611; 1.533)

Desv.Est. agrupada = 1.39493

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Área de imanes	N	Media	Agrupación
10 cm^2	36	1.683	A
30 cm^2	36	1.519	A

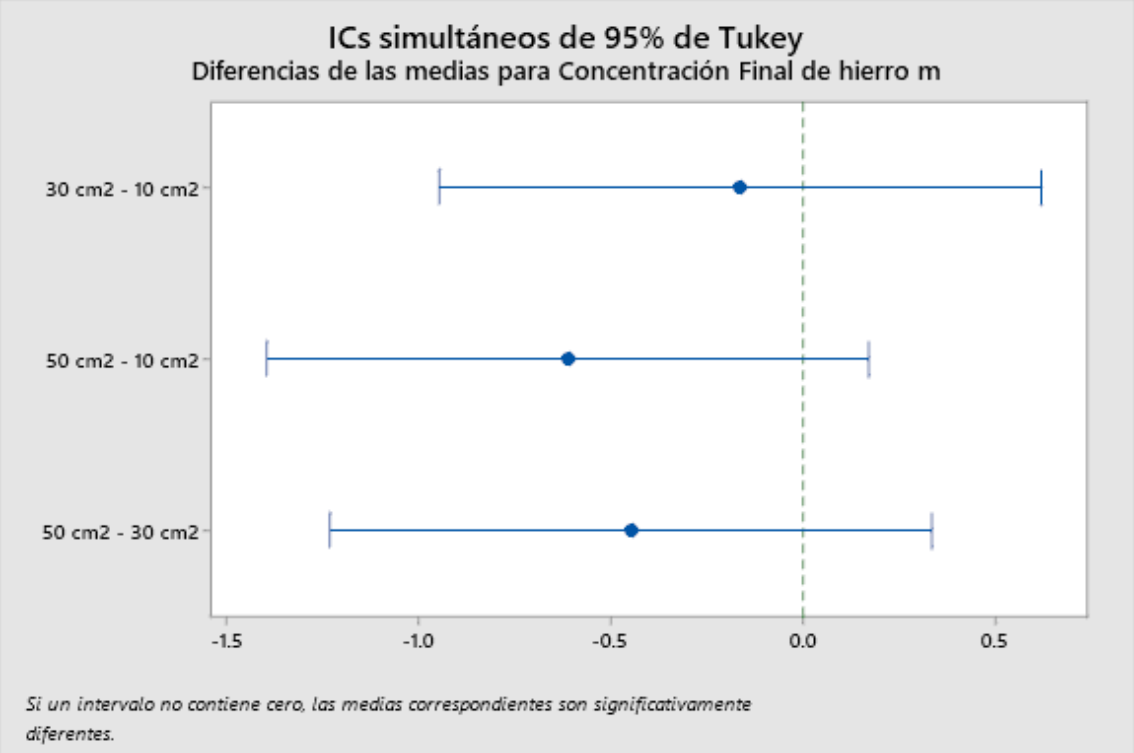
50 cm^2 36 1.072 A

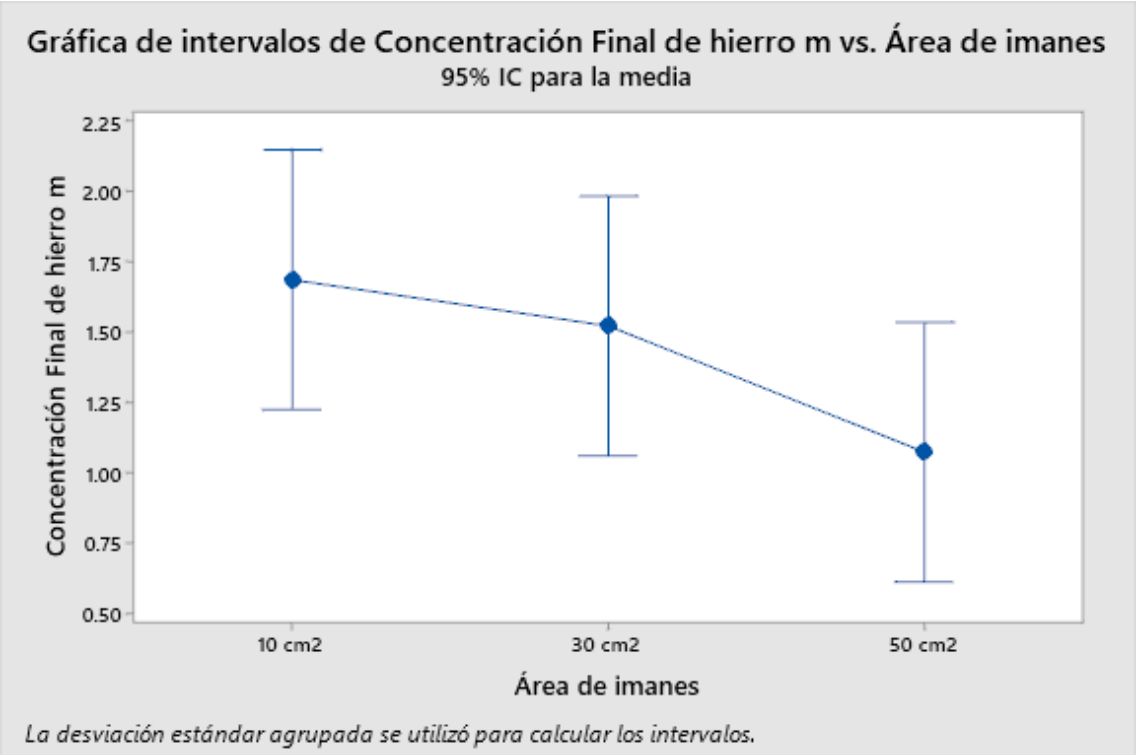
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

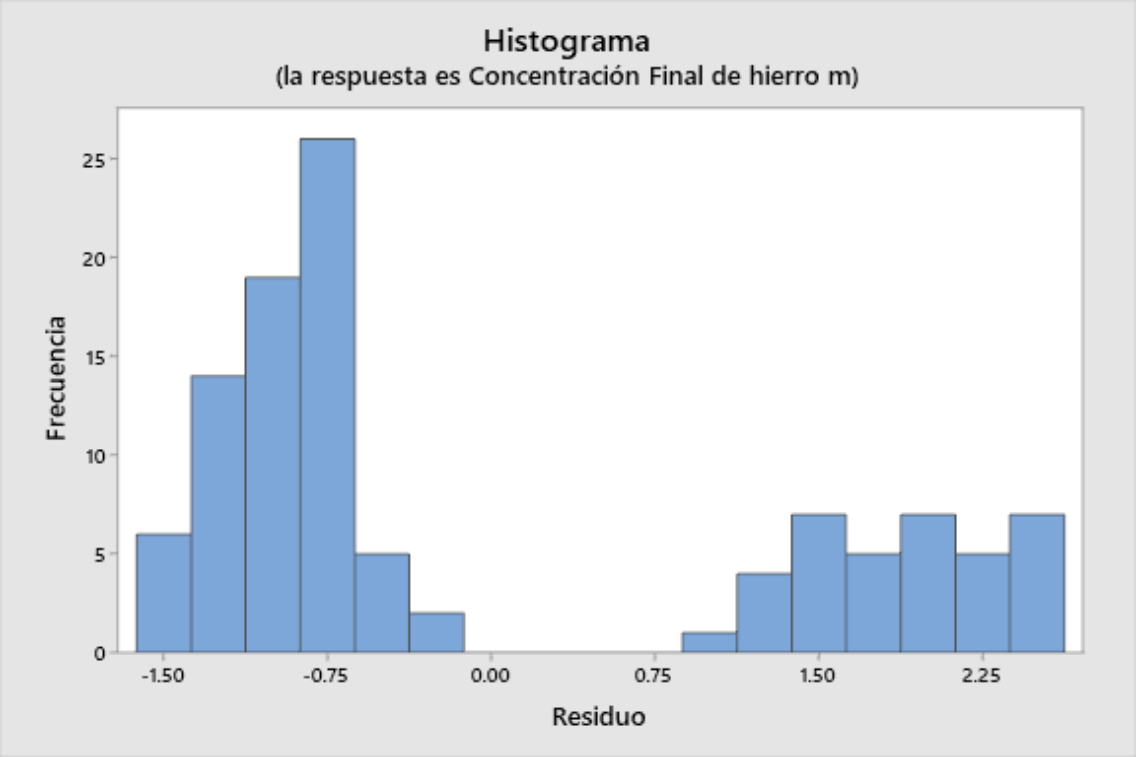
Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
30 cm^2 - 10 cm^2	-0.164	0.329	(-0.945; 0.618)	-0.50	0.873
50 cm^2 - 10 cm^2	-0.611	0.329	(-1.393; 0.170)	-1.86	0.156
50 cm^2 - 30 cm^2	-0.448	0.329	(-1.229; 0.333)	-1.36	0.365

Nivel de confianza individual = 98.07%







HOJA DE TRABAJO 1

ANOVA de un solo factor: Concentración Final de hierro m vs. Tiempo de retención

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	α = 0.05

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo de retención	3	120 sg; 30 sg; 60 sg

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de retención	2	0.299	0.1493	0.07	0.929
Error	105	211.226	2.0117		
Total	107	211.524			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.41834	0.14%	0.00%	0.00%

Medias

Tiempo de retención	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
120 sg	36	1.412	1.372	(0.944; 1.881)
30 sg	36	1.494	1.494	(1.026; 1.963)
60 sg	36	1.368	1.385	(0.899; 1.836)

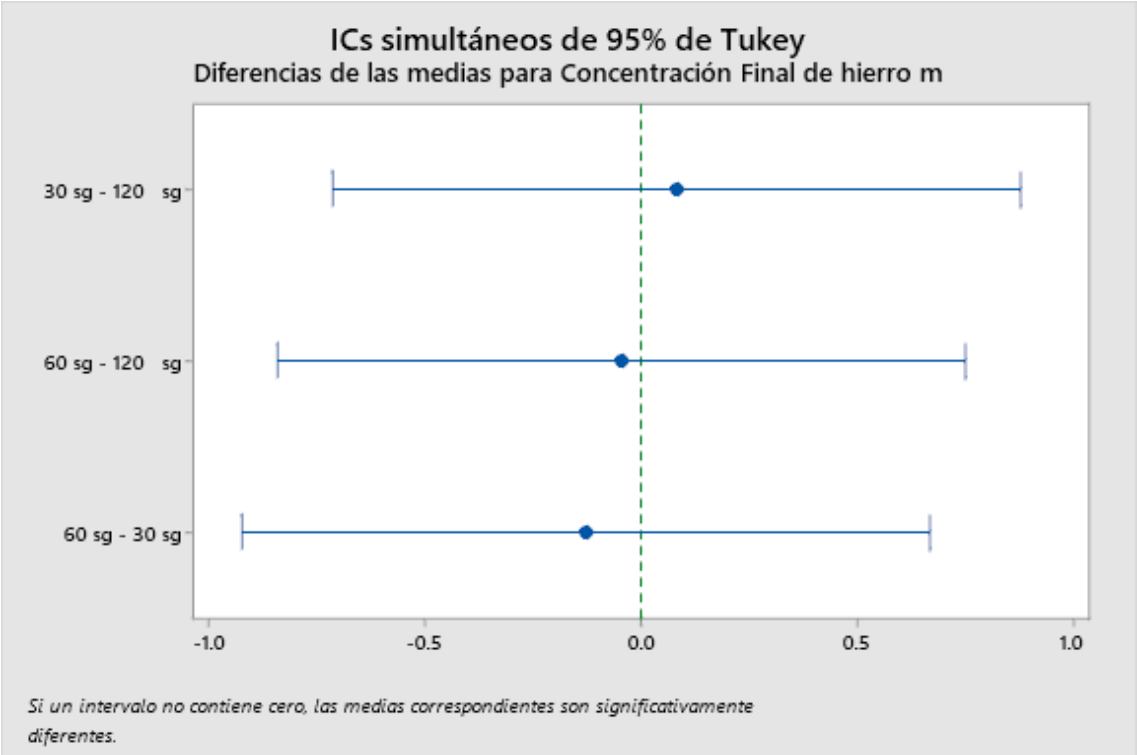
Desv.Est. agrupada = 1.41834

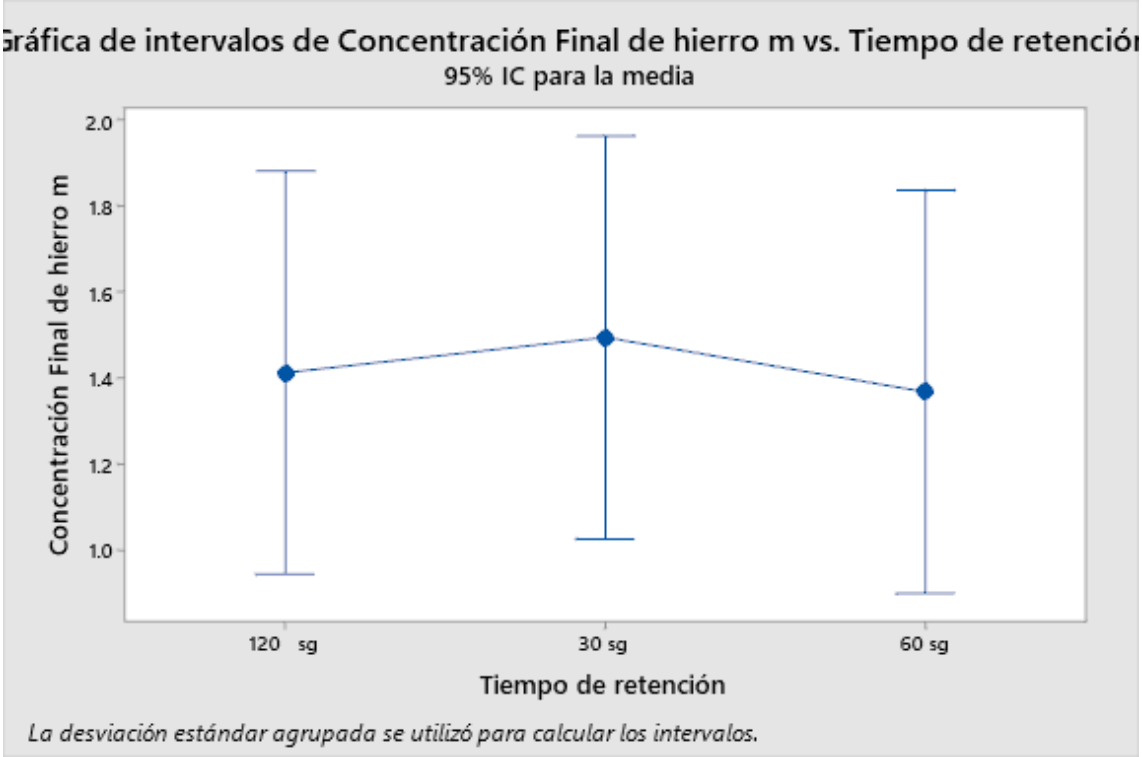
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

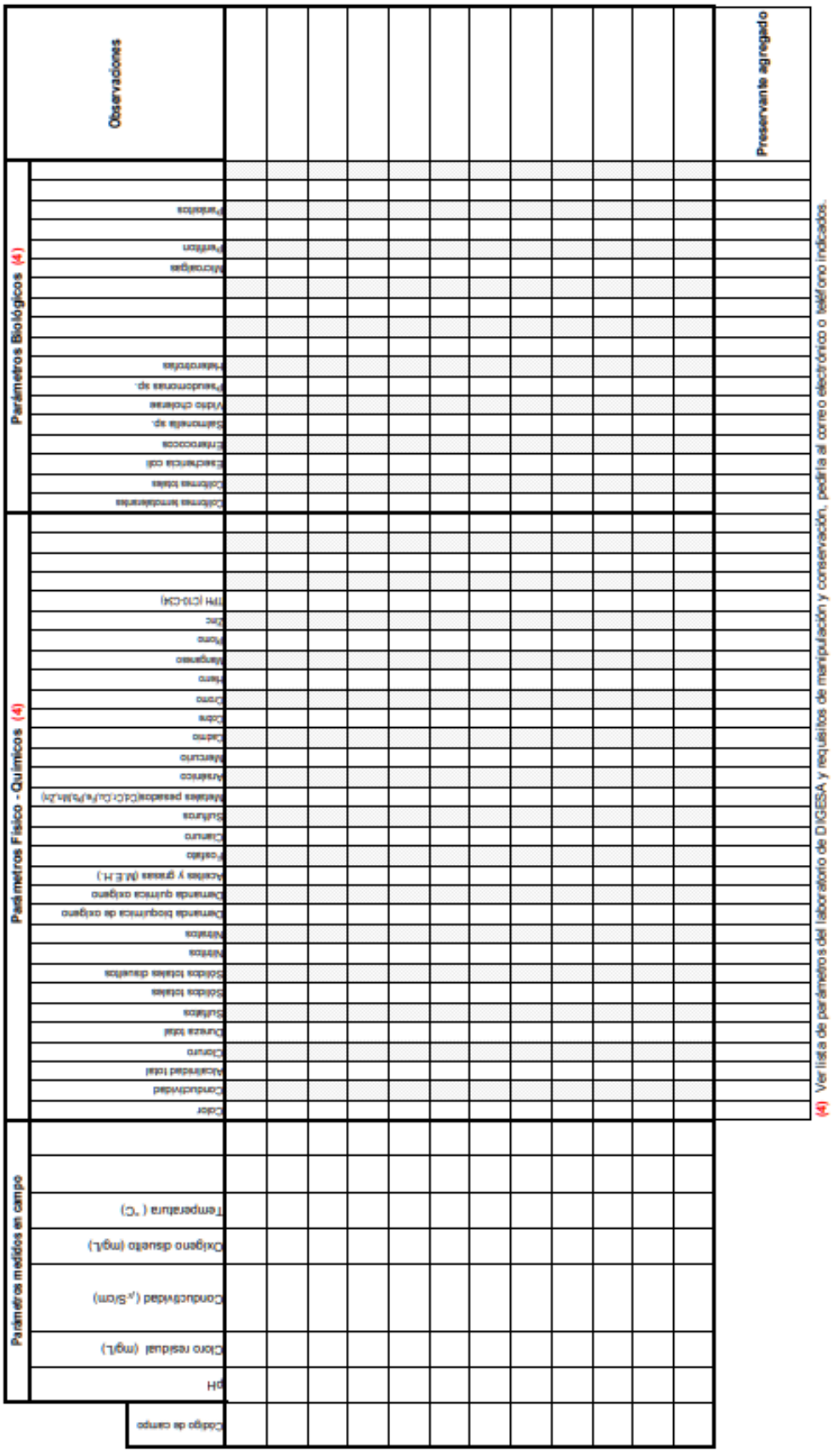
Tiempo de retención	N	Media	Agrupación
30 sg	36	1.494	A
120 sg	36	1.412	A
60 sg	36	1.368	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.


ICs simultáneos de 95% de Tukey
Diferencias de las medias para Concentración Final de hierro m
30 sg - 120 sg
60 sg - 120 sg
60 sg - 30 sg
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.


Gráfica de intervalos de Concentración Final de hierro m vs. Tiempo de retenció
95% IC para la media
Concentración Final de hierro m
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
120 sg
30 sg
60 sg
Tiempo de retención
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Anexo4: Cadena de custodia



Anexo 5: Ficha de recolección de datos de laboratorio

Datos	Resultados
Fecha	
Tiempo	
Area	
Concentración inicial de Fe.	
Concentración final de Fe.	