

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y AMBIENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**EVALUACIÓN DEL HIERRO MEDIANTE ANÁLISIS
ESPECTROFOTOMÉTRICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA
EN AGUAS SUPERFICIALES, CASERÍO LLANO GRANDE,
2025**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor: Bach. Bobadilla Barboza, Sara Beatriz

Asesor: Dr. Juan Manuel, Garay Román

**Línea de investigación: Tecnología para la gestión sostenible del territorio y los
recursos naturales**

JAÉN – PERÚ, 2025

Sara Beatriz Bobadilla Barboza

EVALUACIÓN DEL HIERRO MEDIANTE ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AG...

📄 Quick Submit
📄 Quick Submit
📍 Universidad Nacional de Jaén

Detalles del documento

Identificador de la entrega:
13457400308

47 páginas

Fecha de entrega:
14 ene 2025, 9:05 a.m. GMT-6

6405 palabras

Fecha de descarga:
14 ene 2025, 9:12 a.m. GMT-6

35.387 caracteres

Nombre del archivo:
87_AECA_EN_AGUAS_SUPERFICIALES_CASER_C_LIANO_GRANDE_2025.docx

Tamaño del archivo:
8,3 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alejandro Huasán Méza
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluídas las fuentes superpuestas, para el

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 0% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

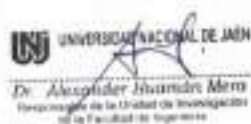
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto (0000000000000000)

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

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas de entrega, recomendamos que revise primero y lo revise.



ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 29 de diciembre del año 2025, siendo las 9:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado evaluador de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidente: Dr. Luis Arturo Gil Ramírez

Secretaría: Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

Vocal : Dr. Leonidas Varas Ponce

Informe final de tesis

Proyecto de tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"EVALUACIÓN DEL HIERRO MEDIANTE ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUA SUPERFICIALES EN EL CASERÍO LLANO GRANDE, 2025", presentado por la **bachiller Sara Beatriz Bobadilla Barboza** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

Aprobar Desaprobar Unanimidad Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (13) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 10:35 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 29 de Diciembre del 2025


Dr. Luis Arturo Gil Ramírez
Presidente


Mg. Annick Estefany Huaccha
Castillo
Secretaría


Dr. Leonidas Varas Ponce
Vocal

"AÑO DE LA ESPERANZA Y EL FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA"

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Sara Beatriz Bobedilla Barboza, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería forestal y ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74035540.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

"EVALUACIÓN DEL HIERRO MEDIANTE ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS SUPERFICIALES, CASERÍO LLANO GRANDE, 2025".

Asesorado por **Dr. Juan Manuel, Garay Román**

El mismo que presento bajo la modalidad de Informe Final de Tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 02 de Marzo 2026


Sara Beatriz Bobadilla Barboza

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	07
II. MATERIAL Y MÉTODOS	11
2.1 Geografía de la zona de investigación	11
2.2 Población, muestra y muestreo	13
2.2.1 Población	13
2.2.2 Muestra	13
2.2.3 <u>Muestreo</u>	14
2.3 Metodología	14
2.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos ...	14
2.4.1 Método	14
2.4.2 Técnica	15
2.4.3 <u>Procedimiento</u>	15
III. RESULTADOS	23
IV. DISCUSIÓN	30
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
AGRADECIMIENTO	37
DEDICATORIA	38
ANEXOS	39

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1 <i>Ubicación de fuente de agua superficial</i>	11
Tabla 2 <i>Clasificación del pH en el agua</i>	15
Tabla 3 <i>Valores típicos de conductividad eléctrica para agua</i>	17
Tabla 4 <i>Valores típicos de oxígeno disuelto para agua</i>	18
Tabla 5 <i>Interpretación valor r, coeficiente de Pearson</i>	22
Tabla 6 <i>Interpretación valor P y significancia estadística</i>	22
Tabla 7 <i>Valor pH agua caserío Llano Grande</i>	23
Tabla 8 <i>Conductividad eléctrica agua caserío Llano Grande</i>	24
Tabla 9 <i>Oxígeno disuelto agua caserío Llano Grande</i>	24
Tabla 10 <i>STD agua caserío Llano Grande</i>	25
Tabla 11 <i>LMP microbiológicos</i>	25
Tabla 12 <i>Fierro residual agua subterránea caserío Llano Grande</i>	26
Tabla 13 <i>Prueba de normalidad de datos</i>	26
Tabla 14 <i>Correlación Pearson entre Fe y pH</i>	27
Tabla 15 <i>Correlación Pearson entre Fe y conductividad eléctrica</i>	28
Tabla 16 <i>Correlación Pearson entre Fe y oxígeno disuelto</i>	28
Tabla 17 <i>Correlación Pearson entre Fe y sólidos totales disueltos</i>	29
Tabla 18 <i>Comparación de correlación entre Fe (ppm) y parámetros</i>	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1 <i>Imagen ubicación de fuente de agua superficial.....</i>	12
Figura 2 <i>Muestras de aguas bajo custodia.....</i>	13
Figura 3 <i>Muestreo de agua superficial debidamente canalizada.....</i>	13
Figura 4 <i>Fuente diaria de agua superficial caserío Llano Grande.....</i>	14
Figura 5 <i>Lectura de acidez (pH) del agua.....</i>	16
Figura 6 <i>Lectura de conductividad eléctrica en UNJ.....</i>	18
Figura 7 <i>% de correlación entre variables.....</i>	30
Figura 8 <i>Decreto Supremo N° 031-2010-SA (LMP).....</i>	40
Figura 9 <i>Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.....</i>	41
Figura 10 <i>Reporte microbiológico del agua.....</i>	42
Figura 11 <i>Reporte análisis de Fierro del agua.....</i>	43

RESUMEN

Ante la necesidad de contar con agua potable, se recurre al consumo de agua que emana de mantos freáticos subterráneos y superficiales como el agua de consumo del caserío Llano Grande, dist. La Coipa, prov. San Ignacio-Cajamarca. El objetivo evaluó la calidad del agua superficial respecto al Fe y su análisis microbiológico. Se determinó Fe mediante espectrofotometría de absorción atómica, metodología que cuantificó Fe en mg/L y comparado con los Estándares de Calidad del Decreto Supremo N ° 004-2017-MINAN. El análisis promedio de muestras arrojó pH 6.75, conductividad 300.4 μ S/cm, oxígeno disuelto 6.91 mg/L, sólidos disueltos totales 145.9 mg/L, bacterias coliformes totales: 1.4×10^2 UFC/100 mL a 35 °C y bacterias coliformes termotolerantes o fecales < 1.8 UFC/100 mL a 44.5 °C. Fe entre 0.07 y 0.12 mg/L. Existió correlación moderadamente fuerte entre Fe y pH ($r = 63.84 \%$, $p = 0.047$). La correlación entre Fe y los demás parámetros fue débil: conductividad eléctrica ($r = 39.27 \%$), oxígeno disuelto ($r = -1.55 \%$) y sólidos disueltos totales ($r = 0.06 \%$), todas sin significancia estadística. Concluyendo que el agua superficial presenta hierro dentro de los LMP para consumo humano y exhibió características favorables permite su consumo seguro.

Palabras claves: Contaminación hídrica, hidrogeoquímica, movilidad de metales.

ABSTRACT

Given the need for potable water, residents resort to consuming water from underground and

surface aquifers, such as the drinking water in the hamlet of Llano Grande, La Coipa district, San Ignacio province, Cajamarca. This study aimed to evaluate the quality of surface water with respect to iron (Fe) content and its microbiological analysis. Fe was determined using atomic absorption spectrophotometry, a methodology that quantified Fe in mg/L and compared it with the Quality Standards of Supreme Decree No. 004-2017-MINAN. The average analysis of samples yielded pH 6.75, conductivity 300.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dissolved oxygen 6.91 mg/L, total dissolved solids 145.9 mg/L, total coliform bacteria: 1.4×10^2 CFU/100 mL at 35 °C, and thermotolerant or fecal coliform bacteria < 1.8 CFU/100 mL at 44.5 °C. Fe ranged from 0.07 to 0.12 mg/L. A moderately strong correlation was found between Fe and pH ($r = 63.84\%$, $p = 0.047$). The correlation between Fe and the other parameters was weak: electrical conductivity ($r = 39.27\%$), dissolved oxygen ($r = -1.55\%$), and total dissolved solids ($r = 0.06\%$), all without statistical significance. Concluding that the surface water contains iron within the maximum permissible limits (MPL) for human consumption and exhibited favorable characteristics, it is safe for consumption.

Keywords: Water pollution, hydrogeochemistry, metal mobility

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el impacto del cambio climático en el mundo ha puesto en riesgo la seguridad hídrica de la población mundial, de manera que actualmente es muy común hablar de regiones donde simplemente no existe agua para el consumo humano, como el caso del país mexicano (Triassi *et al.* 2023). Las razones que explican esta circunstancia son diversas, una es la creciente población, otra es la falta de lluvias y prolongadas sequías o el uso de actividades mineras que exponen a sus consumidores de un serio riesgo de salud. Ante tales circunstancias se hace más recurrente el uso de técnicas hidrogeológicas con la finalidad de dotarse de aguas subterráneas y superficiales para cubrir distintas necesidades de consumo y actividades industriales o agropecuarias (Islam & Mostaf, 2024). Tautkus *et al.* (2004) investigaron hierro (Fe) en aguas naturales y minerales. Los resultados de la investigación del método (AAS) demostró que este procedimiento no se ve afectado por altas concentraciones de otros metales. Determinaron las condiciones óptimas para extraer el complejo de hierro, esto es que se retuvo como complejo Fe-8-oxiquinolina y fue extraído con cloroformo. Merrill *et al.* (2009) investigaron la concentración del hierro en aguas naturales como las superficiales y subterráneas. Mostraron preocupación por la exposición crónica al hierro a través del agua, sobre todo de agua subterránea que puede alcanzar muy por encima del límite estético definido por la Organización Mundial de la Salud de 0,3 mg/L. Evaluaron la validez de la cuantificación de hierro en agua utilizando dos instrumentos portátiles: el colorímetro portátil HACH DR/890 (colorímetro) y el kit de prueba de hierro HACH, modelo IR-18B, para 25 pozos entubados ubicados en el noroeste de Bangladesh. Islam & Mostaf (2024) investigaron las aguas subterráneas y superficiales como fuente vital de agua potable. Identificaron la contaminación de Fe, Mn y Pb en aguas subterráneas y superficiales. Los resultados arrojaron que las concentraciones de Fe, Mn y Pb en las aguas subterráneas y superficiales superaron los diferentes estándares incluidos los de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas. Concluyeron que aguas subterráneas contaminadas con Fe y Mn son en su mayoría de origen geogénico, mientras que la contaminación por Pb en las aguas superficiales es antropogénica y se deriva de los montículos de polvo de la industria, los vertidos de los gases de escape de los vehículos, las tuberías de plomo, los grifos, los accesorios y las baterías. Ali *et al.* (2019) evaluaron metales pesados en agua potable de Muzaffarabad. Recogieron cincuenta y tres muestras de agua al azar de grifos y aguas de manantial del área de

estudio, analizaron seis metales pesados (cobre, cromo, manganeso, plomo y zinc). Concluyeron que la concentración de Cu, Fe, Mn y Zn estuvo por debajo de los valores de referencia de la OMS y el GOP. El Cr y Pb superaron los valores estándar de la OMS y el GOP en un 21% (n = 11) en cada caso. En general, el 66 % de las muestras de agua se encontraron potables, mientras que en el 33 % de las muestras la contaminación por metales pesados superó el límite permisible. Bodrud *et al.* (2019) recogieron y analizaron un total de veinte muestras de agua superficiales y subterránea para pH, CE, Cu, Cd, Fe, Mn, Ni y Zn. Concluyeron que el agua subterránea es ligeramente ácida por naturaleza con una conductancia media de 686,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Asim *et al.* (2024) analizaron veinticuatro muestras de pozos al azar. Los resultados indicaron que la concentración de Pb en los pozos W6, W11, W20 y W22 fue de 0,014, 0,013, 0,02 y 0,012 mg/L, respectivamente. El Al en los pozos W5, W16 y W17 fue de 0,6, 0,5 y 0,4 mg/L, respectivamente, y la concentración de Cd en el pozo W3 fue de 0,005 mg/L. En los pozos restantes, las concentraciones de metales pesados otros metales como el hierro estuvieron por debajo de los límites de la OMS. Brindha *et al.* (2020) investigaron la presencia y las fuentes de metales traza en las aguas superficiales y el riesgo para la salud humana debido a la ingestión directa de aguas superficiales. Recolectaron muestras de 68 lugares dos veces. Los métodos hidrogeoquímicos mostraron mineralización de las aguas superficiales debido a disolución de carbonatos, meteorización de silicatos, procesos de intercambio catiónico y fuentes antropogénicas. Los coliformes fecales aumentaron en las aguas superficiales. La contaminación por nitratos y microbios por la infiltración de aguas residuales fue evidente. El Fe, Mn, Pb, Cd y el As superaron los límites de agua potable prescritos por la Oficina de Normas de la India. Triassi *et al.* (2023) revelaron que la evaluación muestra que los valores del índice de peligro (HI) para metales pesados fueron significativamente bajos en las muestras de agua superficiales. La secuencia del contenido de metales pesados en las muestras de agua superficiales fue $\text{B} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Cu} > \text{V} > \text{Se} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Concluyeron que las fuentes mixtas (naturales y antropogénicas) pueden ser responsables de la presencia de metales pesados.

A nivel nacional, el abastecimiento hídrico se ha perturbado por la explosión demográfica, la inestabilidad climática, carencias de lluvias sobre las regiones y

actividades mineras en la región nor oriental del Marañón, específicamente en Cajamarca y su provincia San Ignacio. Esta última actividad agrava la disponibilidad hídrica en cantidad y calidad del recurso hídrico, sobre todo para el consumo humano (Brindha *et al.*, 2020). Lo que obliga a la búsqueda de agua en los mantos freáticos del subsuelo y superficiales, sin importar la presencia de metales pesados disueltos en el agua, ni la concentración de estos metales como el hierro respecto a los límites máximos permisibles internacionales (OMS) o nacionales como la norma emitida por el Ministerio de Salud a través del Decreto Supremo N° 031-2010-SA. MINSA, que exige no superar los 0.3 mg Fe/L. El caso es que la sobre explotación de los acuíferos, puede acarrear contaminación del agua por vertimientos químicos extraños restándole calidad al agua para uso humano (Ali, *et al.*, 2019).

A nivel local como Cajamarca, la problemática es muy similar a lo expuesto. La población rural recurre a toda fuente hídrica para su consumo, en algunos casos se accede a quebradas de agua dulce y ante la ausencia de lluvias se recurre a fuentes de agua freáticas debajo del suelo, en algunos casos forman pequeños manantiales en otros fluyen entre las piedras. Pero en todos los casos, se hace consumo de agua sin tener controles ni registros de calidad del agua sobre la presencia de metales pesados como el hierro, el cual puede bio acumularse en el ser humano.

Así, Roman (2021) evaluó las dosificaciones de cloro residual en los caseríos de Puylucana, Alto Puylucana y Pampa Iracushco de la provincia de Cajamarca.

La investigación tuvo como finalidad categorizar la calidad del agua de consumo, respecto al nivel de concentración de hierro (mg Fe/L) presente en el agua subterránea que se utiliza actualmente para atender necesidades de primera necesidad del caserío Llano Grande en San Ignacio, Cajamarca. Debido principalmente, por el riesgo que se exponen al ingerir agua contaminada con metales pesados por la posible bio-acumulación inorgánica que se genera en el organismo humano (Ali *et al.*, 2019). En tal sentido, se hizo uso de un equipo de alta generación (espectrofotómetro de absorción atómica) de propiedad de Centro de Análisis en Suelos y Aguas – CEASA, para determinar con precisión la presencia del metal pesado hierro (Fe). De forma que se pueda conocer cuantitativamente la cantidad mg Fe/L para tranquilidad de un sector de moradores (cinco familias) que utilizan el agua superficial para cubrir sus necesidades primarias. La investigación se inició en la naciente hídrica que brota diariamente sin

interrupción entre piedras y que se halla en propiedad de la Familia Salazar Saldaña. Para conocer la inocuidad del agua consumida, se recurrió a una comparación con la normatividad del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), así se pudo tener claridad de la existencia de un posible riesgo del consumo agua sus minerales disueltos.

De tal forma que bajo este contexto se fijo como objetivo general: Evaluar la concentración de hierro por espectrofotometría absorción atómica en agua subterránea del caserío Llano Grande, 2025 y como objetivos específicos: Determinar parámetros del agua subterránea caserío Llano Grande, determinar la concentración de Fe del agua subterránea por EAA y determinar el factor de correlación existente entre el hierro y el agua superficiales del caserío Llano Grande.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Geografía de la fuente

La investigación se desarrolló sobre el agua superficial del caserío Llano Grande, en el distrito La Coipa, San Ignacio. Geográficamente, se encuentra en una región de transición entre sierra y la ceja de selva, con altitudes que oscilan entre 800 m.s.n.m y 1700 m.s.n.m. Tiene un clima cálido y húmedo, típico de zonas subtropicales. Su principal actividad económica es el cultivo de café.

Tabla 1

Ubicación de fuente de agua superficial

Puntos de localización	Coordenadas UTM	
	Sur	Oeste
1	5°25'34.17"	78°53'50.54"
2	5°26'22.15"	78°54'48.51"
3	5°24'28.19"	78°52'49.64"

Figura 1

Imagen de ubicación fuente de agua superficial



2.1 Población, muestra y muestreo

2.2.1 Población:

Fue la fuente de agua superficial ubicada en un hoyo natural en el caserío Llano Grande del distrito La Coipa, en la jurisdicción de la provincia de San Ignacio, región Cajamarca.

2.2.2 Muestra

Consistieron en 25 muestras de 250 mL cada una. Las muestras se tomaron en frascos con tapa cierre llenos sin espacios de aire. Cinco muestras se trasladaron al Laboratorio del MINSA- Jaén, 10 muestras al Laboratorio Rivelab SAC y las demás se analizaron en el Laboratorio de la UNJ.

Figura 2

Muestras aguas bajo custodia



Figura 3

Muestreo de agua superficiales debidamente canalizada



2.2.3 Muestreo

El muestreo de agua se realizó siguiendo las recomendaciones de Bodrud *et al.* (2019). Se utilizaron frascos con tapa hermética, las cuales fueron enjuagadas tres veces antes de tomar la muestra de análisis. Las muestras se tomaron con un entre tiempo de dos minutos. Se evitó bolsas de aire al interior. Todas las muestras se resguardaron en caja de plástico con tapa hermética y bloques de hielo. En el mismo día parte de las muestras se trasladaron al Laboratorio MINSA-Jaén, al Laboratorio de IFA y cinco muestras se enviaron a un laboratorio especializado.

2.3 Metodología

Variables de estudio:

Variables independientes:

- Acidez del agua (unidades de pH).
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Oxígeno disuelto (ppm).
- Sólidos totales disueltos (mg/L).

Variable dependiente:

- Hierro (mg/L) del agua superficial caserío Llano Grande.

2.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

2.4.1 Método

Se realizó en la fuente de agua una población familiar del caserío Llano Grande.

Figura 4

Fuente diaria de agua superficial caserío Llano Grande



2.4.2 Técnica

Materiales:

25 frascos plásticos de 250 mL, mandil blanco, alcohol etílico, guantes de látex, potenciómetro (pH-metro), conductímetro, multiparámetro de análisis, reactivos químicos para espectrofotómetro: Reactivos químicos biológicos: Agua destilada, pipetas estériles (1, 5 y 10 mL), micro pipetas con puntas desechables, placas de Petri estériles con medio de cultivo específico (*Agar m-Endo* para coliformes totales, *Agar m-FC* para *Escherichia coli*) y filtros de membrana estériles,

2.4.3 Procedimiento

1.-- Determinación de parámetros del agua subterránea del caserío Llano Grande.

A. Análisis químico: pH

Método: Electrométrico.

Técnica: APHA (2017), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 4500-H⁺ B.

Rango típico: pH 0 a 14, con precisión ± 0.02 unidades

Tabla 2

Clasificación del pH en el agua

Clasificación	$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	Interpretación
Agua fuertemente ácida	< 5.5	Alta acidez, puede disolver metales, afectar la vida acuática.
Agua moderadamente ácida	5.5 - 6.5	Puede afectar el sabor y dañar materiales metálicos.
Agua neutra	6.5 - 8.5	Apta para consumo humano según OMS y ECA-2017.
Agua moderadamente alcalina	8.5-9.5	Puede causar incrustaciones y sabor amargo.
Agua fuertemente alcalina	> 9.5	Indica contaminación o exceso de carbonatos.

Fuente: Merrill *et al.* (2009).

Principio del método: Se basó en el potencial eléctrico (diferencia de voltaje) entre un electrodo de vidrio sensible al ion hidrógeno (H⁺) y un electrodo de referencia (generalmente de cloruro de plata o calomel) (Asim *et al.*, 2024). El potencial generado es convertido directamente en una lectura de pH por medio de un potenciómetro

electrónico (pH-metro), que traduce el potencial en unidades de pH de acuerdo con la ecuación de Nernst:

$$E = E_0 - \frac{2.303 RT}{F} \cdot \text{Log} [H^+]$$

Donde:

E: Potencial medido (mili Voltios).

E₀: Potencial estándar (mili Voltios), o sea es el potencial de referencia del electrodo.

R: Constante universal de los gases.

T: Temperatura absoluta (°K).

F: Constante de Faraday.

[H⁺]: Concentración de iones de hidrógeno.

Procedimiento: Después del encendido se dejó estabilizarse, luego con la ayuda de una solución tampón (pH: 4.0) se garantizó la medición correcta del pH, enseguida se enjuagó el electrodo del equipo con abundante agua destilada.

Figura 5

Lectura de acidez (pH) de agua superficial en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén



Después de verificarse que la medida del pH del tampón fue de 4.00 (±0.05). Se inició la medida de la acidez de cada una de las muestras de agua superficial del caserío Llano Grande. Introducido el electrodo en la muestra se dejó estabilizar la lectura por tres

minutos. Luego, se tomó lectura del pH con dos decimales (± 0.01). finalmente, se volvió a enjuagar el electrodo del pH-metro antes de proceder con la siguiente lectura de pH.

B.-- Análisis físico: Conductividad eléctrica

Método: Electrométrico.

Técnica: APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Método 2510 B: Conductivity (Electrometric Method)

Rango típico: 250 - 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 3

Valores típicos de conductividad eléctrica para agua

Clasificación	Rango (CE) $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	Interpretación
Agua de lluvia	0 - 100	Muy baja mineralización. Agua casi pura.
Agua superficial (ríos, lagos limpios)	50 – 500	Baja salinidad. Apta para consumo tras tratamiento.
Agua subterránea (no contaminada)	250 – 1500	Mineralización natural por contacto con rocas; $>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ presencia de sales.
Agua potable (según OMS)	< 1500	Por encima de $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ puede percibirse sabor salado o metálico.
Agua subterránea salobre	1500 – 5000	Contiene altas concentraciones de sales (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). No apto para consumo.
Agua salina	> 5000	Similar al agua de mar; no apta para consumo ni riego.

Fuente: Islam & Mostaf (2024).

Principio del método: Permite distinguir entre diferentes acuíferos o fuentes de recarga, igualmente, detecta intrusión salina en acuíferos costeros. Generalmente, la conductividad eléctrica se utiliza junto con el pH para determinar el equilibrio químico.

Procedimiento: Se procedió a la calibración del conductímetro, para ello se lavó y enjuagó el electrodo del equipo. Luego con una solución patrón de KCl 0.01 M se tomó lectura a 25 °C, resultando el valor de $1413 \mu\text{S}/\text{cm}$. Calibrado el equipo se procedió a realizar la toma de lectura de cada una de las muestras, dejando al menos tres minutos de estabilización y un lavado – enjuague antes de tomar una nueva lectura.

Figura 6

Lectura de conductividad eléctrica de agua superficial en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén



C.-- Análisis físico: Oxígeno disuelto.

Método: Electrométrico. APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 4500-O B. Método de Winkler (titulométrico).

Rango típico: 5.0 – 8.0

Tabla 4

Valores típicos de oxígeno disuelto para agua

Clasificación	O ₂ disuelto mg/L a 25 °C	Interpretación
Muy bajo (anóxico)	< 2.0	Agua con deficiencia severa de oxígeno. Puede indicar contaminación orgánica.
Bajo (probablemente oxigenada)	2.0 - 5.0	Actividad biológica reducida: posible presencia de materia orgánica.
Moderado (regular oxigenada)	5.0 – 7.0	Agua con condiciones aceptables: favorece procesos aeróbicos.
Alto (bien oxigenada)	7.0-9.0	Buena calidad del agua
Sobresaturada	> 9.0	Puede deberse a intensa fotosíntesis, no es común en aguas subterráneas.

Fuente: Ali *et al.* (2019).

Principio del método:

Se basó en la oxidación del ion manganoso (Mn^{2+}) en medio alcalino por el oxígeno disuelto presente en la muestra, formándose un precipitado de hidróxido de manganeso $[Mn(OH)_2]$ que, al acidificarse, libera yodo (I_2) en cantidad equivalente al oxígeno presente.

Procedimiento:

Se llenaron los frascos Winkler de 300 mL con las muestras de agua, sin dejar espacios de aire, se taparon sellando cada botella. Se agregó 2 mL de solución de sulfato manganoso ($MnSO_4$). A continuación, se adicionó 2 mL de solución alcalina de yoduro-azida ($NaOH-KI-NaN_3$); se taparon los frascos y se con el tiempo se formó un precipitado blanco de hidróxido de manganeso $Mn(OH)_2$. Se añadió 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), hasta diluir precipitado y obtener color marrón amarillento. Se procedió a la titulación con tiosulfato de sodio 0,025 N, con un volumen de 203 ml, luego se agitó constantemente. Al momento de observar color pajizo claro, se añadió 2 a 3 mL de solución de almidón, lo que produjo coloración azul intensa (punto final). Para el cálculo, se aplicó la fórmula:

$$OD \text{ (mg/L)} = \frac{\text{mL Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times N \text{ del Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 8}{\text{mL de muestra}}$$

donde:

8: equivalente químico del oxígeno (mg O_2 mili equivalente)

N: Normalidad del tiosulfato de sodio

Ml de muestra: Volumen de agua valorado (203 mL).

El resultado se expresa como mg/L de O_2 disuelto en la muestra.

D.- Análisis físico: Sólidos totales disueltos.

Fundamento: El valor se estimó a través de un factor de conversión programado en el instrumento, que relaciona la conductividad con la cantidad de sales disueltas. La relación de conversión automática fue:

$$STD \text{ (ppm)} = (K)(CE, \mu S/cm)$$

$K = 0.64$ por ser agua subterránea.

Método: Estimativo de sólidos disueltos totales por conductividad eléctrica (APHA 2510 B / 2540 C).

Rango típico: Desde < 50 mg/L (aguas muy blandas) hasta > 2000 mg/L (aguas salinas).

Procedimiento:

Se tomó 100 mL de agua subterránea, se introdujo el sensor multi parámetro en la muestra, se dejó estabilizar la medición al menor por dos minutos. Se tomó lectura de cada muestra.

2.- Determinación de la concentración de hierro del agua subterránea.**Análisis químico: Fe disuelto**

Método: *APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Part 3111 B-Fe. Espectrofotometría por Absorción atómica.

Rango típico: 0.05–5 mg Fe/L

Longitud de onda típica de absorción: 248.3 nm (nanómetros).

Fuente de calor: aire-acetileno.

Principio del método:

Se basó en la medición directa de la absorción de radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco específica para hierro (Fe), a una longitud de onda de 248.3 nm. Cuando el hierro disuelto en la muestra fue atomizado en la llama del espectrofotómetro, los átomos libres de hierro absorbieron radiación proporcional a su concentración. La absorbancia medida se compara con una curva de calibración,

Procedimiento:

Se filtraron las muestras con una membrana de 0.45 μm , se acidificó la muestra con HCl concentrado hasta un pH menor de 2, luego se calentaron las muestras con gotas de ácido nítrico (HNO_3) hasta evaporación ligera, se aforó volumen con agua destilada.

Preparación de curva de calibración: se tomaron cinco soluciones patrón de hierro dentro del rango 0.05–5 mg/L. Se introdujeron en el espectrofotómetro y registrar la absorbancia a 248.3 nm. Seguidamente, se graficó la absorbancia versus la concentración de hierro para obtener la curva de calibración. Para el cálculo se aplicaron las siguientes relaciones:

$$[\text{Fe}] = C_s \text{ (mg/L)}$$

C_s : Concentración de hierro obtenida directamente del espectrofotómetro o de la curva de calibración.

Habiéndose la muestra diluido, se aplicó el factor de corrección:

$$[\text{Fe}] = C_s \times \text{factor de corrección.}$$

Los resultados se expresaron en mg/L de hierro disuelto (Fe^{+2} y Fe^{+3}).

3.- Determinación del factor de correlación entre el hierro y el agua superficial del caserío Llano Grande.

Método estadístico: Análisis de correlación de Pearson

Principio del método:

El coeficiente de correlación de Pearson (r) fue una medida estadística que cuantificó la relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas:

Variable X: concentración de hierro disuelto (mg Fe/L).

Variable Y: parámetros físico-químicos del agua subterránea (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto).

Principio del método:

Consistió en la verificación de la relación significativa entre el contenido de hierro y las características del agua subterránea.

Procedimiento:

Se aplicó la ecuación del coeficiente de Pearson

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Donde:

r: Coeficiente de correlación de Pearson.

n = Número de observaciones.

x, y = Valores de cada variable

El valor de r varía entre -1 y +1, donde:

r = +1 indica correlación positiva perfecta (ambas variables aumentan juntas).

r = -1 indica correlación negativa perfecta (una aumenta y la otra disminuye).

r ≈ 0 indica ausencia de correlación lineal.

Interpretación de resultados:

Si $p < 0.05$, la correlación es estadísticamente significativa.

Tabla 5*Interpretación valor r, coeficiente de Pearson*

Valor F	% Coef Pearson	Interpretación
0.00 -0.19	0 – 19 %	Muy Débil
0.20-0.39	20 -39 %	Débil
0.40-0.59	40 – 59%	Moderado
0.60 – 0.79	60 -79 %	Fuerte
0.80 -1.00	80 - 100 %	Muy fuerte

Fuente: Brindha *et al.* (2020).**Tabla 6***Interpretación valor P y significancia estadística*

Valor P	Interpretación
$p < 0.001$	Evidencia muy fuerte de correlación significativa
$p < 0.01$	Evidencia fuerte
$p < 0.05$	Evidencia moderada (significativa al 95%)
$p \geq 0.05$	No significativa (no se puede afirmar correlación)

Fuente: Brindha *et al.* (2020).

III. RESULTADOS

Determinación de parámetros del agua superficial del caserío Llano Grande.

Tabla 7

Valor *pH* agua caserío Llano Grande

N° frasco de agua	pH
F-1	6.92
F-2	6.80
F-3	6.40
F-4	6.91
F-5	7.10
F-6	6.83
F-7	6.30
F-8	6.51
F-9	6.92
F-10	6.82
Promedio	6.75

Fuente: Laboratorio IFA/UNJ.

El valor que indicó cumplimiento de los estándares de calidad según la normatividad nacional que estableció un rango de acidez para su consumo de 6.5 a 8.5. Respecto al grado de acidez el pH: 6.75 del agua, mostró una cercanía por debajo de la neutralidad, este nivel elevó su capacidad de disolución de sustancias como los metales férricos.

Tabla 8*Conductividad eléctrica agua caserío Llano Grande*

N° frasco de agua	μ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
F-1	290
F-2	291
F-3	277
F-4	318
F-5	301
F-6	312
F-7	288
F-8	320
F-9	310
F-10	297
Valor promedio	300.4

Fuente: Laboratorio IFA/UNJ.

La conductividad cumplió con los estándares de calidad según la normatividad: D.S. N° 004-2017-MINAM, al tener $300.4 \mu\text{S}/\text{cm} < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$. lo cual garantizó una ligera salinidad del agua.

Tabla 9*O₂ disuelto agua caserío Llano Grande*

N° frasco de agua	O₂ disuelto
F-1	7.15
F-2	6.15
F-3	6.92
F-4	7.20
F-5	6.24
F-6	6.87
F-7	7.50
F-8	7.18
F-9	6.98
F-10	6.97
Valor promedio	6.91

Fuente: Laboratorio IFA/UNJ.

Según Ali *et al.* (2019) el agua mostró una concentración de O₂ muy aceptable para su consumo, incluso con fortaleza para favorecer procesos aeróbicos. Se verificó cumplimiento del D.S. N° 004-2017-MINAM, exigió un oxígeno disuelto ≥ 6.0

Sólidos totales diluidos (STD)

Tabla 10

STD agua caserío Llano Grande

N° frasco de agua	STD (mg/L o ppm)
F-1	150
F-2	140
F-3	130
F-4	140
F-5	141
F-6	138
F-7	148
F-8	160
F-9	150
F-10	162
Valor promedio	146

Fuente: Laboratorio IFA/UNJ.

El valor se encontró muy debajo de la normatividad nacional que estableció un mínimo de 1000 mg/L.

Análisis microbiológico

Tabla 11

LMP microbiológicos

Parámetros	Unidades de medida	Valor
Bacteria coliforme totales	UFC/100 mL a 35°C	1.4×10^2
Escherichia coli	UFC/100 mL a 44. 5°C	--
Coliformes Termotolerantes o fecales	UFC/100 mL a 44. 5°C	<1.8

Fuente: Red Integrada de Salud – Jaén.

El agua superficiales presentó una carga microbiológica de 1.4×10^2 coliformes totales y < 1.8 coliformes termotolerantes o fecales. Si hubo contaminación.

Determinación de la concentración de hierro del agua superficial.

Tabla 12

Fierro residual agua superficial caserío Llano Grande

Código de campo	Hierro (mg/L o ppm)
F-1	0.09
F-2	0.09
F-3	0.07
F-4	0.12
F-5	0.09
F-6	0.08
F-7	0.08
F-8	0.07
F-9	0.11
F-10	0.09
Promedio	0.089 ppm Fe

Fuente: Anexos Laboratorio.

La concentración del metal pesado hierro se halló en condiciones que no representó riesgo a la salud, su valor 0.089 ppm es < 0.3 ppm exigido por la normatividad nacional.

Determinación del factor de correlación entre el hierro y el agua superficial del caserío Llano Grande.

Correlación Pearson: pH y Fe (ppm)

Variable dependiente: Hierro (ppm)

Variable independiente: pH

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Los datos se sometieron a un análisis estadístico mediante el software Statgraphics Centurion 19.

Tabla 13

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal entre pH y Fe

<i>Fuente</i>	Σ <i>cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.000933378	1	0.000933378	5.50	0.0470
Residuo	0.00135662	8	0.000169578		
Total (Corr.)	0.00229	9			

Coefficiente de correlación = 0.638427

R – cuadrada = 40.7589%

R – cuadrado (ajustado para GL.) = 33.3537%

Modelo de la relación entre variables: Hierro = -0.176763 + 0.0393664*pH

El valor-P es menor que 0.05, entonces hay una relación estadísticamente significativa entre pH y Hierro con un nivel de confianza del 95.0 %. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 40.7589% de la variabilidad en Hierro. El coeficiente de correlación es igual a 0.638427, indicando una **relación moderadamente fuerte** entre las variables.

Correlación Pearson: Conductividad y Hierro (ppm)

Variable dependiente: Hierro ppm

Variable independiente: Conductividad eléctrica μ S/cm

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal entre Fe y conductividad eléctrica

<i>Fuente</i>	Σ <i>cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.000353156	1	0.000353156	1.46	0.2616
Residuo	0.00193684	8	0.000242106		
Total (Corr.)	0.00229	9			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Coefficiente de Correlación = 0.392704

R-cuadrada = 15.4216 %

R-cuadrado (ajustado para G.L.) = 4.84935 %

La ecuación del modelo ajustado es: μ S/cm:

Hierro = -0.0429502 + 0.000439248*Conductividad

El valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre Hierro y Conductividad con un nivel de confianza del 95.0% o más. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 15.4216% de la variabilidad en Hierro. El coeficiente de correlación es igual a 0.392704, indicando una **relación relativamente débil** entre las variables.

Correlación Pearson: Oxígeno disuelto y Hierro (ppm)

Variable dependiente: Hierro ppm

Variable independiente: Oxígeno disuelto ppm

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal entre Fe y oxígeno disuelto

<i>Fuente</i>	Σ <i>cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	5.52582E-7	1	5.52582E-7	0.00	0.9660
Residuo	0.00228945	8	0.000286181		
Total (Corr.)	0.00229	9			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Coefficiente de Correlación = -0.0155339

R-cuadrada = 0.0241302 %

R-cuadrado (ajustado para G.L.) = -12.4729 %

La ecuación del modelo ajustado es:

Hierro = 0.0930656 - 0.000587853*O₂ disuelto

El valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre Hierro y O₂ disuelto con un nivel de confianza del 95.0 % o más. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 0.0241302% de la variabilidad en Hierro. El coeficiente de correlación es igual a -0.0155339, indicando una **relación relativamente débil** entre las variables.

Variable independiente: Sólidos totales diluidos ppm

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Tabla 16

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal Fe y sólidos totales disueltos

<i>Fuente</i>	Σ <i>cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1.10509E-9	1	1.10509E-9	0.00	0.9985
Residuo	0.00229	8	0.00028625		
Total (Corr.)	0.00229	9			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Coefficiente de correlación = -0.000694675

R-cuadrada = 0.0000482574 %

R-cuadrado (ajustado para G.L.) = -12.4999 %

La ecuación del modelo ajustado es: Hierro = 0.0891612 - 0.00000110509*STD

El valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre Hierro y STD con un nivel de confianza del 95.0% ó más. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 0.0000482574% de la variabilidad en Hierro. El coeficiente de correlación es igual a -0.000694675, indicando una **relación relativamente débil** entre las variables.

Tabla 17

Comparación de correlación entre Fe (ppm) y parámetros

<i>Fuente</i>	<i>Valor - P</i>	<i>Coef. Correlación</i>	<i>Relación entre variables</i>
pH	0.0470	63.8427 %	Moderadamente fuerte
Conductividad	0.2616	39.2704 %	Relativamente débil
Oxígeno disuelto	0.9660	-1.55339 %	Relativamente débil
STD	0.9985	0.0694675%	Relativamente débil

Fuente: Statgraphics centurión XIX.

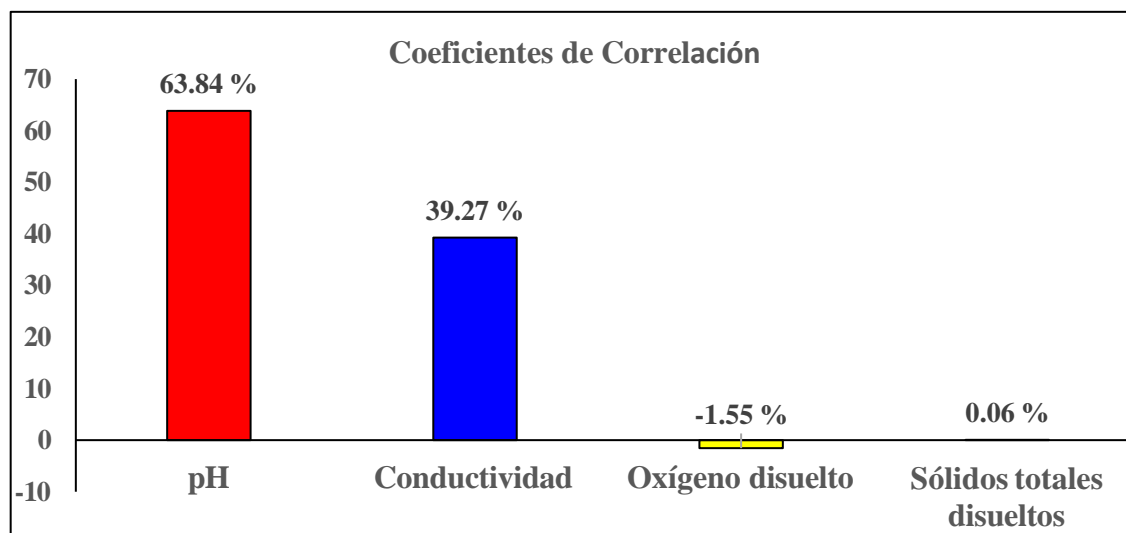
Interpretación:

La mayor correlación se obtuvo entre el Hierro (ppm) y el pH en 63.8427 %, para una acidez media de 6.75; esta ligera acidez explica la disolución del metal en el agua. Las demás variables no tuvieron una significancia estadística, es decir, no tuvieron necesariamente una influencia en la presencia de hierro en el agua, en este orden, se tiene que la conductividad eléctrica tuvo un coeficiente de correlación 39.2704 %, con una relación relativamente débil entre ambas variables (Fe y μ); de forma similar se halló la concentración de oxígeno disuelto que tuvo un coeficiente de correlación igual a -1.55339 %, con una relación relativamente débil entre ambas variables (Fe, O₂ dis.); finalmente, la concentración de sólidos totales disueltos STD se relación con el hierro

con un coeficiente de correlación igual a 0.0694675 % expresando una relación relativamente débil.

Figura 7

Porcentaje de correlación entre variables



IV. DISCUSIÓN

Analizados los valores hallados sobre los parámetros físicos químicos del agua superficial del caserío Llano Grande se concluye que el comportamiento de las variables físicas químicas tuvieron características adecuadas para uso doméstico básico, aunque con particular atención en la movilidad del hierro bajo condiciones ligeramente ácidas, excepto que arrojaron contaminación bacteriana tanto de bacterias coliformes totales y coliformes termotolerantes (fecales), en este sentido se incumplió la norma D.S. N° 031-2010-SA-MINSA. En este sentido, Brindha *et al.* (2020) reportó contaminación por nitratos, además identificó microbios por la infiltración de aguas residuales en la parte superior de la fuente de agua; inclusive expresaron que el Fe, Mn, Pb, Cd y el As superaron los límites de agua potable prescritos por la Oficina de Normas de la India. Respecto a la acidez los valores obtenidos (pH promedio 6.75) muestra una ligera acidez del agua. Este comportamiento es característico de acuíferos someros ubicados en zonas de transición entre sierra y ceja de selva, donde la infiltración de agua a través de materiales orgánicos y suelos volcánicos genera soluciones levemente ácidas (Estrada & Taipe, 2022).

En este contexto Ali *et al.* (2019), sostuvieron que las aguas superficiales con pH entre 6 y 7 favorecer la movilidad del hierro ferroso (Fe^{2+}), lo cual coincide con la correlación significativa encontrada entre pH y Fe en este estudio ($r = 0.638$; *valor P* = 0.047). De manera similar, Islam & Mostaf (2024) reportaron que el hierro aumenta su solubilidad conforme el pH disminuye, lo que explica que los valores moderados de Fe obtenidos en Llano Grande sean consecuencia directa de la acidez natural del acuífero. En este mismo sentido, Asim, *et al.* (2024) afirmaron que esta ligera acidez del agua es típica de zonas de transición sierra–ceja de selva, donde los suelos orgánicos y rocas ricas en minerales silicatados generan aguas de pH entre 6.5 y 7.0. Sobre la conductividad eléctrica, los valores registrados alcanzaron un promedio 300.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que indicó un nivel bajo de sales disueltas. El estudio de Tautkus *et al.* (2004) demostraron que valores de conductividad eléctrica entre 250 y 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponden a acuíferos poco mineralizados, muy similares a los de Llano Grande.

Respecto al fenómeno de movilidad metálica la correlación entre CE y Fe en esta investigación fue débil ($r = 0.392$; *valor P* = 0.2616), lo cual coincidió con lo reportado

por Bodrud *et al.* (2019), quienes concluyeron que la conductividad no siempre se asocia a incrementos de hierro, ya que este metal depende más de procesos de disolución específicos que del contenido total de sales. Los valores de oxígeno disuelto alcanzaron un promedio 6.91 mg/L o sea condiciones oxigenadas en la fuente de agua, lo cual limita la presencia de hierro ferroso y favorece la precipitación de formas férricas menos solubles. Sin embargo, Merrill *et al.* (2009) encontraron que el hierro tiende a permanecer soluble en aguas con bajo oxígeno, lo cual contrasta con las condiciones observadas en este estudio. Esto explica que no exista relación significativa entre oxígeno disuelto y Fe ($r = -0.015$; $p = 0.966$). Aspecto que corroboró Brindha *et al.* (2020) al sostener que acuíferos bien oxigenados disuelven limitadamente al fierro, aspecto confirmado con los resultados obtenidos. En otras palabras, el hierro presente no se debe a procesos reductores, sino a disolución mineral típica de zonas ácidas.

Respecto a los sólidos disueltos totales (STD de 146 ppm), los valores correspondieron a una baja mineralización. Estudios como el de Triassi *et al.* (2023) mostraron que acuíferos con bajos STD presentan hierro < 0.2 mg/L, lo cual coincidió con Llano Grande. La correlación prácticamente nula entre STD y Fe ($r \approx 0$) concuerda con lo reportado por Tautkus *et al.* (2004), que demostraron que el Fe no incrementa el contenido total de sales. Es decir, el Fe no se moviliza según el aumento de sales, sino más bien como equilibrio químico entre el Fe y pH. Sobre su el Fe 0.075 ppm, indicó que se encuentran muy por debajo del límite exigido. Islam & Mostaf (2024) reportó concentraciones similares (0.05 y 0.15 mg/L). Resultados comparables también fueron encontrados por Merrill *et al.* (2009), quienes validaron métodos portátiles y reportaron concentraciones promedio de 0.07 mg/L en aguas superficiales. Ello confirma que el hierro presente en Llano Grande no representa riesgo para la salud humana y que la ligera acidez del agua explica la presencia moderada del metal. Así, el análisis de correlación mostró que solo el pH tuvo una relación estadísticamente significativa con el hierro, mientras que la conductividad, oxígeno disuelto y los STD no presentaron influencia relevante. Esto es coherente con Brindha *et al.* (2020), quienes identificaron al pH como el factor que controla la movilidad del hierro en acuíferos tropicales. Además, Islam y Mostaf (2024) sostuvieron que el Fe en aguas subterráneas depende principalmente de la acidez y de la composición mineralógica de la zona, más que de los parámetros fisicoquímicos generales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El agua superficial del caserío Llano Grande, distrito La Coipa, provincia de San Ignacio cumple los parámetros físicos químicos que emana de la normatividad D.S. N° 004-2017-MINAM; sin embargo, no cumplió con la normatividad sanitaria del MINSA al presentar presencia bacteriológica, que obliga no beberla directamente.
- Respecto a la presencia de fierro, el agua superficial del caserío Llano Grande, distrito La Coipa, provincia de San Ignacio cumple con las dos normatividades nacionales: N° D.S. N° 004-2017-MINAM y N° D.S. N° 031-2010-MINSA. De forma que la concentración ferrosa fue ≤ 0.3 ppm.
- El agua superficial mostró una relación moderadamente fuerte entre la concentración de hierro y la acidez; a diferencia de la correlación entre la concentración de hierro y la conductividad eléctrica que fue relativamente débil; similarmente, la correlación entre la concentración de hierro y el oxígeno disuelto fue relativamente débil y la correlación entre la concentración de hierro y los sólidos totales disueltos fue relativamente débil:

Recomendaciones:

- A las autoridades del caserío coordinar con la municipalidad La Coipa, un monitoreo periódico de la calidad del agua superficial, especialmente del pH y del hierro, debido a que la acidez del agua mostró ser el principal factor que controla la movilidad del metal. Se recomienda un control trimestral, sobre todo en temporadas de lluvia donde aumenta la recarga y la infiltración de materia orgánica.
- A la Dirección Integral de Salud – San Ignacio – MINSA, implementar un programa de vigilancia comunitaria del recurso hídrico, que permita a los pobladores y autoridades locales identificar cambios anormales en el color, olor u otros indicadores visuales del agua. Un sistema de reporte temprano puede evitar afectaciones en el consumo humano.
- Promover la protección de las zonas de recarga hídrica del caserío Llano Grande, ya que la calidad del agua está directamente relacionada con el tipo de suelo y material geológico por donde atraviesa. Se recomienda evitar actividades agrícolas intensivas o descarga de residuos cerca de manantiales y pozos.
- socializar los resultados a la comunidad. Debido a que la población depende diariamente de esta agua superficial para su abastecimiento, el conocimiento de los resultados es vital para su seguridad y salud.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, U., Batool, A., Ghufraan, M. A., Kazmi, S. S. & Fatimah, S. H. (2019). Assessment of heavy metal contamination in the drinking water of muzaffarabad, Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. *International Journal of Hydrology*, 3(5).
- Almeida, D., Bernardes, M., & Dias, D. (2017). Microbiological contamination in rural water supply systems in Brazil. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(1), 92–101.
<https://doi.org/10.2166/washdev.2017.107>
- APHA, AWWA, WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition, Method 4500-H⁺ B – Electrometric Method. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Asim, H., Sharifi, S., Saidee, S., & Azizi, A. M. (2024). Investigation the level of groundwater pollution with heavy metals in Mazar-e-Sharif City. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 3(2), 35.
<https://doi.org/10.55544/jrasb.3.2.35>
- Bodrud, M. D., Bodrud, S. M., Didar, I., Hasan, T., Alam, F., Haque, M. A., Rakib, A., Ashaduzzaman, & Rahman, A. (2019). *Groundwater pollution by trace metals and human health risk assessment in central west part of Bangladesh. Groundwater for Sustainable Development*, 9(1).
<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100219>
- Brindha, K., Paul, R., Walter, J., Tan, M. L., & Singh, M. K. (2020). Trace metals contamination in groundwater and implications on human health: Comprehensive assessment using hydrogeochemical and geostatistical methods. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(1), 3819–3839.
<https://doi.org/10.1007/s10653-020-00637-9>

- Cabellos, B. L. y Cubas, J. S. (2021). *Estudio del cloro libre y total en las redes de distribución de las plantas de tratamiento de agua potable Santa Apolonia y el Milagro de la ciudad de Cajamarca-2021*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Ecuru, J., Okot-Okumu, J., & Okurut, T. (2011). Monitoring residual chlorine decay and coliform contamination in water distribution network of Kampala, Uganda. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(1), 167–173.
- Estrada, E., & Taife, E. (2022). *Evaluación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en el barrio de Santa Ana – Huancavelica, 2021* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica.
<https://hdl.handle.net/20.500.14597/5075>
- Islam, Z., & Mostaf, M. G. (2024). *Iron, manganese, and lead contamination in groundwater of Bangladesh: A review*. *Water Practice & Technology*, 19(3), 745–750.
<https://doi.org/10.2166/wpt.2024.030>
- Kanwal, H., Khan, M. A., Nazir, A., Khan, U., Yasin, M., Rehman, A. U., Noshin, S., Riaz, K., Tayyab, M., & Asim, M. (2022). Analysis of physical chemical drinking water quality parameters in Sialkot. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 12(25), 47–52.
- Merrill, R. D., Shamim, A. A., Labrique, A. B., Ali, H., Schulze, K., Rashid, M., Christian, P., & West, K. P., Jr. (2009). *Validation of two portable instruments to measure iron concentration in groundwater in rural Bangladesh*. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 27(3), 414–418.

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.*

<https://www.gob.pe/minam>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua potable* (4.ª ed.). World Health Organization.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf>

Rodríguez, R., Jamanca, N., Gomero, J., Castro, H., & Rojas, S. C. (2018). Evaluation of free and residual chlorine in drinking water of the district of Pativilca–Barranca. *Journal of Sciences and Engineering*, 2(1).

Roman, M. J. (2021). Estudio de las dosificaciones de cloro residual en los caseríos de Puylucana, Alto Puylucana y Pampa Iracushco de la provincia de Cajamarca, 2021. [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Lluvia acumulada.*

<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=lluvia-acumulada>

Tautkus, S., Laurasteponeniene & Kazlauskas, R. (2004). Determination of iron in natural and mineral waters by flame atomic absorption spectrometry. *J. Serb. Chem. Soc.* 69(5)393–402(2004).

Triassi, M., Cerino, P., Montuori, P., Pizzolante, A., Trama, U., Nicodemo, F., D’Auria, J. L., De Vita, S., De Rosa, E., & Limone, A. (2023). *Heavy metals in groundwater of Southern Italy: Occurrence and potential adverse effects on the environment and human health.* *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 1693.

<https://doi.org/10.3390/ijerph20031693>

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, salud y brindamos sabiduría y fortaleza para poder lograr mi meta de ser profesional, además agradezco también a todas las personas que contribuyeron y aportaron en este proyecto de investigación:

A mi familia por apoyarme y motivarme día a día, por su amor y apoyo incondicional en todo momento y por inculcarme desde pequeño la importancia del conocimiento y el esfuerzo.

A mi asesor Dr. Juan Manuel Garay Román por su grandioso apoyo y aporte para poder culminar de manera satisfactoria mi proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional de Jaén por su grandiosa enseñanza en la formación académica que me servirá en esta nueva etapa como profesional.

Sara Beatriz Bobadilla Barboza.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

Este trabajo de investigación lo dedico a mi familia Bobadilla Barboza, en especial a mi mamá Elisa y a mi Papá Jorge, ellos son el pilar fundamental de impulso para culminar mis estudios universitarios y lograr mi meta establecida en el transcurso de mi formación académica.

Sara Beatriz Bobadilla Barboza.

ANEXOS

Tabla 18

Prueba de normalidad de datos

Valor	pH	μ ($\mu\text{S/cm}$)	O ₂ dis. mg/L	STD	Hierro ppm
Recuento	10	10	10	10	10
Promedio	6.752	300.4	6.916	145.9	0.089
Desv. estándar	0.258691	14.2611	0.421511	10.0272	0.0159513
Coef. de variación	3.83189%	4.74736%	6.09472%	6.87264%	17.9228%
Mínimo	6.30	277.0	6.15	130.0	0.07
Máximo	7.10	320.0	7.5	162.0	0.12
Rango	0.8	43.0	1.35	32.0	0.05
Sesgo estandarizado	-0.95136	-0.0795712	-1.2085	0.37037	1.05496
Curtosis estándar	-0.375674	-0.712299	0.250863	-0.318875	0.227576

Fuente: Statgraphics Centurion XIX.

Interpretación: Valores fuera del rango de -2 a +2 no tienen normalidad y serán datos inválidos, Para los resultados hallados en el agua subterránea el valor del sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, estuvieron dentro del rango esperado.

Figura 8

Decreto Supremo N° 031-2010-SA (LMP)

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

ANEXO I

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 / 100 ml

Figura 9

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

ANEXO II

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L^{-1}	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoníaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeso	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L^{-1}	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Figura 10
Reporte microbiológico del agua



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA
 RED INTEGRADA DE SALUD JAEN
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



RIS
 Red Integrada de Salud Jaen

SOLICITANTE O PROGRAMA :	SARA BOBADILLA BARBOZA	LOCALIDAD :	LLANO GRANDE
DIRECCION :	-	DISTRITO :	LA COPA
INFORME DE ENSAYO :	LCAPB-21E	PROVINCIA :	SAN IGNACIO
ORIGEN DE LA FUENTE :	MANANTIAL	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
NOMBRE DE LA FUENTE :	-	COORDENADAS :	E - N -
PROYECTO :	-	ALTURA :	m.s.n.m
PUNTO DE MUESTREO :	CAPTACION		
MUESTREADO POR :	SARA BOBADILLA BARBOZA		

ANALISIS BACTERIOLOGICO

Nº	NOMBRE DE LA FUENTE O PUNTO DE MUESTREO	Fecha y Hora de Muestra	Fecha y hora de Analisis	ANALISIS BACTERIOLOGICO				Bacterias Heterotificas (UFC/mL)	Escherichia coli (UFC/100mL)
				Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Terrototricos (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (MMP/100 ml)	Coliformes Terrototricos (MMP/100 ml)		
1	CAPTACION	19/11/2025	19/11/2025	-	-	1.4x10 ²	<1,8	-	-
		5:00:00 a. m.	12:56:00 p. m.						

*La muestra ha sido traída al laboratorio por los interesados; así como los datos proporcionados del origen de las mismas.



Director Ejecutivo de Salud Ambiental
 19/11/2025

Figura 11
Reporte análisis de Hierro del agua



INFORME DE ENSAYO N°745-2025 RIVELAB

Emitido en Trujillo, 22 de noviembre de 2025

Pág. 1 de 1

1. DATOS DEL SOLICITANTE

N° ORDEN DE TRABAJO : 14-002255A
 SOLICITANTES : SARA BOBADILLA BARBOSA
 DNI : -

2. DATOS DEL SERVICIO

TIPO DE MUESTRA : **Agua embotellada**
 ENSAYO SOLICITADO : Determinación de Hierro (Fe) (Fe)
 NUMERO DE MUESTRAS : 10
 PRESENTACION DE MUESTRA : Frascos de plástico con tapa rosca
 CANTIDAD DE MUESTRA : 250 ml c/u
 CODIGOS DE MUESTRAS : F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

LUGAR DE ORIGEN DE MUESTRA : Muestra proporcionada por el solicitante (Casero Llano Grande - San Ignacio - Cajamarca)
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Av. Bobadilla 424 Urb. Monserrate - Trujillo, 16 de noviembre del 2025
 FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 17-11-2025
 FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS : 22-11-2025

4. RESULTADOS

ENSAYOS QUIMICO

Cod. Muestra	UNIDADES	L.M.D	L.M.C	RESULTADOS
F-1	mg/l	0.001	0.005	0.09
F-2	mg/l	0.001	0.005	0.09
F-3	mg/l	0.001	0.005	0.07
F-4	mg/l	0.001	0.005	0.12
F-5	mg/l	0.001	0.005	0.09
F-6	mg/l	0.001	0.005	0.08
F-7	mg/l	0.001	0.005	0.08
F-8	mg/l	0.001	0.005	0.07
F-9	mg/l	0.001	0.005	0.11
F-10	mg/l	0.001	0.005	0.09

L.M.D: Límite de detección
 L.M.C: Límite de cualificación

5. METODOS DE ENSAYO

ENSAYOS	REFERENCIA O NORMA
Hierro	SMEN/4719-4719A-WF Part 2117 A, 24m E1 2021 Método de prueba para la determinación de Calcio, Azufre, Fosforo, Estato, Cobalto, Hierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por Espectrometría de Absorción Atómica

Dr. JOSE RIVERO CORCUERA
 Ingeniero Químico
 R. C.P. 130519

