



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



TESIS

**Evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea
para riego agrícola en el sector la Peña, distrito de
Salas, provincia Lambayeque 2025**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

Autor:

Bach. Jesmar Orlando Romero Melendres

Asesor:

Ing. M.Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes

Lambayeque-Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA



TESIS

Evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea para riego agrícola en el sector La Peña, Distrito de Salas, Provincia Lambayeque, 2025

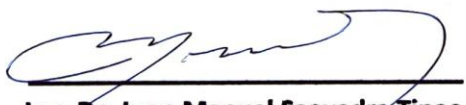
Para optar el título profesional de:

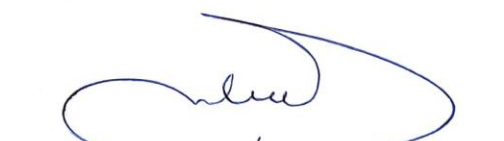
INGENIERO AGRÍCOLA

Autor:

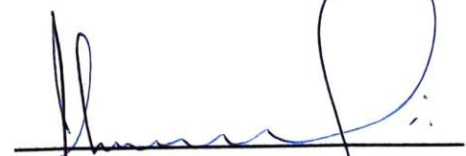
Bach. Jesmar Orlando Romero Melendres

Aprobado por:


Ing. Dr. Juan Manuel Saavedra Tineo
Presidente


Ing. M.I. Juan Vicente Hernández Alcántara
Secretario


Ing. M.Sc. Víctor Andrés Jiménez Drago
Vocal


Ing. M.Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes
Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN N°020-2026-UINV-FIA

Siendo las 11:00 horas del día 26 de JUNIO de 2026, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N°239-2025-FIA, conformado por:

ING. DR. JUAN MANUEL SAAVEDRA TINEO

Presidente

ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA

Secretario

ING. M.SC. VICTOR ANDRES JIMENEZ DRAGO

Vocal



Para llevar a cabo la sustentación de tesis, citados mediante Resolución N°192-2026-FIA; denominado **"EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO AGRÍCOLA EN EL SECTOR LA PEÑA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA LAMBAYEQUE 2025"**, bajo la responsabilidad del bachiller: **JESMAR ORLANDO ROMERO MELENDRES**, asesorado por el **Ing. M.SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminar la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas al sustentante y si hubiera observaciones, anotándolas para su corrección respectiva, el jurado luego de evaluar las rubricas decidió APROBAR la tesis con el calificativo de BUENO correspondiente a la nota de 17 (DIECISIETE).

En consecuencia, el referido Bachiller queda apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:05 horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.


ING. DR. JUAN MANUEL SAAVEDRA TINEO
Presidente de jurado


ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA
Secretario de jurado


ING. M.SC. VICTOR ANDRES JIMENEZ DRAGO
Vocal del jurado


ING. M. SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES
Asesor




Ing. Dr. Alfredo Díaz Córdova
Director de la Unidad de Investigación -FIA

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Yo, **JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**, usuario revisor de la de tesis ☒

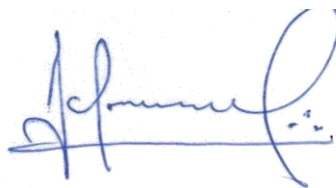
Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ y/o Trabajo Académico ☐, titulado:

“Evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea para riego agrícola en el sector la Peña, distrito de Salas, provincia Lambayeque 2025”, cuyo autor (es): **Jesmar Orlando Romero Melendres** con DNI N°71065115; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 10%, verificables en el Resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 16 de julio del 2026.



Ing. M.SC. Jorge Segundo Cumpa Reyes
DNI. N°17400177
Asesor

Adjunta:
Resumen del Reporte automatizado de similitudes
Recibo digital

Evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea para riego agrícola en el sector la Peña, distrito de Salas, provincia Lambayeque 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

4%

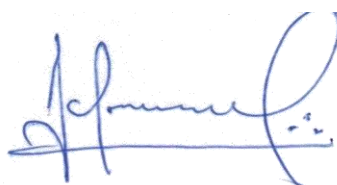
PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
7	link.springer.com Fuente de Internet	<1%
8	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1%
9	AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Planta de Transferencia de Residuos Sólidos Inorgánicos de la Localidad de Chiclayo- IGA0003707", R.D. N° 364- 2015/DSB/DIGESA/SA, 2020 Publicación	<1%

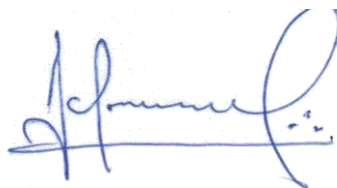


Ing. M.SC. Jorge Segundo Cumpa Reyes

DNI. N°17400177

Asesor

10	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.igme.es Fuente de Internet	<1 %
14	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
15	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
16	www.cepis.org.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1 %
22	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Trabajo del estudiante	<1 %
23	William Senior, Mairin Lemus, Nieves González, Manuel Rey-Méndez, Cesar Lodeiros. "VII FORO IBEROAMERICANO DE LOS RECURSOS MARINOS Y LA	<1 %



Ing. M.SC. Jorge Segundo Cumpa Reyes
DNI. N°17400177
Asesor

ACUICULTURA", Open Science Framework, 2016

Publicación

24	www.congreso.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.fing.uach.mx Fuente de Internet	<1 %
26	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
27	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

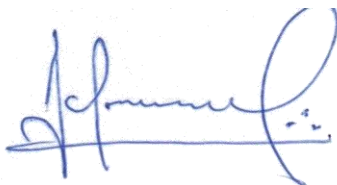
Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Ing. M.SC. Jorge Segundo Cumpa Reyes

DNI. N°17400177

Asesor

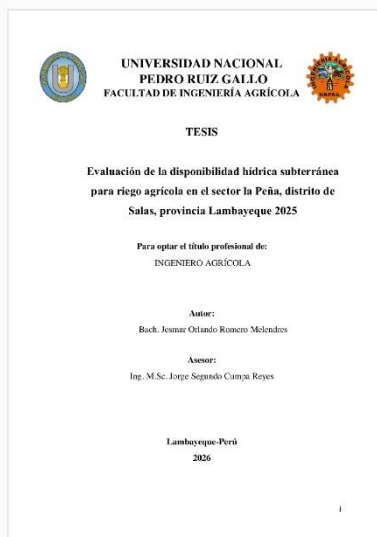


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jesmar Orlando Romero Melendres
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea para riego ...
Nombre del archivo: 05-03-26_INFORME_TESIS_JESMAR.pdf
Tamaño del archivo: 2.21M
Total páginas: 55
Total de palabras: 11,832
Total de caracteres: 69,975
Fecha de entrega: 05-mar-2026 01:42p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2895289654



Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Ing. M.Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes
DNI. N°17400177
Asesor

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por guiarme en cada paso de este camino, por ser mi fortaleza ante las adversidades e impulsarme a seguir avanzando, y por bendecirme con salud, sabiduría y perseverancia para no rendirme.

A mis padres, por su amor infinito, apoyo incondicional y sacrificio constante. Gracias por ser el motor que me impulsó a continuar y alcanzar este logro. A mis hermanos y familia en general, por su apoyo constante, comprensión y palabras de aliento, quienes siempre creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante hasta cumplir esta meta.

Jesmar Orlando Romero Melendres

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profunda gratitud a Dios, por su constante bendición que iluminó mi camino, me dio la fortaleza necesaria para seguir adelante en cada etapa de este proceso y me permitió llegar hasta aquí con la confianza de que vendrán muchos logros más.

A mis padres y hermanos, por su respaldo permanente, paciencia y estímulo permanente, que fueron fundamentales a lo largo de todo este proceso.

A mi asesor de tesis, M. Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes, por su orientación, apoyo permanente y disposición durante el desarrollo de esta investigación. Sus acertadas observaciones, valiosos aportes y comentarios constructivos fueron esenciales para la consolidación y mejora de este proyecto.

Asimismo, agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, quienes contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

Finalmente, expreso mi agradecimiento al señor Hilario Arce, presidente de la Comisión de Usuarios del Sub Sector Hidráulico–Salas, por su apoyo, disposición y colaboración, los cuales fueron valiosos aportes para el cumplimiento de este estudio.

Jesmar Orlando Romero Melendres

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el sector La Peña, distrito de Salas; con el propósito de evaluar la disponibilidad hídrica subterránea para uso en riego agrícola, comparando la oferta del acuífero con la demanda hídrica de los cultivos predominantes. La metodología fue de tipo aplicada y de nivel descriptivo-evaluativo, evaluando tres pozos de agua subterránea mediante mediciones de campo, análisis físico-químicos del agua y del suelo, revisión documental y estimación de la demanda hídrica con CROPWAT. Los resultados mostraron profundidades de 25.8 a 30.0 m, niveles estáticos de 5 a 6 m, caudales de 30 a 35 L/s, agua con pH 7.24 y RAS en 2.0, suelo franco arenoso con pH 7.26, la caña de azúcar en 467 ha como cultivo de mayor demanda hídrica, una oferta hídrica de 1,160.87 MMC/año, una demanda de 1,082.28 MMC/año y un balance positivo de 78.59 MMC/año, aunque el agua subterránea representa solo 87.2 MMC/año en 7.51% de la oferta total. Se concluye que el recurso hídrico subterráneo es apto para el riego agrícola, pero su sostenibilidad futura requiere mejorar la eficiencia del riego y fortalecer la gestión del acuífero.

Palabras claves: Disponibilidad hídrica, Agua subterránea, Riego agrícola, Sostenibilidad, Eficiencia del riego

ABSTRACT

This study was conducted in the La Peña sector of the Salas district with the aim of evaluating the availability of groundwater for agricultural irrigation by comparing the aquifer's supply with the water demand of the predominant crops. The methodology was applied and descriptive-evaluative in nature, assessing three groundwater wells through field measurements, physical-chemical analyses of water and soil, a literature review, and estimation of water demand using CROPWAT. The results showed depths ranging from 25.8 to 30.0 m, static water levels of 5 to 6 m, flow rates of 30 to 35 L/s, water with a pH of 7.24 and a RAS of 2.0, sandy loam soil with a pH of 7.26, sugarcane covering 467 ha as the crop with the highest water demand, a water supply of 1,160.87 MMC/year, a demand of 1,082.28 MMC/year, and a positive balance of 78.59 MMC/year, although groundwater accounts for only 87.2 MMC/year, or 7.51% of the total supply. It is concluded that the groundwater resource is suitable for agricultural irrigation, but its future sustainability requires improving irrigation efficiency and strengthening aquifer management.

Keywords: Water availability, Groundwater, Agricultural irrigation, Sustainability, Irrigation efficiency

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I: PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación del estudio	3
1.5. Limitaciones de la investigación.....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1. Antecedentes del estudio.....	4
2.2. Bases teóricas	5
2.3. Definición de términos	6
2.4. Hipótesis	6
2.4.1. Hipótesis general.....	6
2.4.2. Hipótesis específicas	7
2.5. Variables.....	7

2.5.1.	Definición conceptual de la variable	7
2.5.2.	Definición operacional de la variable.....	7
2.5.3.	Operacionalización de la variable	8
CAPITULO III: METODOLOGÍA		9
3.1.	Tipo y nivel de investigación	9
3.2.	Descripción del ámbito de la investigación	9
3.3.	Población y muestra	9
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	9
3.5.	Validez y confiabilidad del instrumento	10
3.6.	Plan de recolección y procesamiento de datos	10
CAPITULO VI: RESULTADOS		11
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....		39
CONCLUSIONES		44
RECOMENDACIONES		46
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		47
ANEXOS		50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de operacionalización	8
Tabla 2 Ubicación del pozo	11
Tabla 3 Caracterización de los pozos evaluados	12
Tabla 4 Análisis físico del agua.....	13
Tabla 5 Análisis químico del agua.....	14
Tabla 6 Análisis físico y químico del suelo.....	16
Tabla 7 Principales cultivos y áreas de siembra en el sector La Peña	19
Tabla 8 Requerimientos hídricos de cultivos predominantes.....	21
Tabla 9 Datos climáticos promedio del distrito de Salas (Lambayeque).....	23
Tabla 10 Coeficiente de cultivo (Kc) - Maíz de grano	24
Tabla 11 Profundidad radicular del maíz de grano	26
Tabla 12 Oferta hídrica anual de la cuenca Chancay–Lambayeque	28
Tabla 13 Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	29
Tabla 14 Resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).....	31
Tabla 15 Distribución de la demanda hídrica por tipo de uso.....	35
Tabla 16 Balance hídrico anual de la cuenca.....	36
Tabla 17 Factores que afectan la sostenibilidad del agua subterránea para riego	37
Tabla 18 Evaluación de sostenibilidad del uso del agua subterránea.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de los pozos en el sector la Peña.....	11
Figura 2 Comparación del análisis físico y químico del agua.....	15
Figura 3 Análisis físico y químico del suelo	17
Figura 4 Mapa geológico del departamento de Lambayeque	18
Figura 5 Comparación de los principales cultivos y áreas de siembra.....	19
Figura 6 <i>Comparación hídricos de cultivos predominantes</i>	22
Figura 7 Comparación de los datos climáticos promedio del distrito de Salas	23
Figura 8 Comparación del coeficiente de cultivo (Kc) - Maíz de grano	25
Figura 9 <i>Mapa de ubicación del sector La Peña, distrito de Salas</i>	27
Figura 10 Perfiles geológicos del sector La Peña.....	29
Figura 11 Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	30
Figura 12 Mapa de cobertura vegetal del sector La Peña.....	34
Figura 13 Comparación porcentual de la demanda hídrica por uso	35
Figura 14 Balance hídrico anual de la cuenca.....	36
Figura 15 Reunión con el presidente de la comisión de usuarios	50
Figura 16 Visita a campo de estudio	50
Figura 17 Evidencia de muestra de agua.....	51

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es uno de los recursos más importantes para el desarrollo agrícola, sobre todo en zonas donde las lluvias son escasas y las fuentes superficiales resultan insuficientes para cubrir las necesidades de riego. En el sector La Peña, distrito de Salas, provincia de Lambayeque, la mayoría de los agricultores depende directamente del agua subterránea para mantener la producción de sus cultivos, principalmente de caña de azúcar, plátano, maíz y limón. Sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado una creciente preocupación por la disminución de la disponibilidad del recurso, producto de la sobreexplotación de los pozos, la falta de control en el uso del agua y la ausencia de estudios técnicos actualizados que permitan conocer la verdadera capacidad del acuífero.

Ante esta situación, el presente estudio tiene como finalidad analizar la cantidad y aptitud del agua subterránea disponible para el riego agrícola, así como determinar si la oferta del acuífero es suficiente para satisfacer la demanda hídrica de los principales cultivos de la zona. Para ello, se evaluaron las características físicas e hidráulicas de los pozos, la calidad del agua, el tipo de suelo y los requerimientos de riego según las condiciones climáticas locales. El estudio busca generar información técnica que sirva como base para una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico, permitiendo mejorar las prácticas de riego, evitar la sobreexplotación del acuífero y garantizar la continuidad de la actividad agrícola en beneficio de las familias del sector La Peña, que dependen directamente de la agricultura como fuente principal de sustento.

CAPITULO I: PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A escala internacional, la disponibilidad y calidad del agua subterránea se han transformado en un asunto crucial para el progreso agrícola y la salud pública. Por ejemplo, en la llanura septentrional de China, el agua subterránea constituye una fuente incomparable tanto para el riego como para el consumo humano. No obstante, investigaciones recientes han demostrado que una porción significativa de esta fuente exhibe niveles elevados de salinidad y contaminantes químicos como flúor e yodo, excediendo los límites permitidos y constituyendo un peligro para la salud humana, particularmente en grupos vulnerables como niños y mujeres. Adicionalmente, la explotación excesiva del recurso hídrico ha causado la compresión de las capas del suelo, lo cual intensifica la concentración de ciertos elementos perjudiciales. Esta circunstancia pone de manifiesto la imperiosa necesidad de instaurar estrategias de administración sostenible del agua subterránea y sistemas de monitoreo que aseguren su aptitud para el riego agrícola, evitando de esta manera posibles repercusiones adversas en los suelos, los cultivos y la salud de la población (Haipeng et al., 2021).

Por otro lado, la demanda agrícola en aumento ha suscitado inquietud respecto a la disponibilidad y calidad del agua subterránea para el riego. Investigaciones recientes han evidenciado que factores tales como la salinidad, la proporción de sodio y la variabilidad estacional influyen en su idoneidad. A pesar de la introducción de nuevas metodologías para la evaluación de su uso en el sector agrícola, aún persiste la necesidad de una gestión apropiada que garantice el aprovechamiento sostenible del recurso (Chidambaram et al., 2022).

A nivel nacional, varias regiones del país, tales como Ayacucho y la cuenca del río Yauca, enfrentan una escasez de agua en aumento debido a la variabilidad climática, la cual proyecta una disminución considerable de las precipitaciones para el año 2050. Esta circunstancia pone en riesgo la disponibilidad de agua, ya sea superficial o subterránea, afectando directamente la actividad agrícola y poniendo de manifiesto la necesidad de evaluar y administrar de manera sostenible los recursos hídricos subterráneos para asegurar la seguridad hídrica del sector agrario (Tarazona, 2024).

Por consiguiente, a esta problemática, se torna esencial examinar la disponibilidad de agua subterránea en zonas agrícolas vulnerables del país, como el sector La Peña, ubicado en el distrito de Salas, en la provincia de Lambayeque. Esta región depende considerablemente del agua subterránea para el riego, particularmente en situaciones de escasez de agua superficial. No obstante, la ausencia de informes técnicos actualizados acerca de la cantidad y calidad del recurso restringe la planificación eficaz del riego agrícola, lo cual podría comprometer la sostenibilidad de la producción agrícola local en caso de escenarios climáticos débiles.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la disponibilidad hídrica subterránea en el sector La Peña y cómo influye en el desarrollo del riego agrícola en el distrito de Salas, provincia de Lambayeque?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físico-hidráulicas de las fuentes de agua subterránea en el sector La Peña, incluyendo profundidad, niveles estáticos y dinámicos, y caudales de extracción y recarga?
- ¿Cuál es la demanda hídrica de los cultivos predominantes en el sector La Peña, considerando sus requerimientos, área cultivada y tipo de riego utilizado?
- ¿Existe un equilibrio entre la oferta hídrica subterránea y la demanda agrícola en el sector La Peña que garantice un uso sostenible del recurso en el mediano y largo plazo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la disponibilidad hídrica subterránea para uso en riego agrícola en el sector La Peña, distrito de Salas, provincia de Lambayeque.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las fuentes de agua subterránea del distrito, identificando la profundidad de los pozos, niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción y recarga.
- Determinar la demanda hídrica de los cultivos predominantes en la zona, en función de las necesidades hídricas, área cultivada y prácticas de riego utilizadas.
- Comparar la oferta hídrica subterránea con la demanda agrícola, estableciendo el balance hídrico y evaluando la sostenibilidad del uso del agua subterránea en el mediano y largo plazo.

1.4. Justificación del estudio

La investigación se justifica ya que permitirá contar con información técnica actualizada sobre la disponibilidad de agua subterránea para el riego agrícola en el sector La Peña, donde este recurso constituye la principal fuente de abastecimiento para la actividad agrícola. Los resultados contribuirán a una mejor planificación del riego, favoreciendo el uso eficiente y sostenible del agua, la estabilidad de la producción agrícola y el bienestar de los agricultores. Asimismo, el estudio servirá como base técnica para la toma de decisiones por parte de agricultores y autoridades locales, ayudando a prevenir la sobreexplotación del acuífero, el descenso de los niveles freáticos y posibles impactos ambientales.

1.5. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se desarrolla considerando algunas limitaciones:

- Limitada disponibilidad de información histórica sobre niveles freáticos, caudales de extracción y recarga del agua subterránea en el sector La Peña.
- Falta de registros técnicos completos y actualizados en algunos pozos existentes en la zona de estudio.
- Posibles variaciones en la demanda hídrica debido a cambios en las prácticas de riego y en los cultivos predominantes.
- El estudio se centra exclusivamente en la disponibilidad hídrica subterránea para riego agrícola, sin considerar otros usos del recurso ni un análisis detallado de la calidad del agua.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

Carrión et al., (2024), realizaron un estudio donde elaboraron un mapa del potencial del recurso hidrogeológico a través de campañas geológicas y geoeléctricas, además de herramientas de análisis multicriterio y sistemas de datos geográficos. La metodología utilizada fue aplicada, empleando el Sondeo Electromagnético Transitorio, el Sondeo Eléctrico Vertical y el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), todos integrados en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los hallazgos obtenidos indicaron Zonas de Potencial Acuático (ZPA) de elevada magnitud en los sectores noreste y centro-sur, con espesores de acuíferos de 10 y 5 metros, resistencias entre 20 y 80 Ω m y litologías favorables. Concluyeron que la implementación de técnicas geofísicas y Sistemas de Información Geográfica facilita la localización de áreas estratégicas para la sostenibilidad hídrica agrícola. La contribución de la presente investigación radica en el enfoque metodológico para la identificación de áreas de alta disponibilidad hídrica subterránea, lo cual resulta beneficioso para la planificación del uso agrícola del agua en zonas con escasez superficial como La Peña.

Ortiz et.al (2021), Evaluaron el comportamiento del agua subterránea en una región semiárida, teniendo en cuenta su cantidad y calidad, para el consumo humano y la irrigación agrícola. La metodología consistió en una investigación centrada en la teoría de sistemas de flujo, la implementación del Índice de Calidad del Agua (ICA), el análisis de cationes y aniones, y la clasificación del agua para riego conforme a las normas internacionales y mexicanas. Los resultados obtenidos indicaron valores de arsénico entre 0,49 y 61,40 $\mu\text{g/L}$ en el año 2005 y hasta 241,30 $\mu\text{g/L}$ en el año 2015, así como valores de flúor de hasta 5,40 mg/L en el año 2015. Concluyeron que el arsénico y el flúor son factores cruciales en la calidad del agua subterránea y deben ser supervisados con regularidad. La contribución de esta investigación al presente estudio es la utilización del ICA con parámetros específicos para evaluar la calidad del agua subterránea destinada al riego, lo que facilita una interpretación más exacta de su aptitud agrícola.

Mires y Gonzales (2023), evaluaron la eficacia de un sistema de riego tecnificado por goteo en la producción de papaya, mediante la aplicación de estudios de suelo, agua, topografía y análisis estadísticos, agronómicos, hidráulicos

y financieros. La metodología aplicada se utilizó en tres fases: la recolección de datos topográficos, el análisis de las características del suelo y la disponibilidad hídrica, y el procesamiento de datos utilizando herramientas como CROPWAT y Excel. Los hallazgos obtenidos evidenciaron un incremento en la eficiencia del sistema de riego, alcanzando un 77.7%, así como una disponibilidad de agua subterránea suficiente para satisfacer la demanda hídrica del campo. Concluyeron que, a través de un diseño hidráulico apropiado y la utilización de materiales locales, es posible optimizar el riego y disminuir los costos para los agricultores de pequeña escala. La contribución de la presente investigación es la evidencia de que la disponibilidad y el uso eficaz del agua subterránea pueden ser fundamentales para asegurar la sostenibilidad agrícola en áreas con escasez de agua superficial.

Paccari (2025), determinó si la calidad del agua de los pozos del sector Chanchuyo del centro poblado de Pucarlaya es adecuada para el consumo humano. El enfoque metodológico utilizado fue descriptivo con un diseño no experimental, analizando muestras de tres pozos conforme al Protocolo Nacional de Calidad de los Recursos Hídricos de la ANA. Los hallazgos evidenciaron que los parámetros físico-químicos se ajustan a los Límites Máximos Permisibles, registrando un pH de 6.86, una conductividad eléctrica de 75.30 uS/cm y una dureza total de 357.84 mg/L, entre otros aspectos. No obstante, los parámetros microbiológicos no se ajustaron a las normas establecidas, presentando coliformes totales y fecales en concentraciones promedio de <1 UFC/100 ml. Concluyó que el agua no se encuentra adecuada para el consumo humano debido a la presencia de contaminantes microbiológicos, a pesar de que cumple con los parámetros físico-químicos establecidos. La contribución de esta investigación a la presente investigación radica en la importancia de examinar tanto la calidad físico-química como la microbiológica del agua subterránea para evaluar su aptitud, particularmente en áreas agrícolas de uso múltiple.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua subterránea

El agua subterránea es aquella que se halla almacenada en los poros y fracturas de los suelos y rocas subterráneas. Representa una de las fuentes más significativas para el suministro agrícola, particularmente en regiones áridas y semiáridas (Santiago, 2017).

2.2.2. Disponibilidad hídrica

La disponibilidad hídrica se define como el volumen de agua disponible en calidad y cantidad suficientes para cumplir con las necesidades de un uso específico, en un lugar y tiempo específicos, sin comprometer el equilibrio del ecosistema, sin alterar el equilibrio del ecosistema (Moreno, 2006).

Demanda hídrica agrícola

Se refiere al volumen de agua necesario para cubrir las necesidades hídricas de un cultivo en una fase de crecimiento específica, bajo condiciones climáticas específicas (Hermoza y otros)

2.3. Definición de términos

- **Acuífero:** Formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea en cantidades aprovechables mediante pozos o manantiales.
- **Nivel freático:** Superficie superior del agua subterránea, donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.
- **Nivel estático:** Profundidad del agua subterránea medida en un pozo cuando no se realiza ningún tipo de bombeo.
- **Nivel dinámico:** Profundidad del agua subterránea medida durante el funcionamiento del sistema de bombeo.
- **Caudal:** Volumen de agua extraída de un pozo por unidad de tiempo, generalmente expresado en litros por segundo.
- **Recarga del acuífero:** Proceso mediante el cual el agua proveniente de precipitaciones o infiltraciones superficiales ingresa al acuífero.
- **Demanda hídrica agrícola:** Cantidad de agua requerida por los cultivos para su adecuado crecimiento y desarrollo en función del clima, suelo y sistema de riego.
- **Riego agrícola:** Aplicación controlada de agua al suelo con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- La disponibilidad hídrica subterránea en el sector La Peña es suficiente y adecuada en términos de cantidad y calidad para satisfacer las necesidades del riego agrícola en el distrito de Salas, provincia de Lambayeque.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Las fuentes de agua subterránea en el sector La Peña presentan características adecuadas en términos de profundidad, niveles y caudales que permiten su aprovechamiento eficiente para el riego agrícola.
- Los cultivos predominantes en el sector La Peña presentan una demanda hídrica que puede ser cuantificada con base en sus necesidades agronómicas, la extensión de cultivo y las prácticas de riego empleadas.
- La oferta hídrica subterránea en el sector La Peña es suficiente para cubrir la demanda agrícola actual, permitiendo un uso sostenible del recurso en el mediano y largo plazo.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente: Disponibilidad hídrica: Se refiere a la cantidad de agua subterránea existente en un acuífero y que puede ser aprovechada de manera sostenible, considerando aspectos como profundidad de captación, niveles freáticos, caudales de extracción, recarga y calidad del agua.

Variable dependiente: Riego agrícola: Uso del agua subterránea para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos agrícolas, en función del tipo de cultivo, área sembrada, demanda hídrica y método de riego empleado.

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable independiente: Disponibilidad hídrica: Se evaluará mediante la medición de la profundidad de los pozos, niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción, estimación de la recarga del acuífero y análisis de parámetros físico-químicos del agua subterránea.

Variable dependiente: Riego agrícola: Se medirá a partir del cálculo de la demanda hídrica de los cultivos predominantes, la superficie agrícola bajo riego, el tipo de cultivo existente y las prácticas de riego utilizadas por los agricultores del sector La Peña.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 1

Tabla de operacionalización

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Disponibilidad hídrica	Se refiere a la cantidad de agua subterránea existente en un acuífero y que puede ser aprovechada de manera sostenible, considerando aspectos como profundidad de captación, niveles freáticos, caudales de extracción, recarga y calidad del agua.	Se evaluará mediante la medición de la profundidad de los pozos, niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción, estimación de la recarga del acuífero y análisis de parámetros físico-químicos del agua subterránea.	Profundidad de captación	Profundidad de pozos (m)	Ordinal
			Nivel freático	Nivel estático y dinámico (m)	
			Caudal de extracción	Caudal bombeado (L/s)	
			Recarga del acuífero	Estimación de recarga (mm/año)	
			Calidad del agua	Parámetros fisicoquímicos (pH, CE, sólidos disueltos)	
Variable Dependiente: Riego agrícola	Uso del agua subterránea para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos agrícolas, en función del tipo de cultivo, área sembrada, demanda hídrica y método de riego empleado.	Se medirá a partir del cálculo de la demanda hídrica de los cultivos predominantes, la superficie agrícola bajo riego, el tipo de cultivo existente y las prácticas de riego utilizadas por los agricultores del sector La Peña.	Demanda hídrica	Requerimiento de agua del cultivo (mm/ha)	Razonal
			Área cultivada	Superficie agrícola (ha)	
			Tipo de cultivo	Cultivos predominantes	
			Práctica de riego	Método de riego usado (gravedad, goteo, etc.)	

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar información técnica útil para la gestión del agua subterránea destinada al riego agrícola en el sector La Peña. Asimismo, corresponde a un nivel descriptivo y evaluativo, ya que se describen las características hidrogeológicas del recurso subterráneo y se evalúa su disponibilidad en relación con la demanda hídrica agrícola.

3.2. Descripción del ámbito de la investigación

La investigación se desarrolló en el sector La Peña, ubicado en el distrito de Salas, provincia de Lambayeque. Esta zona se caracteriza por una actividad agrícola predominante y una alta dependencia del agua subterránea para el riego, especialmente en periodos de escasez de agua superficial. El ámbito de estudio comprende los pozos utilizados para riego agrícola y las áreas cultivadas que dependen de estas fuentes de abastecimiento.

3.3. Población y muestra

La población estuvo conformada por todos los pozos y fuentes de agua subterránea existentes en el sector La Peña que son utilizados con fines de riego agrícola.

La muestra estuvo constituida por tres pozos de tajo abierto destinados al riego agrícola, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios de accesibilidad, uso agrícola continuo, estado operativo y características hidrogeológicas similares del sector La Peña. Los pozos evaluados corresponden a profundidades totales de 25.80 m (P-01), 26.00 m (P-02) y 30.00 m (P-03). Al tratarse de pozos existentes y en funcionamiento, dichas profundidades fueron consideradas para la evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea, ya que representan las condiciones reales de explotación del acuífero en la zona de estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Para la recolección de información se emplearon diversas técnicas e instrumentos:

Las técnicas utilizadas fueron la observación directa en campo, la medición de niveles y caudales, el análisis de laboratorio del agua subterránea y la revisión documental de información hidrogeológica y agrícola existente.

Los instrumentos empleados incluyeron cinta métrica para la medición de niveles, GPS para la ubicación de los pozos, medidor de caudal y balde aforador para los aforos, fichas técnicas de recolección de datos y formatos para el análisis de la calidad del agua.

Asimismo, se utilizaron equipos y materiales como kits de muestreo de agua, recipientes para muestras, equipo de protección personal y herramientas informáticas como el software CROPWAT y hojas de cálculo en Excel para el procesamiento de datos.

3.5. Validez y confiabilidad del instrumento

La validez de los instrumentos de recolección de datos se garantizó mediante la revisión de literatura técnica especializada en estudios hidrogeológicos y de riego agrícola. Asimismo, los parámetros evaluados se ajustaron a normas y metodologías reconocidas.

La confiabilidad se aseguró a través de la aplicación sistemática de los instrumentos en todos los puntos de muestreo, el uso de equipos calibrados y la verificación de los datos obtenidos en campo y laboratorio, lo que permitió reducir errores y asegurar la consistencia de la información recolectada.

3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos

La recolección de datos se realizó mediante visitas de campo a los pozos seleccionados, donde se efectuaron mediciones de profundidad, niveles estáticos y dinámicos, así como aforos para determinar los caudales de extracción. Paralelamente, se tomaron muestras de agua subterránea para su análisis físico-químico en laboratorio.

Posteriormente, se recopiló información sobre los cultivos predominantes, áreas cultivadas y prácticas de riego mediante entrevistas y revisión de registros agrícolas. La demanda hídrica de los cultivos fue estimada utilizando el software CROPWAT, considerando datos climáticos y agronómicos de la zona.

Por último, los datos obtenidos fueron organizados, procesados y analizados en hojas de cálculo, permitiendo comparar la oferta hídrica subterránea con la demanda agrícola y establecer conclusiones sobre la disponibilidad y sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo en el sector La Peña.

CAPITULO VI: RESULTADOS

4.1. Caracterizar las fuentes de agua subterránea del distrito, identificando la profundidad de los pozos, niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción y recarga.

La caracterización de las fuentes de agua subterránea del sector La Peña se realizó a partir de los informes técnicos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y un laboratorio acreditado, los cuales incluyeron información sobre las condiciones hidráulicas, así como los análisis físico-químicos y bacteriológicos del recurso. Entre los pozos evaluados, el pozo destaca por su importancia en el abastecimiento para riego agrícola.

Tabla 2

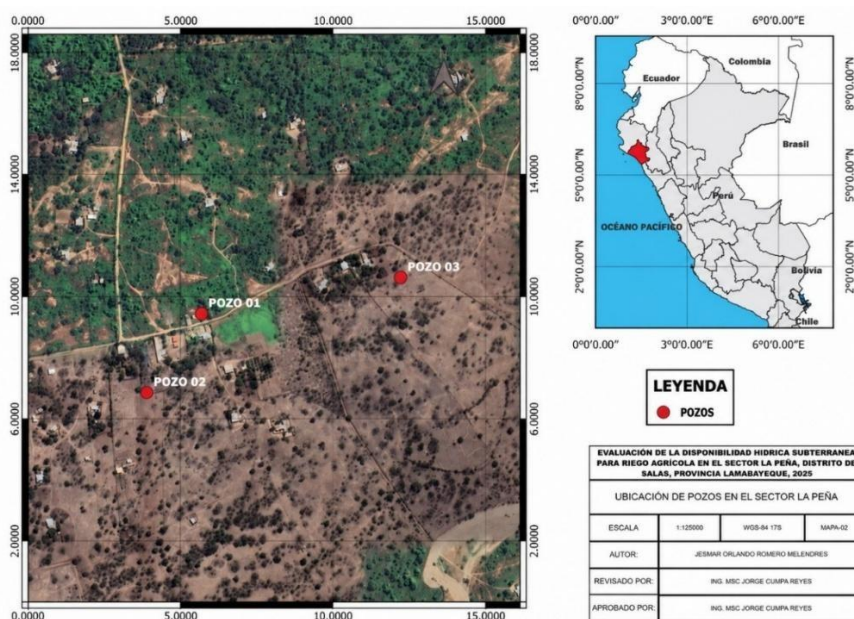
Ubicación del pozo

Definición	Coordenadas	
	Norte	Este
Pozo P-01	9306244	653972
Pozo P-02	9302747	650960
Pozo P-03	9302795	650927

Nota. Elaboración propia trabajo de campo

Figura 1

Ubicación de los pozos en el sector la Peña



La figura 1 presenta la ubicación georreferenciada de los tres pozos evaluados mediante coordenadas UTM, permitiendo su identificación y localización precisa en el sector La Peña. La distribución espacial de los pozos garantiza una cobertura representativa del área de estudio y facilita la comparación de las condiciones hidrogeológicas y de la calidad del agua.

Tabla 3

Caracterización de los pozos evaluados

Característica	Pozo P-01	Pozo P-02	Pozo P-03
Tipo de pozo	Tajo abierto	Tajo abierto	Tajo abierto
Uso	Riego agrícola	Riego agrícola	Riego agrícola
Profundidad total (m)	25.8	26	30
Nivel estático (m)	5	5	6
Nivel dinámico (m)	10	10	11
Abatimiento (m)	5	5	6
Caudal de extracción (L/s)	30	30	35
Método de extracción	Motobomba	Motobomba	Motobomba
Área aproximada de riego (ha)	3	4	5
Cultivos predominantes	Caña de azúcar, plátano	Caña de azúcar, maíz	Plátano, limón y menestras
Estado del pozo	Operativo	Operativo	Operativo

Nota: Elaboración propia trabajo de campo, 2025

La tabla 3 muestra que los tres pozos presentan características hidráulicas similares, lo que evidencia una respuesta homogénea del acuífero en el área de estudio. La profundidad total varía entre 25.8 y 30.0 m, con un promedio de 27.27 m, registrándose el mayor valor en el pozo P-03. El nivel estático oscila entre 5 y 6 m (promedio: 5.33 m), mientras que el nivel dinámico se encuentra entre 10 y 11 m (promedio: 10.33 m), indicando una variación máxima de solo 1.0 m entre pozos. Asimismo, el abatimiento presenta valores comprendidos entre 5 y 6 m, con un promedio de 5.33 m, lo que representa aproximadamente el 19.6% de la profundidad media de los pozos, reflejando una respuesta hidráulica estable durante el bombeo.

En cuanto al caudal de extracción, los pozos P-01 y P-02 registran 30 L/s, mientras que el pozo P-03 alcanza 35 L/s, obteniéndose un caudal promedio de 31.67 L/s y una diferencia máxima de 5 L/s (16.7 % respecto al menor caudal). Estos valores permiten abastecer áreas agrícolas comprendidas entre 3 y 5 ha, con un promedio de 4 ha por pozo, destinadas principalmente al cultivo de caña de azúcar, plátano, maíz, limón y menestras. Además, el 100 % de los pozos evaluados se encuentra operativo y emplea motobombas como sistema de extracción, lo que confirma condiciones uniformes de operación y una disponibilidad adecuada del recurso hídrico para las actividades agrícolas del sector. Posteriormente, se evaluaron los parámetros físico-químicos del agua subterránea con el propósito de determinar su calidad y establecer su aptitud para el uso en riego.

Tabla 4

Análisis físico del agua

Parámetro	Valores
TEX.	1.00
C.E uS/cm	-
P.H	7.24
M.O	7.03
N%	-
P%	-
K%	-

Nota. Obtenido del estudio de Análisis físico y químico del agua

La Tabla 4 muestra el agua del pozo que presenta un pH de 7.24, lo que indica una condición neutra y adecuada para el riego agrícola. El valor de materia orgánica de 7.03% señala una ligera presencia de compuestos naturales, sin representar riesgo para los cultivos, además la textura registrada refleja una baja turbidez, lo que confirma la buena claridad del agua. Aunque no se cuenta con el valor de conductividad eléctrica, los resultados sugieren una salinidad baja, compatible con la mayoría de suelos agrícolas.

Tabla 5*Análisis químico del agua*

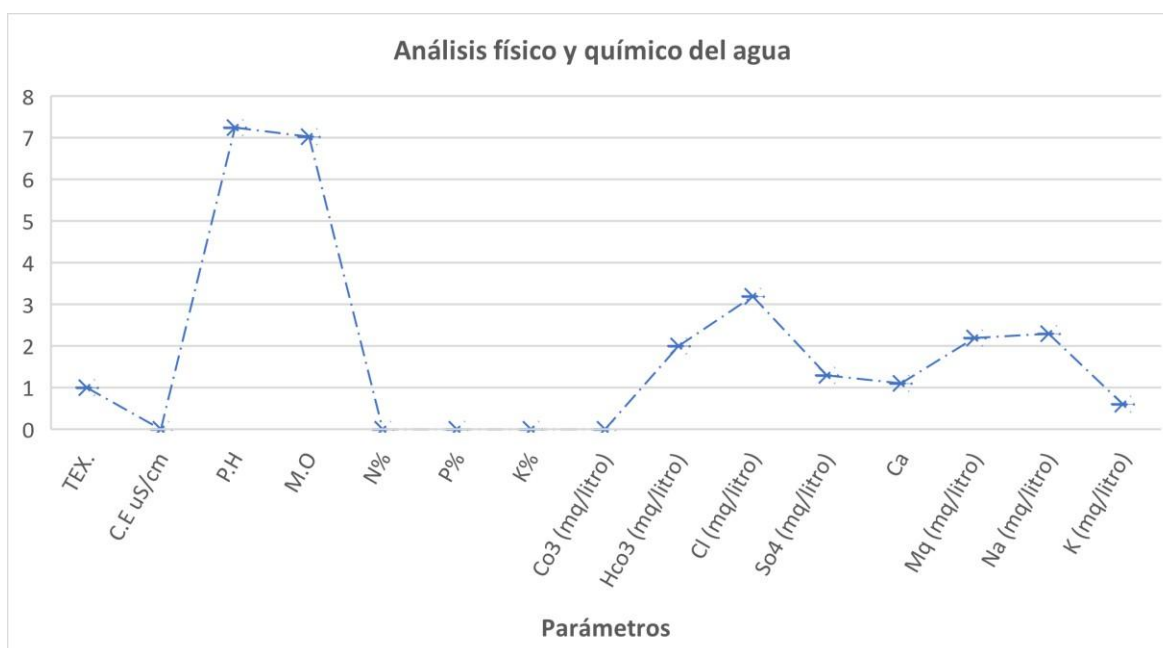
Parámetro	Valores (mq/litro)
Co3	0.00
Hco3	2.00
Cl	3.20
So4	1.30
Ca	1.10
Mq	2.20
Na	2.30
K	0.60

Nota. Obtenido del estudio de Análisis físico y químico del agua

La Tabla 5 muestra que los valores químicos del agua presentan concentraciones equilibradas de iones principales, con HCO_3 de 2.00 meq/L y ausencia de carbonatos, lo que indica baja alcalinidad. Los cloruros (Cl) de 3.20 meq/L y sulfatos (So_4) en 1.30 meq/L se encuentran dentro de los límites establecidos por la FAO, mientras que los cationes calcio, magnesio y sodio mantienen proporciones adecuadas. El valor estimado de RAS es cercano a 2.0, lo que clasifica al agua como de bajo riesgo de sodificación y ligeramente salina.

Figura 2

Comparación del análisis físico y químico del agua



La Figura 2 muestra que el pH alcanza un valor aproximado de 7,2, lo que indica que el agua es ligeramente alcalina. La materia orgánica (M.O.) presenta un valor similar, alrededor de 7,0, lo que evidencia una presencia moderada de compuestos orgánicos. además, los porcentajes de nitrógeno (N%), fósforo (P%) y potasio (K%) son prácticamente 0, reflejando una concentración mínima de estos nutrientes.

Los parámetros de carbonatos (CO₃, HCO₃) y cloruros (Cl) se encuentran cercanos a 0 mg/L, mientras que los sulfatos (SO₄) presentan un valor de aproximadamente 1,4 mg/L, indicando una baja presencia de sales. Los minerales como calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) alcanzan valores entre 2,0 y 2,3 mg/L, mostrando una mineralización moderada del agua, por último, el potasio (K) tiene un valor cercano a 0,7 mg/L, dentro de rangos bajos.

Ante ello, el agua analizada es de baja conductividad eléctrica, con moderada presencia de minerales, ligeramente alcalina y con contenido orgánico notable, mientras que los nutrientes y algunos iones permanecen en concentraciones mínimas, lo que indica un agua con características aptas para consumo o uso agrícola dependiendo de los límites establecidos por normas locales.

Por otro lado, a su vez se efectuó la evaluación físico y química del suelo del pozo

Tabla 6

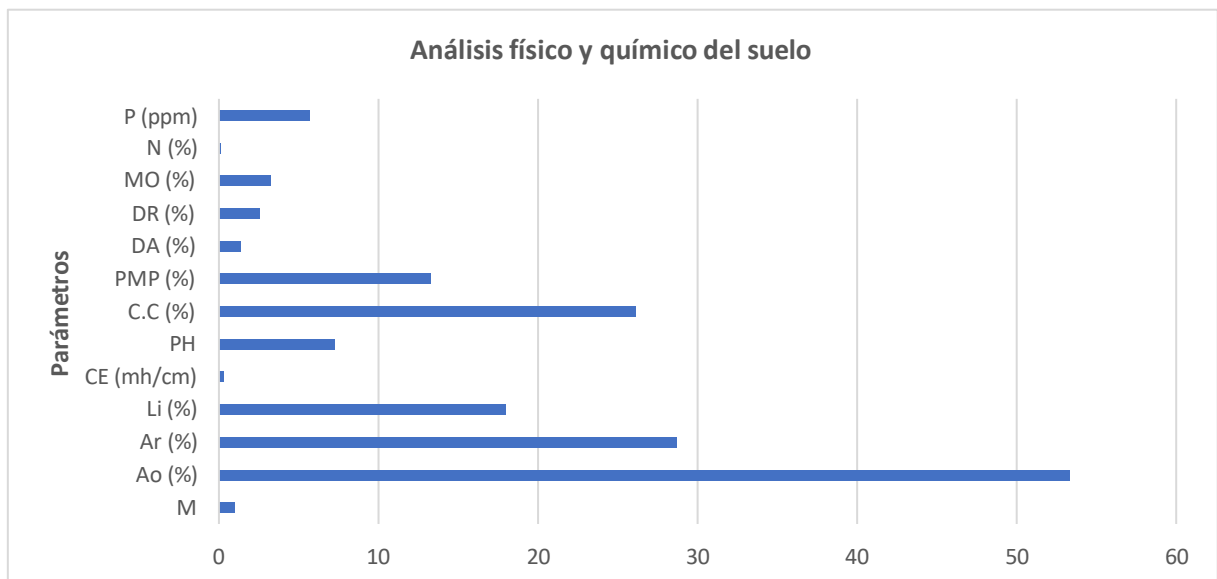
Análisis físico y químico del suelo

Parámetros	Valores
M	1.00
Ao (%)	53.32
Ar (%)	28.68
Li (%)	18.00
TEXTURA	Fr Ar Ao
CE (mh/cm)	0.32
PH	7.26
C.C (%)	26.13
PMP (%)	13.29
DA (%)	1.35
DR (%)	2.54
MO (%)	3.25
N (%)	0.092
P (ppm)	5.70
K (ppm)	420

Nota. Obtenido del estudio de Análisis físico y químico del suelo

Figura 3

Análisis físico y químico del suelo



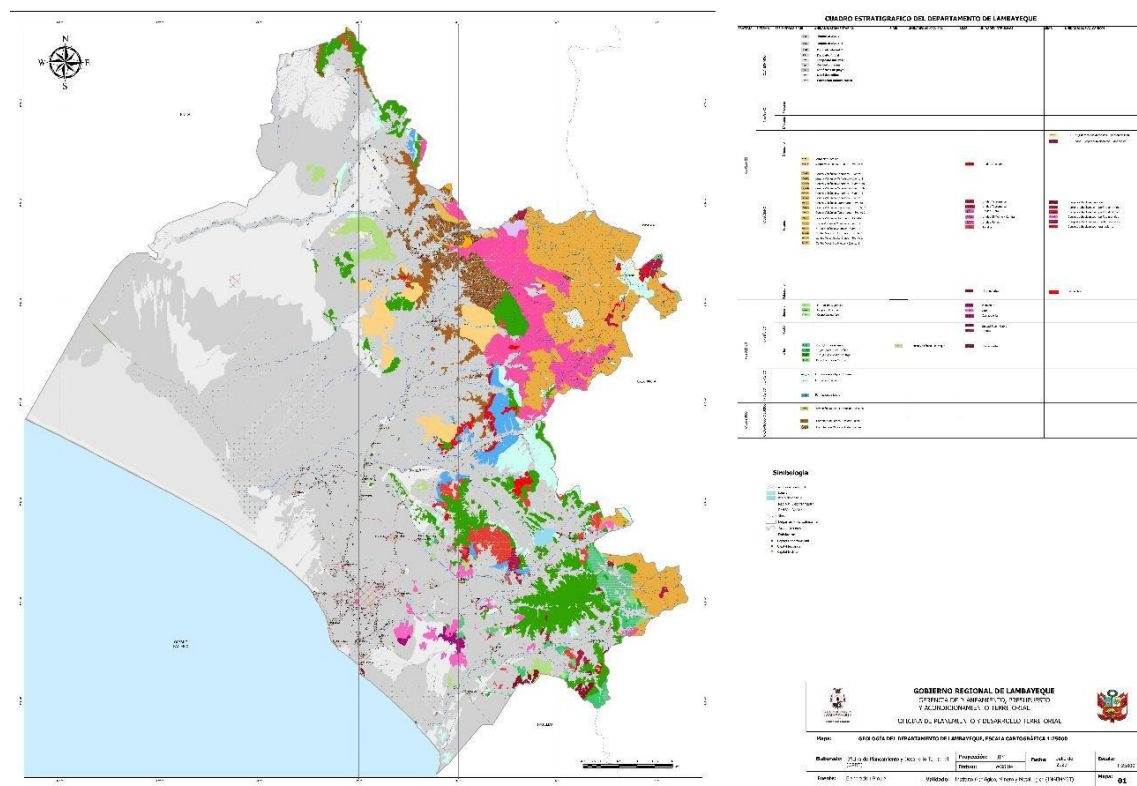
La Figura 3 muestra que el suelo del área tiene una textura franco arenosa (Fr–Ar–Ao), con buen drenaje y permeabilidad. El pH de 7.26 confirma una condición neutra, mientras que la conductividad eléctrica de 0.32 mh/cm clasificándolo como no salino. El contenido de materia orgánica es de 3.25% siendo moderado y favorece la fertilidad, complementado por niveles aceptables de nitrógeno, fósforo y potasio. Las densidades aparente y real son de 1.35 y 2.54 g/cm³, respectivamente, lo cual indican una estructura suelta y aireada.

4.1.1. Datos Geológicos y de Recarga

El mapa geológico del sector La Peña, elaborado a partir de la información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), muestra que el área está conformada principalmente por depósitos aluviales recientes, constituidos por gravas, arenas y limos de origen fluvial, que presentan alta permeabilidad y excelente capacidad de infiltración, lo cual estas características facilitan la recarga del acuífero subterráneo y explican la presencia de pozos con niveles estáticos y dinámicos estables, como es el pozo.

Figura 4

Mapa geológico del departamento de Lambayeque



Nota. Tomado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)

La Figura 4 muestra la configuración geológica donde se evidencia un sistema favorable para la acumulación y aprovechamiento del recurso hídrico, que sustenta la actividad agrícola predominante en la zona, lo cual la geología del sector La Peña desempeña un papel clave en la formación, almacenamiento y recarga del acuífero, garantizando la disponibilidad del agua subterránea utilizada para el riego agrícola en el distrito de Salas.

El análisis del pozo demuestra que el agua subterránea del sector La Peña presenta un pH neutro y baja salinidad, siendo apta para riego agrícola y sin riesgo de sodificación. Los iones analizados se mantienen dentro de los límites establecidos por la FAO, lo que evidencia una buena calidad química del recurso. Asimismo, el suelo franco arenoso, con pH neutro, baja conductividad eléctrica y fertilidad media, ofrece condiciones favorables y compatibles para la actividad agrícola

4.2. Determinar la demanda hídrica de los cultivos predominantes en la zona, en función de las necesidades hídricas, área cultivada y prácticas de riego utilizadas.

El análisis de la actividad agrícola en el sector La Peña permitió identificar los cultivos predominantes, sus áreas de siembra, rendimientos y requerimientos hídricos, información clave para estimar la demanda de agua por cultivo y planificar un riego eficiente, considerando los datos climáticos locales y la fenología de cada especie.

Tabla 7

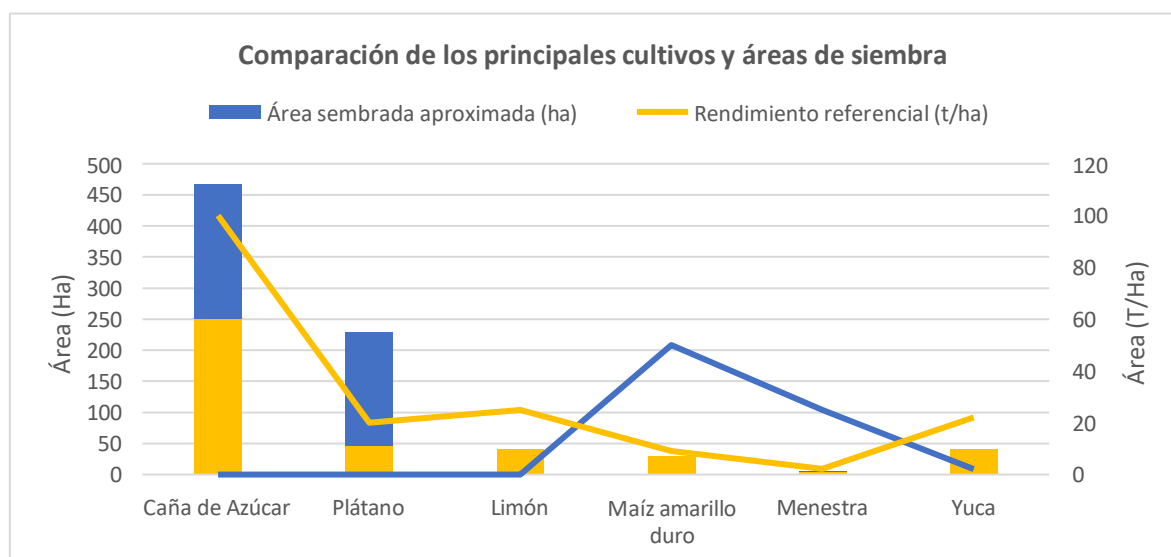
Principales cultivos y áreas de siembra en el sector La Peña

Cultivo	Área sembrada aproximada (ha)	Rendimiento referencial (t/ha)
Caña de Azúcar	467 ha	60 – 100 t/ha
Plátano	228 ha	11 – 20 t/ha
Limón	20 ha	10 – 25 t/ha
Maíz amarillo duro	15 – 50 ha	7 – 9 t/ha (tecnificado)
Menestra	5 – 25 ha	0.8 – 2.2 t/ha (según variedad y manejo)
Yuca	2 ha	10 – 25 t/ha
Orégano	Sin cifra consolidad	-

Nota. Perfil Agroproductivo del Distrito de Salas – Observatorio ITP (2020)

Figura 5

Comparación de los principales cultivos y áreas de siembra



La Figura 5 muestra que la caña de azúcar presenta un área sembrada aproximada de 467 ha, siendo el cultivo con mayor extensión, su rendimiento referencial oscila entre 60 y 100 t/ha, lo que la ubica como el cultivo de mayor productividad por unidad de superficie dentro del conjunto analizado.

El plátano registra una superficie sembrada de 228 ha, lo que equivale a aproximadamente el 49 % del área ocupada por la caña de azúcar, su rendimiento se encuentra en el rango de 11 a 20 t/ha, es decir, entre 20 % y 33 % del rendimiento máximo de la caña, mostrando una productividad media.

Asimismo, el limón cuenta con una superficie reducida de 20 ha, que representa alrededor del 4.3 % del área de la caña de azúcar, su rendimiento varía entre 10 y 25 t/ha, comparable al del plátano e incluso superior en su límite máximo, lo que evidencia una buena eficiencia productiva pese a su limitada extensión.

Por otro lado, el maíz amarillo duro presenta un área sembrada variable entre 15 y 50 ha, con rendimientos tecnificados de 7 a 9 t/ha. Aun cuando su superficie puede superar a la del limón, su rendimiento es inferior, situándose entre 9 % y 15 % del rendimiento mínimo de la caña de azúcar, lo que refleja una menor productividad relativa.

Mientras, la menestra registra áreas de siembra pequeñas, entre 5 y 25 ha, con rendimientos bajos que fluctúan entre 0.8 y 2.2 t/ha, siendo el cultivo con menor desempeño productivo tanto en superficie como en rendimiento. Asimismo, la yuca muestra la menor área sembrada, con aproximadamente 2 ha, lo que equivale a menos del 0.5 % del área de la caña de azúcar, sin embargo, su rendimiento se sitúa entre 10 y 25 t/ha, similar al del limón y al rango superior del plátano, evidenciando una alta productividad en superficies muy reducidas. Por otro lado, el orégano no cuenta con una cifra consolidada de área sembrada ni con un rendimiento referencial definido.

Ante ello, los datos confirman una fuerte concentración de superficie y producción potencial en la caña de azúcar, mientras que cultivos como limón y yuca destacan por su alta productividad por hectárea en áreas limitadas, lo que sugiere oportunidades de diversificación y optimización del uso del suelo agrícola.

Tabla 8

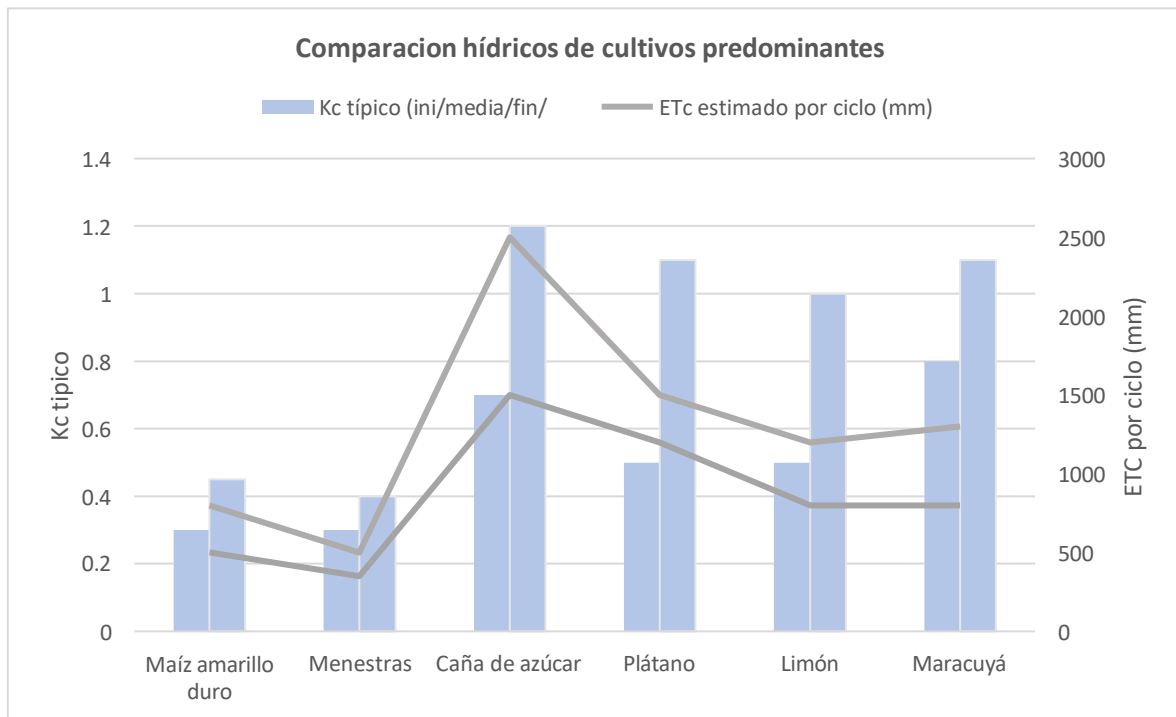
Requerimientos hídricos de cultivos predominantes

Cultivo	Etapas/fase usual/notas	Kc típico (ini/media/fin/	ETc estimado por ciclo (mm)
Maíz amarillo duro	Ciclo completo / grano promedio	0.30–0.45 → 0.70–1.15 → 0.55–0.75	500–800 mm (dependiendo clima, duración)
Menestras	Ciclo completo	0.30–0.40 → 0.70–0.85 → 0.70–0.85	350–500 mm (estimado)
Caña de azúcar	Cultivo perenne / ciclo largo	0.70 → 1.20 (crecimiento pleno) → 0.78 al final	1,500 – 2,500 mm por ciclo (cosecha anual o interanual)
Plátano	Plantaciones / huertos tropicales	0.50 (primer año) → 1.10 (madurez) → 1.00(fase productiva)	1,200 – 1,500 mm/año (aproximado en clima cálido húmedo)
Limón	Huerto frutal (arbóreo)	0.50–1.00 (según cobertura y edad) — valor variable; para árboles frutales de clima seco a semiárido. (Tomando Kc de frutales tropicales como referencia).	800 – 1,200 mm/año (dependiendo productividad)
Maracuyá	Huerto / cultivo frutal	Similar a otros frutales/tropicales: Kc ~ 0.8–1.1 (según estación y cobertura)	800 – 1,300 mm/año (estimado)

Nota. Tomado de la FAO 56 y INIA, datos técnicos de cultivos regionales

Figura 6

Comparación hídricos de cultivos predominantes



La Figura 6 muestra que la caña de azúcar es el cultivo con mayor demanda hídrica, requiriendo entre 1,500 y 2,500 mm por ciclo, debido a su largo periodo vegetativo y elevado crecimiento foliar. Le siguen el plátano y el limón, cuyos requerimientos oscilan entre 1,000 y 1,500 mm anuales, mientras que el maíz amarillo duro presenta una necesidad promedio de 500 a 800 mm por ciclo, dependiendo de la duración de las fases fenológicas. Sin embargo, las menestras y la yuca son los cultivos de menor consumo de agua, lo que las convierte en opciones más sostenibles durante épocas de baja disponibilidad hídrica.

Tabla 9

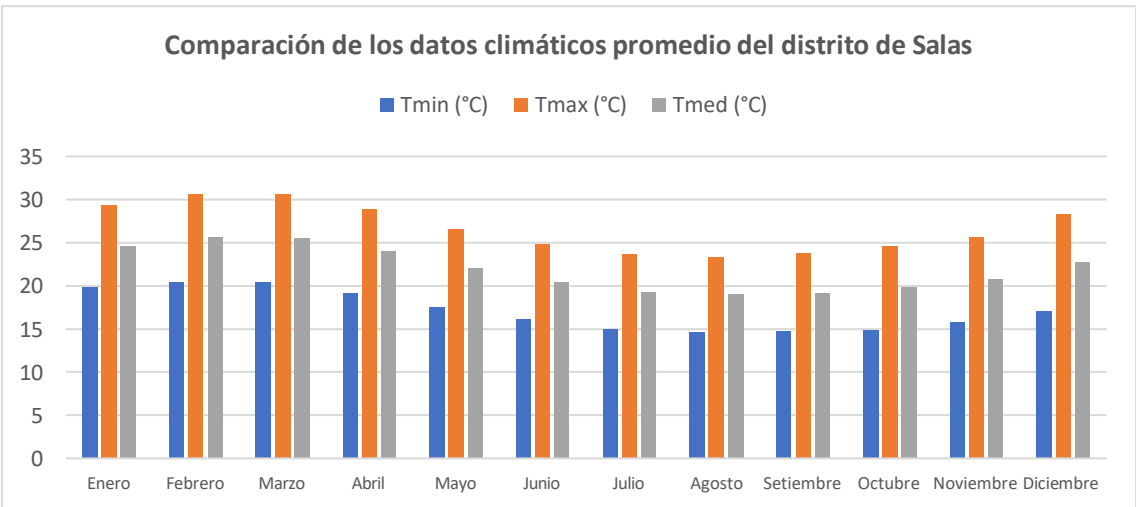
Datos climáticos promedio del distrito de Salas (Lambayeque)

Mes	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Precipitación (mm)	Humedad Relativa (%)	Radiación solar (kWh/m²/día)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	19.8	29.4	24.6	2.1	77	5.7	4.53
Febrero	20.5	30.7	25.6	5	73	5.55	4.03
Marzo	20.4	30.6	25.5	14.4	74	5.84	3.94
Abril	19.1	28.9	24	3.2	77	5.38	4.64
Mayo	17.6	26.6	22.1	1.5	81	4.89	5.08
Junio	16.1	24.8	20.4	0.3	82	4.47	5.22
Julio	15	23.7	19.3	1	83	4.48	5.33
Agosto	14.6	23.3	19	0.2	83	4.91	5.14
Setiembre	14.7	23.8	19.2	1	83	5.59	5.17
Octubre	14.9	24.6	19.8	1.9	81	5.95	4.97
Noviembre	15.8	25.7	20.7	1.1	80	5.98	4.72
Diciembre	17.1	28.3	22.7	1.1	80	5.86	4.72

Nota. Tomado de LACCEI (2021) y Weather Atlas (2025).

Figura 7

Comparación de los datos climáticos promedio del distrito de Salas



La Figura 7 presenta el comportamiento térmico promedio mensual del distrito de Salas:

La temperatura mínima (Tmin) varía entre 14.6°C y 20.5°C, siendo el valor más alto se registra en febrero con 20.5°C, mientras que el mínimo ocurre en agosto a 14.6°C, lo que define una amplitud térmica anual de 5.9 °C para las temperaturas mínimas, lo cual, durante el primer trimestre del año, la Tmin se mantiene por encima de 20°C, descendiendo progresivamente hasta julio a agosto y recuperándose a partir de septiembre.

La temperatura máxima (Tmax) oscila entre 23.3°C y 30.7°C, el máximo anual se presenta en febrero con 30.7°C y el mínimo en agosto con 23.3°C, con una amplitud térmica anual de 7.4 °C. Las temperaturas máximas más elevadas se concentran entre enero y marzo, mientras que los valores más bajos corresponden al periodo invernal, especialmente entre junio y agosto.

La temperatura media (Tmed) muestra valores comprendidos entre 19.0°C y 25.6°C, siendo el mayor promedio mensual registrado en febrero con 25.6°C y el menor en agosto con 19.0°C, con una variación anual de 6.6°C. La temperatura media se mantiene por encima de 22 °C entre enero y abril, desciende por debajo de 20 °C durante julio y agosto, y vuelve a incrementarse gradualmente desde septiembre.

Ante ello, se evidencia un régimen térmico estacional moderado, caracterizado por veranos cálidos sin extremos severos e inviernos relativamente templados, con oscilaciones térmicas anuales reducidas, lo cual este comportamiento climático es consistente con condiciones favorables para actividades agrícolas durante todo el año, requiriendo únicamente ajustes de manejo en los meses más fríos y secos, principalmente entre junio y agosto.

Tabla 10

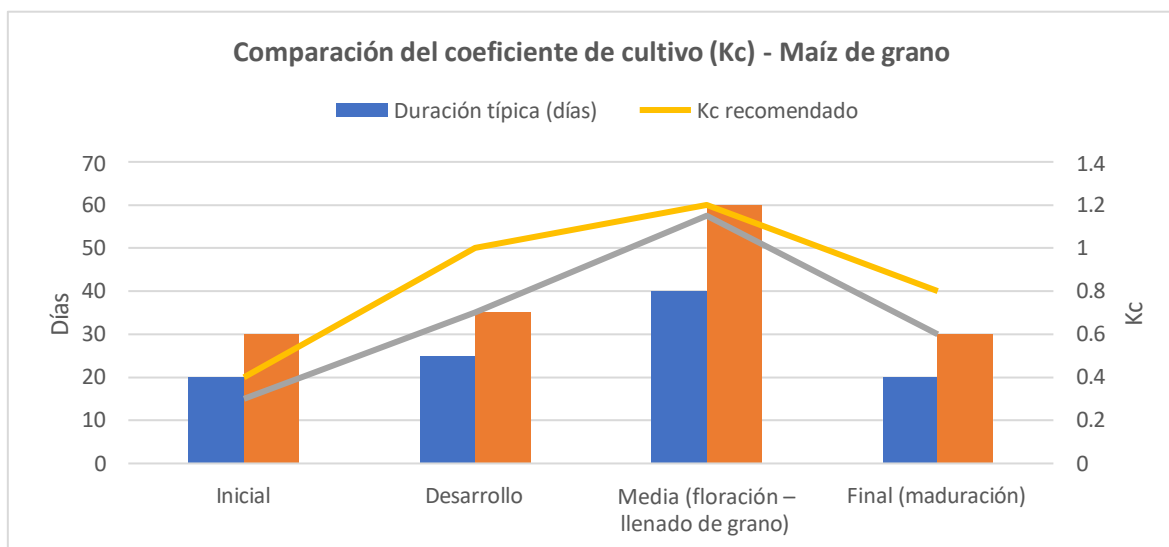
Coeficiente de cultivo (Kc) - Maíz de grano

Etapas Fenológicas	Duración típica (días)	Kc recomendado
Inicial	20 – 30 días	0.30 – 0.40
Desarrollo	25 – 35 días	0.70 – 1.00
Media (floración – llenado de grano)	40 – 60 días	1.15 – 1.20
Final (maduración)	20 – 30 días	0.60 – 0.80

Nota. Tomado de la FAO-56 (Allen et al., 2006)

Figura 8

Comparación del coeficiente de cultivo (Kc) - Maíz de grano



La Figura 8 muestra la variación del coeficiente de cultivo (Kc) del maíz de grano en función de la duración típica de cada etapa fenológica, mostrando los rangos mínimo y máximo considerados.

En la etapa inicial, la duración del cultivo varía entre 20 y 30 días, con un Kc recomendado entre 0.3 y 0.4, lo cual estos valores reflejan una baja demanda hídrica, coherente con una cobertura vegetal reducida y un sistema radicular aún poco desarrollado.

Durante la fase de desarrollo, la duración se incrementa a un rango de 25 a 35 días, mientras que el Kc aumenta significativamente, de 0.7 hasta 1.0, siendo este incremento cuantifica el rápido crecimiento del cultivo y el aumento del área foliar, lo que conlleva mayores pérdidas de agua por evapotranspiración.

La etapa media, correspondiente a floración y llenado de grano, es la más prolongada, con una duración comprendida entre 40 y 60 días, y presenta los valores máximos de Kc, entre 1.15 y 1.2, este rango confirma que se trata del periodo de mayor requerimiento hídrico, en el cual el cultivo es más sensible al déficit de agua y donde el riego resulta crítico para asegurar el rendimiento.

Por último, en la etapa final o de maduración, la duración disminuye nuevamente a un rango de 20 a 30 días, y el Kc se reduce a valores entre 0.6 y 0.8, como consecuencia de la disminución progresiva de la actividad fisiológica y la senescencia del follaje.

Ante ello, el ciclo fenológico del maíz de grano presenta una duración total aproximada de 105 a 155 días, y una evolución del Kc que aumenta desde 0.3 a 0.4 en la fase inicial hasta un máximo de 1.15 a 1.2 en la etapa media, para luego descender en la fase final.

Tabla 11

Profundidad radicular del maíz de grano

Tipo de dato	Profundidad
Raíz activa mínima	0.40 – 0.60 m
Raíz efectiva promedio	0.90 – 1.20 m
Profundidad máxima en suelos francos o franco – arenosos	1.50 – 1.80 m

La Tabla 12 muestra que el maíz de grano presenta un sistema radicular profundo y progresivo, con una raíz activa mínima entre 0.40 y 0.60 m, donde se concentra la absorción inicial de agua y nutrientes, una raíz efectiva promedio que alcanza entre 0.90 y 1.20 m, profundidad que define la zona principal de aprovechamiento hídrico del cultivo, y una profundidad máxima de 1.50 a 1.80 m en suelos francos o franco arenoso, lo que evidencia una alta capacidad de exploración del suelo y una mayor tolerancia a periodos cortos de déficit hídrico bajo condiciones edáficas favorables.

La demanda hídrica del sector La Peña está concentrada en los cultivos de mayor extensión como caña de azúcar, plátano y maíz amarillo duro. Las condiciones climáticas, junto con Kc y profundidad radicular, permiten planificar un riego eficiente y sostenible, optimizando el uso del agua subterránea disponible y asegurando la productividad agrícola.

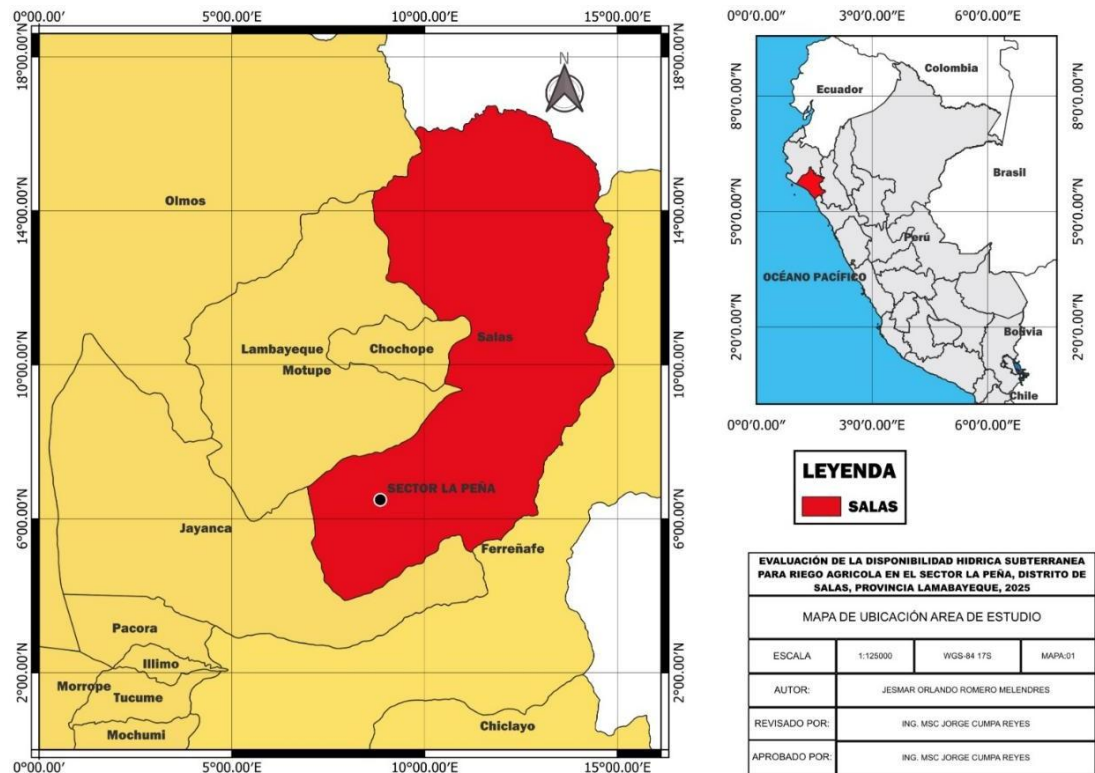
4.3. Comparar la oferta hídrica subterránea con la demanda agrícola, estableciendo el balance hídrico y evaluando la sostenibilidad del uso del agua subterránea en el mediano y largo plazo.

4.3.1. Oferta hídrica subterránea

La evaluación de la disponibilidad hídrica subterránea constituye un elemento fundamental para analizar la sostenibilidad del riego agrícola en el sector La Peña, distrito de Salas, lo cual de acuerdo con el Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la cuenca Chancay - Lambayeque, la oferta hídrica total anual asciende a 1,160.87 millones de metros cúbicos (MMC), integrada por agua superficial, subterránea y agua de retorno.

Figura 9

Mapa de ubicación del sector La Peña, distrito de Salas



La Figura 9 muestra la ubicación geográfica del sector La Peña, distrito de Salas, provincia de Lambayeque. Esta representación espacial permite contextualizar el área de estudio dentro de la cuenca Chancay - Lambayeque, evidenciando su posición en la vertiente del Pacífico y su relación con distritos colindantes como Motupe y Chochope.

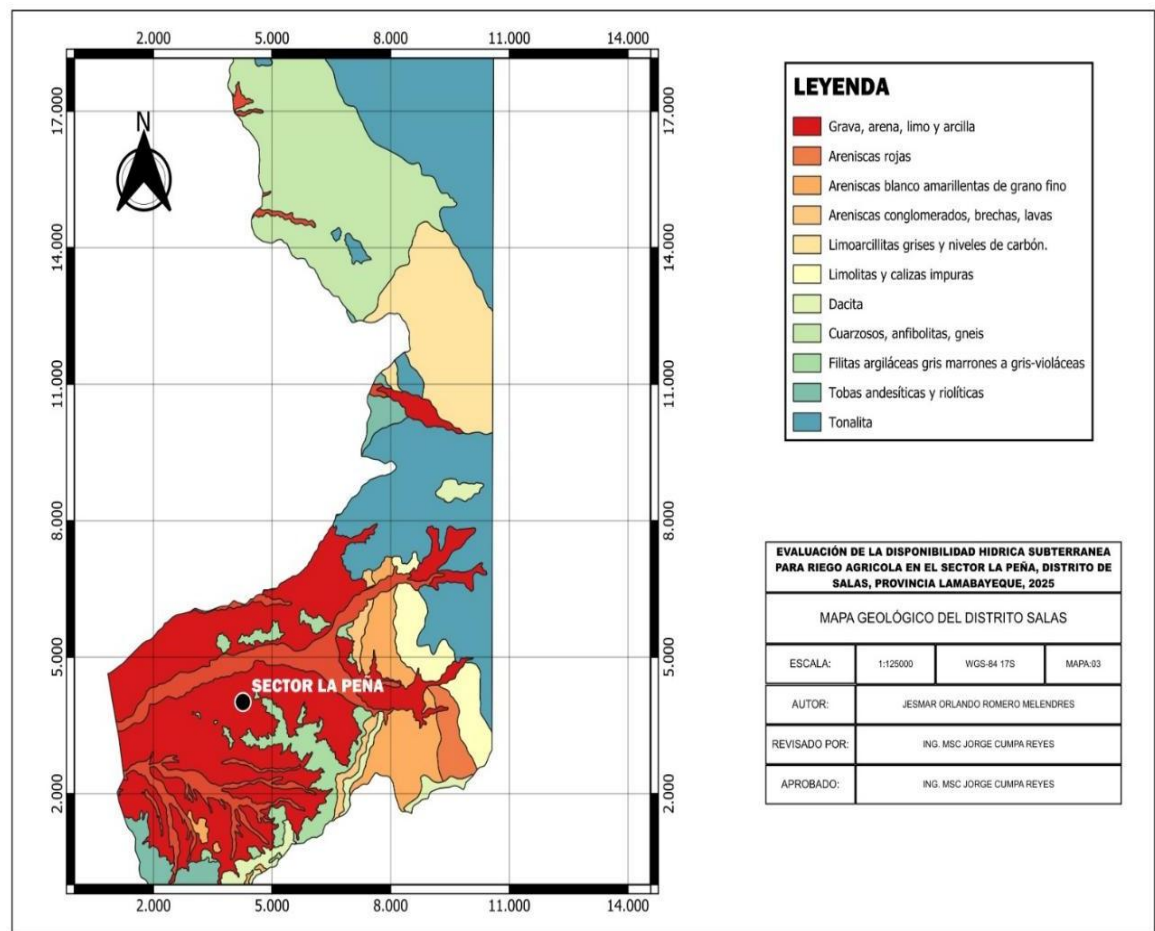
Tabla 12*Oferta hídrica anual de la cuenca Chancay–Lambayeque*

Tipo de recurso hídrico	Volumen anual (MMC)	Participación (%)
Agua superficial	1,012.67	87.23%
Agua subterránea	87.2	7.51%
Agua de retorno	61	5.25%
Total oferta hídrica	1,160.87	100.00%

La Tabla 12 muestra que la oferta hídrica subterránea representa 87.2 MMC/año, equivalente al 7.51 % del total de la oferta hídrica de la cuenca, frente a un 87.23 % correspondiente al agua superficial. Si bien su participación volumétrica es reducida, el volumen subterráneo disponible adquiere alta relevancia estratégica, ya que su disponibilidad es más constante a lo largo del año, convirtiéndose en un recurso crítico para garantizar la continuidad del riego agrícola en sectores como La Peña, donde la oferta superficial presenta variabilidad temporal.

Figura 10

Perfiles geológicos del sector La Peña



La Figura 10 muestra los perfiles geológicos del sector La Peña, permitiendo identificar las diferentes capas de suelo y materiales geológicos que conforman el acuífero subterráneo, distinguiéndose estratos permeables que favorecen la infiltración y almacenamiento de agua, así como capas menos permeables que condicionan el flujo subterráneo. Esta configuración geológica explica la presencia de reservas de agua subterránea aprovechables para riego agrícola, sin embargo, también evidencia la vulnerabilidad del acuífero frente a procesos de sobreexplotación, ya que la recarga natural depende de factores climáticos y de la infiltración superficial, la cual no es homogénea en toda el área de estudio.

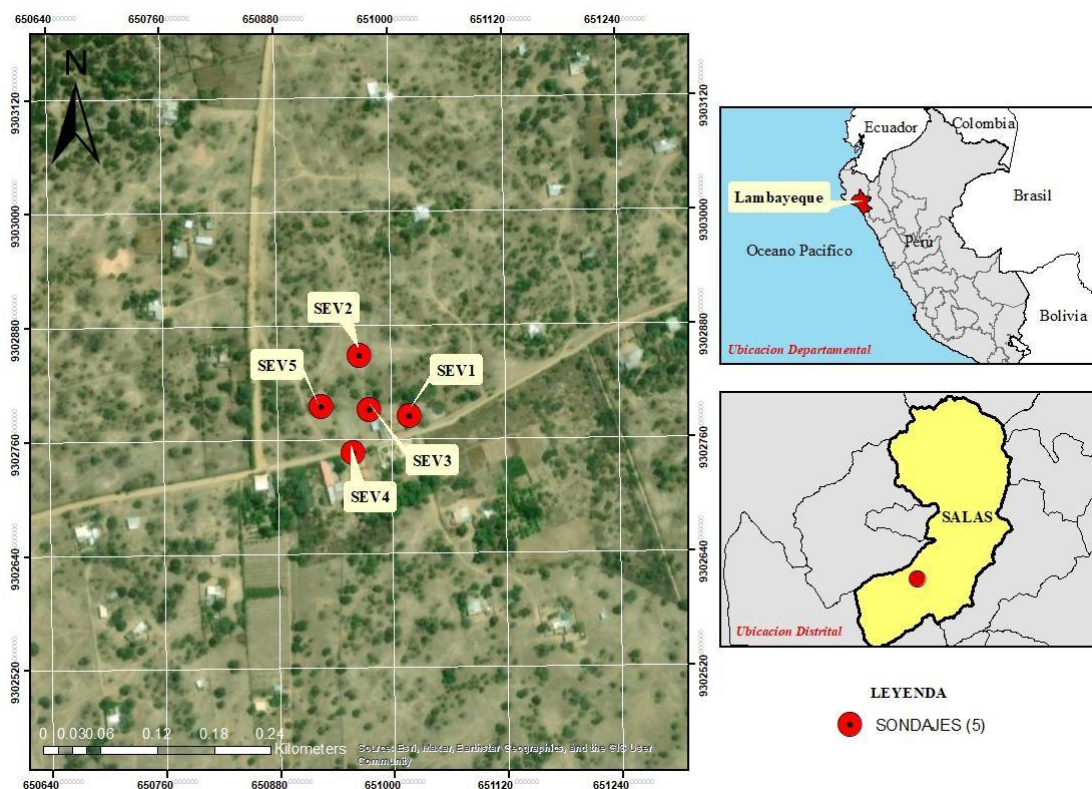
Tabla 13

Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

SEV	Coordenadas WGS 84 Zona 17 M		COTA
	Este (m)	Norte (m)	
SEV-01	650978	9302792	134
SEV-02	650968	9302849	135
SEV-03	651020	9302785	134
SEV-04	650960	9302747	133
SEV-05	650927	9302795	135

Figura 11

Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)



La figura 12 presenta la ubicación georreferenciada de los cinco Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) ejecutados en el sector La Peña, empleando coordenadas UTM WGS 84 Zona 17M. La distribución espacial de los sondeos permitió cubrir las principales unidades hidrogeológicas del área de estudio, proporcionando información representativa sobre la continuidad lateral de los materiales del subsuelo y las condiciones del acuífero.

Tabla 14*Resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)*

SEV	Unidades	Capa Geoeléctrica						H (m)
		1	2	3	4	5	6	
01	R=Resistividad (ohm.m)	50.15	85.86	11.99	3.975	86.48		39.47
	h=Espesor (m)	1.007	2.284	8.876	14.69	12.61		
02	R=Resistividad (ohm.m)	149	85.8	9.06	9.26	6.98	3.62	51.4
	h=Espesor (m)	1.09	1.1	2.57	16.2	17.3	13.1	
03	R=Resistividad (ohm.m)	60.3	105	22.1	4.15	16.6		17
	h=Espesor (m)	1.36	2.08	2.11	4.02	7.42		
04	R=Resistividad (ohm.m)	47.267	81.888	14.578	5.931	7.649	14.122	39.059
	h=Espesor (m)	1.204	1.993	9.994	8.847	7.434	9.585	
05	R=Resistividad (ohm.m)	167.5	102.2	23.06	11.73	6.282	13.77	39.18
	h=Espesor (m)	1.801	2.089	2.485	5.793	12.81	14.21	

La tabla 14 muestra los resultados geoeléctricos evidenciando diferencias importantes entre los cinco sondeos realizados. Las resistividades obtenidas permitieron identificar materiales aluviales, horizontes arcillosos y estratos granulares con diferente capacidad de almacenamiento y transmisión de agua. Asimismo, los espesores determinados evidencian la variabilidad del acuífero dentro del sector La Peña, información fundamental para evaluar la oferta hídrica subterránea.

4.3.1.1. Interpretación geoeléctrica del acuífero

SECCION A-A'

La Sección Geoeléctrica A–A', conformada por los SEV-01, SEV-02 y SEV-03, permite caracterizar las condiciones geoeléctricas del subsuelo en el sector oriental del área de estudio, evidenciando una importante variabilidad lateral en la distribución de los materiales sedimentarios y su potencial hidrogeológico.

El SEV-01 presenta una secuencia estratigráfica conformada por depósitos aluviales superficiales hasta aproximadamente 3.29 m de profundidad. Entre 3.29 y 26.85 m predominan materiales finos de naturaleza arcillosa con resistividades bajas, los cuales representan horizontes de escasa permeabilidad. Sin embargo, a partir de 26.85 m se identifica un incremento significativo de la resistividad ($86.48 \Omega \cdot m$), asociado a materiales granulares (gravas y arenas), interpretados como un horizonte acuífero favorable para la explotación de agua subterránea.

El SEV-02 muestra un comportamiento geoeléctrico marcadamente diferente, caracterizado por la presencia continua de materiales finos no consolidados hasta aproximadamente 51.39 m de profundidad, con resistividades comprendidas entre 1.49 y $6.98 \Omega \cdot m$. Estas características son representativas de depósitos arcillosos de muy baja permeabilidad, por lo que no se reconoce el desarrollo de un acuífero económicamente explotable. En consecuencia, este sondeo es considerado desfavorable para la perforación de un pozo.

Por su parte, el SEV-03 evidencia una cobertura superficial aluvial de reducido espesor y, desde aproximadamente 3.43 m de profundidad, la presencia de materiales aluviales con permeabilidad media. No obstante, el espesor saturado y las condiciones geoeléctricas identificadas no permiten inferir un acuífero con capacidad suficiente para una explotación sostenible, razón por la cual este sector tampoco constituye una alternativa recomendable para la construcción de un pozo tubular.

Ante ello, la Sección A–A' evidencia un comportamiento hidrogeológico heterogéneo. El SEV-01 identifica un horizonte granular favorable a partir de aproximadamente 26.85 m de profundidad, mientras que los SEV-02 y SEV-03 presentan predominio de materiales finos de baja permeabilidad, limitando el potencial de explotación del acuífero en estos sectores.

SECCION B-B'

La Sección Geoeléctrica B–B', integrada por los SEV-04 y SEV-05, presenta las condiciones hidrogeológicas más favorables del área investigada. La correlación geoeléctrica entre ambos sondeos evidencia la continuidad lateral de materiales aluviales de permeabilidad media, constituyendo el sector con mayor potencial para el desarrollo de obras de captación de agua subterránea.

En el SEV-04, las primeras capas corresponden a depósitos aluviales superficiales de escaso espesor. Entre 3.20 y 22.03 m predominan materiales de

baja permeabilidad asociados principalmente a sedimentos finos. Sin embargo, a partir de aproximadamente 22 m y hasta los 39–40 m de profundidad se identifican materiales aluviales de permeabilidad media, representados por valores de resistividad entre 7.6 y 14.12 $\Omega \cdot m$, los cuales constituyen un horizonte acuífero con potencial de explotación, aunque el informe señala que el caudal esperado sería relativamente bajo.

El SEV-05 presenta las mejores características geoelectricas de toda el área evaluada. Después de una cobertura superficial de reducido espesor, se desarrolla un paquete continuo de materiales aluviales con permeabilidad media desde aproximadamente 6.37 m hasta 39.18 m de profundidad, con resistividades comprendidas entre 23.56 y 13.77 $\Omega \cdot m$. Estas condiciones son compatibles con un acuífero de buen desarrollo lateral y espesor saturado suficiente para la explotación mediante un pozo tubular, aunque con presencia de agua de mediana mineralización, condición que deberá ser confirmada mediante análisis de calidad del agua durante la etapa de perforación.

Ante ello, la Sección B–B' presenta las condiciones hidrogeológicas más favorables del área de estudio, observándose continuidad lateral de materiales aluviales de permeabilidad media entre los SEV-04 y SEV-05. El SEV-05 constituye el punto con mayor potencial para el aprovechamiento de agua subterránea debido al espesor y continuidad del horizonte acuífero identificado.

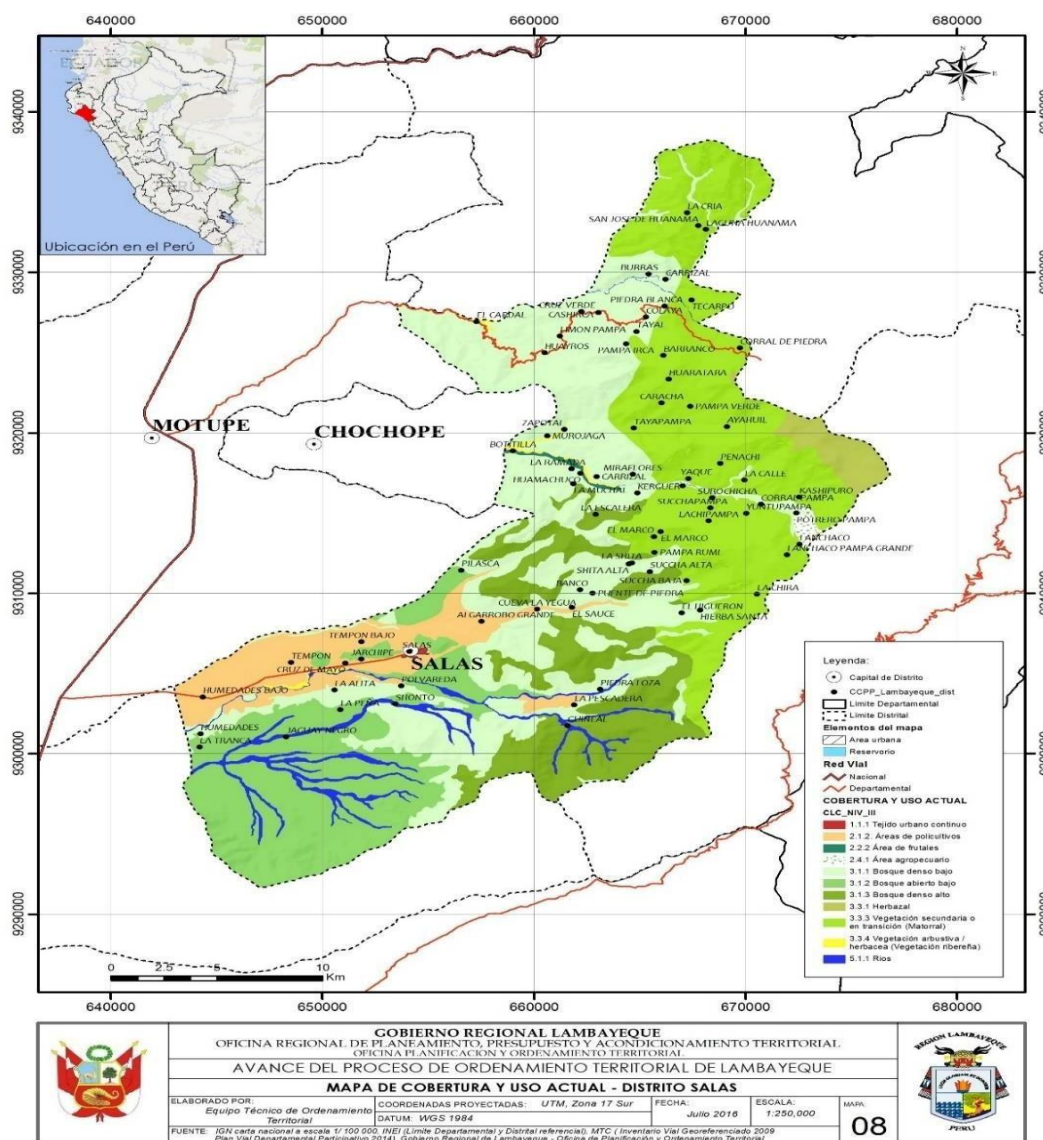
Interpretación general: El análisis comparativo de las secciones geoelectricas permitió establecer que la Sección A–A' presenta condiciones hidrogeológicas variables, siendo únicamente el SEV-01 una alternativa favorable para la explotación de agua subterránea. En contraste, la Sección B–B' concentra las mejores condiciones del acuífero, debido a la continuidad lateral de materiales aluviales permeables y espesores saturados adecuados para la captación. El SEV-05 fue identificado como el punto de mayor potencial hidrogeológico, seguido por el SEV-04, constituyéndose en las zonas más recomendables para futuras perforaciones y aprovechamiento del recurso hídrico.

4.3.2. Demanda hídrica agrícola en la cuenca

El análisis de la demanda hídrica muestra que el uso agrícola es el principal consumidor del recurso hídrico en la cuenca Chancay, situación que ejerce una presión directa sobre el agua subterránea.

Figura 12

Mapa de cobertura vegetal del sector La Peña



La Figura 12 muestra la cobertura vegetal y el uso actual del suelo en el distrito de Salas, destacando el predominio de áreas agrícolas en el sector La Peña, representadas principalmente por zonas de cultivos y áreas agropecuarias. Asimismo, se identifican áreas de vegetación natural, ríos y quebradas, las cuales cumplen un rol importante en los procesos de recarga hídrica del acuífero. El predominio de usos agrícolas intensivos confirma que la demanda hídrica está

fuertemente condicionada por la actividad agrícola, lo que refuerza el análisis de la presión ejercida sobre el recurso hídrico subterráneo y la necesidad de evaluar su sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

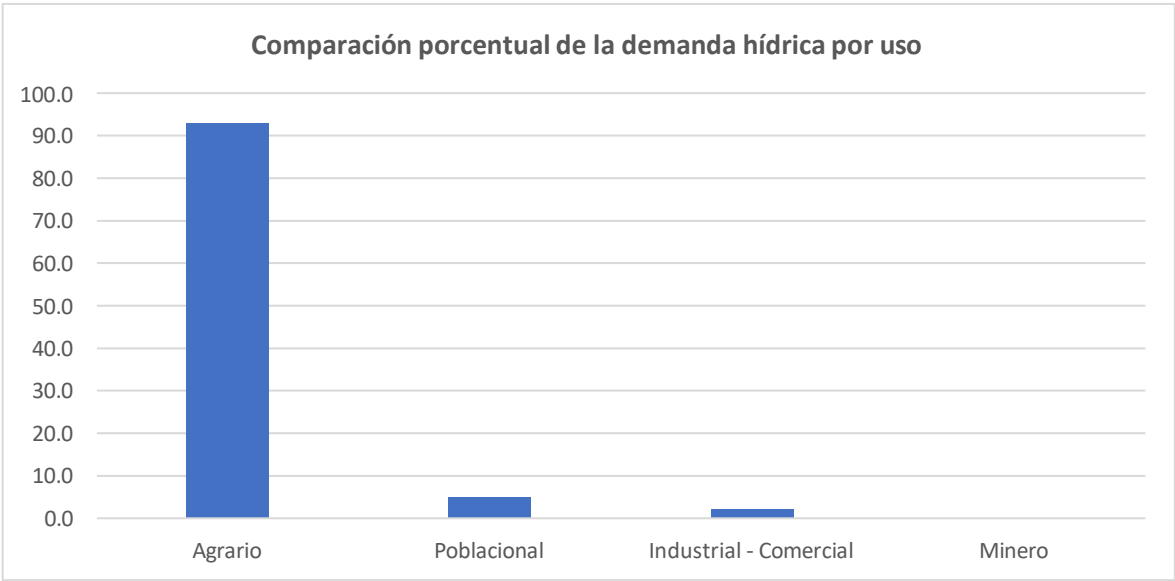
Tabla 15

Distribución de la demanda hídrica por tipo de uso

Uso del agua	Participación (%)
Agrario	93.0
Poblacional	4.9
Industrial - Comercial	2.0
Minero	0.1

Figura 13

Comparación porcentual de la demanda hídrica por uso



La figura 14 muestra que la demanda hídrica agrícola concentra el 93% del consumo total de agua en la cuenca, superando ampliamente los usos poblacionales en 4.9%, industrial-comercial en 2.0 % y minero en 0.1%. Está marcada predominancia confirma que el riego agrícola es el principal factor de presión sobre los recursos hídricos, y particularmente sobre el agua subterránea, cuyo uso se incrementa para cubrir déficits de suministro superficial.

4.3.3. Balance hídrico oferta - demanda

La comparación entre la oferta hídrica disponible y la demanda total permite establecer el balance hídrico anual de la cuenca, el cual es un insumo clave para evaluar la sostenibilidad del uso del agua subterránea.

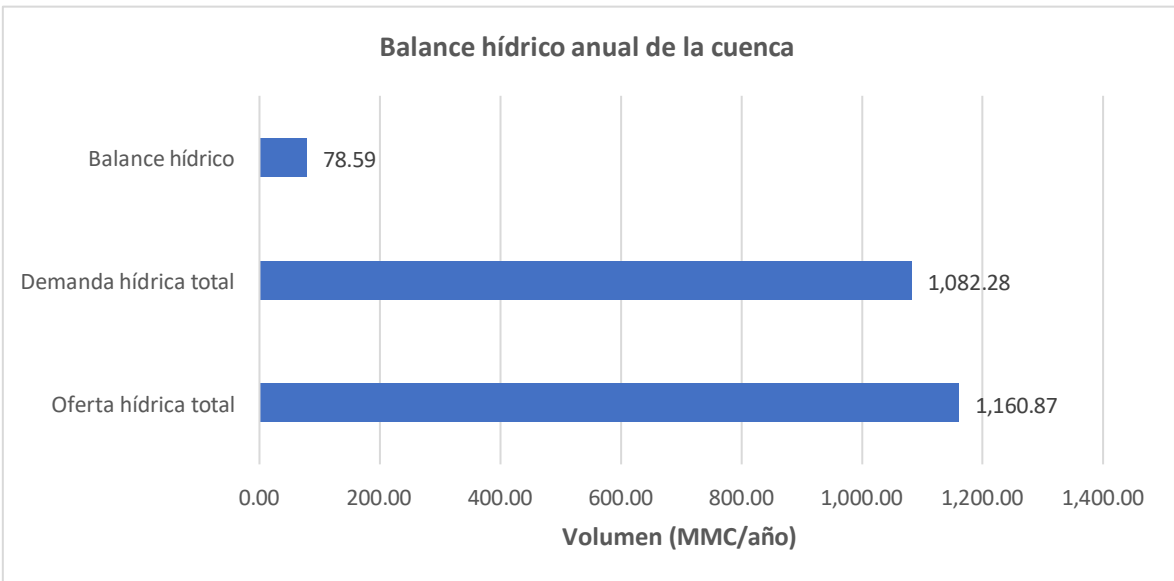
Tabla 16

Balance hídrico anual de la cuenca

Tipo	Volumen (MMC/año)
Oferta hídrica total	1,160.87
Demanda hídrica total	-1,082.28
Balance hídrico	78.59

Figura 14

Balance hídrico anual de la cuenca



La Tabla 16 muestra un balance hídrico anual de 78.59 MMC/año, lo que indica que, a escala global, la oferta hídrica supera a la demanda. No obstante, este resultado no garantiza la sostenibilidad del uso del agua subterránea a nivel local, debido a la distribución desigual del recurso y a la concentración de la demanda en sectores agrícolas específicos como La Peña, donde el acuífero soporta una carga de extracción superior al promedio de la cuenca.

4.3.4. Uso del agua subterránea y eficiencia del riego agrícola

A pesar de la existencia de un balance hídrico positivo, el aprovechamiento del agua subterránea para riego agrícola presenta serias limitaciones relacionadas con la eficiencia del sistema de riego y la gestión del recurso.

Tabla 17

Factores que afectan la sostenibilidad del agua subterránea para riego

Factor evaluado	Condición observada	Impacto
Método de riego	Predominio de riego por aniego	Alto consumo
Estado de infraestructura	Canales en mal estado	Pérdidas por infiltración
Eficiencia del riego	Pérdidas al 62 %	Sobreexplotación
Sistema de drenaje	Insuficiente	Salinización de suelos
Fiscalización	Débil control	Uso no regulado

La Tabla 17 muestra que las pérdidas de agua estimadas en 62 % debido al predominio del riego por aniego, el deterioro de la infraestructura y la limitada fiscalización evidencian una baja eficiencia en el uso del recurso hídrico, esta ineficiencia implica que solo alrededor del 38% del agua extraída es efectivamente aprovechada por los cultivos, incrementando innecesariamente la demanda de agua subterránea y acelerando los procesos de sobreexplotación del acuífero.

Por otro lado, con base en la relación entre oferta hídrica subterránea, demanda agrícola y condiciones de gestión, se realizó una evaluación de la sostenibilidad del uso del agua subterránea para riego agrícola en el sector La Peña.

Tabla 18

Evaluación de sostenibilidad del uso del agua subterránea

Horizonte temporal	Evaluación
Corto plazo	Sostenible
Mediano plazo	Riesgo moderado
Largo plazo	No sostenible sin medidas de gestión

La Tabla 18 muestra que la evaluación de sostenibilidad indica que, en el corto plazo, la disponibilidad hídrica subterránea permite atender la demanda agrícola existente. Sin embargo, en el mediano plazo, el riesgo aumenta debido a la elevada extracción y a la baja eficiencia del riego, mientras que, en el largo plazo, la continuidad de estas prácticas podría generar un escenario no sostenible, caracterizado por la disminución progresiva de los niveles freáticos, la degradación de los suelos agrícolas y la reducción de la productividad, comprometiendo la seguridad hídrica del sector La Peña.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Caracterizar las fuentes de agua subterránea del distrito, identificando la profundidad de los pozos, niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción y recarga.

La caracterización de las fuentes de agua subterránea del sector La Peña permitió identificar condiciones favorables en términos de disponibilidad, estabilidad hidráulica y calidad del recurso. Los resultados evidencian que el acuífero evaluado presenta un comportamiento hidráulico estable, reflejado en niveles estáticos y dinámicos adecuados para la extracción continua del agua subterránea, así como caudales compatibles con el uso agrícola. Esta condición se explica por la presencia de depósitos aluviales recientes, compuestos por gravas, arenas y limos, los cuales poseen alta permeabilidad y favorecen la recarga natural del acuífero. Dichos hallazgos son coherentes con lo reportado por Carrión et al. (2024), quienes identificaron zonas de alto potencial acuífero con espesores entre 5 y 10 m, resistividades eléctricas entre 20 y 80 $\Omega \cdot m$ y litologías favorables, concluyendo que estas características permiten una explotación sostenible del recurso hídrico subterráneo en zonas agrícolas con limitada disponibilidad superficial. En este sentido, aunque el presente estudio no empleó técnicas geofísicas avanzadas, los resultados hidráulicos observados validan empíricamente la existencia de un acuífero productivo, con condiciones similares a las zonas de alto potencial descritas por dichos autores.

Los resultados obtenidos de la calidad físico-química del agua subterránea en el sector La Peña muestran un pH neutro de 7.24, baja concentración de sales y un Índice de Adsorción de Sodio (RAS) cercano a 2.0, lo que clasifica al agua como de bajo riesgo de sodificación y apta para riego agrícola. Estos valores contrastan significativamente con los reportados por Ortiz et al. (2021), quienes identificaron concentraciones elevadas de arsénico hasta 241.30 $\mu g/L$ y flúor hasta 5.40 mg/L en acuíferos de regiones semiáridas, evidenciando serias limitaciones para el uso del agua tanto en consumo humano como en riego. La ausencia de estos contaminantes sugiere que el acuífero del sector La Peña presenta una menor vulnerabilidad a procesos de contaminación geoquímica natural, lo cual incrementa su valor estratégico para la actividad agrícola del distrito.

Asimismo, los resultados del análisis químico del agua muestran concentraciones equilibradas de bicarbonatos, cloruros y sulfatos dentro de los límites establecidos por la FAO, lo que coincide con lo reportado por Paccari (2025), quien encontró que los parámetros físico-químicos del agua subterránea se mantenían dentro de los Límites Máximos Permisibles, con valores de pH de 6.86 y conductividad eléctrica de 75.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, mientras Paccari (2025) identificó la presencia de contaminación microbiológica que limita el uso del agua para consumo humano.

En relación con la interacción agua -suelo, los resultados del análisis físico-químico del suelo del sector La Peña evidencian una textura franco arenosa, pH neutro de 7.26, baja conductividad eléctrica en 0.32 mS/cm y un contenido moderado de materia orgánica de 3.25%, condiciones que favorecen el drenaje, la infiltración y el desarrollo de cultivos agrícolas. Mires y Gonzales (2023), demostraron que la disponibilidad adecuada de agua subterránea, combinada con suelos de características favorables, permitió alcanzar eficiencias de riego del 77.7% mediante sistemas tecnificados. En este contexto, la caracterización realizada en el sector La Peña evidencia que el recurso hídrico subterráneo y el suelo presentan una alta compatibilidad para el riego agrícola, lo que representa una oportunidad para mejorar la eficiencia del uso del agua mediante la implementación de tecnologías adecuadas.

Ante ello, se evidencia que el acuífero del sector La Peña presenta condiciones hidrogeológicas, hidráulicas y químicas favorables, comparables con zonas de alto potencial hídrico identificadas en estudios previos. No obstante, la sostenibilidad del recurso dependerá no solo de su disponibilidad actual, sino también de una adecuada gestión, monitoreo periódico de la calidad del agua y la adopción de prácticas de riego eficientes.

5.2. Determinar la demanda hídrica de los cultivos predominantes en la zona, en función de las necesidades hídricas, área cultivada y prácticas de riego utilizadas.

La determinación de la demanda hídrica de los cultivos predominantes en el sector La Peña permitió identificar una marcada concentración del consumo de agua en cultivos de gran extensión y elevado requerimiento hídrico, lo cual constituye un factor determinante en la presión ejercida sobre los recursos hídricos subterráneos del distrito.

Los resultados muestran que la caña de azúcar es el cultivo dominante, con una superficie aproximada de 467 ha, lo que representa la mayor proporción del área agrícola total, y un requerimiento hídrico elevado que oscila entre 1,500 y 2,500 mm por ciclo. Este comportamiento coincide con lo señalado por Mires y Gonzales (2023), quienes demostraron que cultivos de alta demanda hídrica requieren una planificación precisa del riego para evitar ineficiencias y sobreconsumo del recurso.

De manera similar, el plátano, con una superficie sembrada de 228 ha y requerimientos hídricos estimados entre 1,200 y 1,500 mm/año, constituye el segundo cultivo de mayor demanda hídrica, resultado consistente con lo reportado por Mires y Gonzales (2023), quienes evidenciaron que, bajo condiciones de riego tradicional, cultivos tropicales como el plátano presentan elevadas pérdidas de agua, reduciendo la eficiencia global del sistema. En el sector La Peña, la combinación de amplias áreas cultivadas y elevados coeficientes de cultivo K_c cercanos a 1.1 en fases productivas explica la alta demanda hídrica acumulada de este cultivo.

En contraste, cultivos como el maíz amarillo duro, con superficies variables entre 15 y 50 ha y requerimientos hídricos de 500 a 800 mm por ciclo, presentan una demanda hídrica moderada. La caracterización fenológica del maíz, con valores máximos de K_c entre 1.15 y 1.20 durante la etapa media, coincide con los rangos establecidos por la FAO-56, así como con los enfoques de planificación hídrica utilizados por Mires y Gonzales (2023) mediante herramientas como CROPWAT, la profundidad radicular efectiva del maíz, que alcanza entre 0.90 y 1.20 m, sugiere una mayor capacidad de aprovechamiento del agua almacenada en el perfil del suelo, reduciendo parcialmente la dependencia de riegos frecuentes en comparación con cultivos de raíces más superficiales.

Por otro lado, las menestras y la yuca, con superficies de siembra reducidas en 25 ha y 2 ha, respectivamente y requerimientos hídricos inferiores a 500 mm por ciclo, representan una fracción menor de la demanda hídrica total del sector. Estos resultados refuerzan lo señalado por Carrión et al. (2024) respecto a la importancia de orientar la planificación agrícola hacia cultivos de menor consumo hídrico en zonas donde la sostenibilidad del acuífero es un factor crítico, esta demanda hídrica de las menestras puede ser hasta cinco veces menor que la de la caña de azúcar por unidad de superficie, lo que evidencia su mayor eficiencia en el uso del agua.

Las condiciones climáticas del distrito de Salas, caracterizadas por bajas precipitaciones anuales ≤ 30 mm, temperaturas medias entre 19.0 y 25.6 °C y elevada radiación solar, refuerzan la dependencia casi total del riego para el desarrollo de los cultivos, datos coherentes con lo reportado por Ortiz et al. (2021) para regiones semiáridas, donde la demanda hídrica agrícola está determinada principalmente por la evapotranspiración y no por la precipitación efectiva, sin embargo, en el sector La Peña no se evidencian restricciones significativas por calidad del agua, lo que permite que la atención se centre en la gestión del recurso.

Ante ello, se demuestra que la demanda hídrica agrícola del sector La Peña está fuertemente condicionada por la estructura de cultivos, predominando aquellos de alta demanda hídrica y gran extensión superficial, situación coincidente con lo señalado por Carrión et al. (2024) y Mires y Gonzales (2023), quienes destacan que la sostenibilidad del uso del agua subterránea depende no solo de la disponibilidad del recurso, sino también de la selección de cultivos, la eficiencia del riego y la adecuación de las prácticas agrícolas a las condiciones climáticas locales.

5.3. Comparar la oferta hídrica subterránea con la demanda agrícola, estableciendo el balance hídrico y evaluando la sostenibilidad del uso del agua subterránea en el mediano y largo plazo.

Los resultados evidencian que la disponibilidad y el uso del agua subterránea en el sector La Peña presentan condiciones favorables en el corto plazo, pero con riesgos significativos de sostenibilidad en horizontes temporales mayores.

En relación con la caracterización hidrogeológica, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Carrión et al. (2024), quienes identificaron Zonas de Potencial Acuífero (ZPA) de elevada magnitud mediante técnicas geofísicas y análisis SIG, con espesores de acuíferos entre 5 y 10 m y resistividades de 20 a 80 Ω m, valores típicos de materiales aluviales permeables. En el sector La Peña, los perfiles geológicos evidencian la presencia de estratos favorables para la infiltración y almacenamiento de agua subterránea, lo que explica la existencia de pozos funcionales que abastecen al riego agrícola.

La oferta hídrica subterránea de la cuenca Chancay alcanza 87.2 MMC/año, representando apenas el 7.51 % de la oferta total. Este valor resulta consistente con los planteamientos de Carrión et al. (2024), quienes señalan que, en cuencas costeras, el agua subterránea cumple un rol complementario frente al recurso superficial. Sin embargo, la concentración espacial de pozos en áreas agrícolas del

sector La Peña evidencia una presión localizada sobre el acuífero, situación que no siempre es captada en análisis a escala de cuenca.

En cuanto al comportamiento del recurso subterráneo, los resultados obtenidos concuerdan con Ortiz et al. (2021) en el sentido de que la evaluación del agua subterránea no debe limitarse únicamente a su disponibilidad, sino que debe incorporar criterios de calidad. Al centrarse principalmente en el balance hídrico, la intensificación del uso agrícola y la recarga limitada del acuífero podrían favorecer procesos de concentración de sales y otros contaminantes, tal como lo evidencian Ortiz et al. (2021), quienes reportaron incrementos de arsénico de hasta 241.30 µg/L y flúor de 5.40 mg/L en escenarios de explotación prolongada.

Respecto al uso del agua para riego, los resultados muestran que el 93 % de la demanda hídrica total corresponde al uso agrícola, valor que evidencia una presión significativa sobre los recursos hídricos, especialmente el subterráneo. Situación reportada por Mires y Gonzales (2023), quienes demostraron que la implementación de riego tecnificado por goteo permitió alcanzar una eficiencia del 77.7%, reduciendo considerablemente la demanda de agua subterránea. En el sector La Peña, la predominancia del riego por aniego y las pérdidas estimadas del 62% reflejan una eficiencia significativamente menor, lo que incrementa la extracción del acuífero para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, comparación que evidencia una baja eficiencia del riego el cual constituye uno de los principales factores de riesgo para la sostenibilidad del recurso subterráneo.

Asimismo, los resultados del balance hídrico indican un superávit anual de 78.59 MMC, lo que sugiere que, a nivel de cuenca, no existe un déficit hídrico global. No obstante, tal como señalan estudios de gestión integrada del recurso hídrico y experiencias reportadas por Mires y Gonzales (2023), la disponibilidad teórica del recurso no garantiza su aprovechamiento sostenible si no se acompaña de mejoras en la eficiencia y en la gestión del riego.

Ante ello, los resultados muestran que el sector La Peña, la intensificación agrícola y la débil fiscalización del uso del agua podrían favorecer procesos similares de deterioro de la calidad, especialmente en escenarios de sobreexplotación del acuífero y deficiente infraestructura de drenaje, lo que refuerza la necesidad de un enfoque integral que combine cantidad, calidad y gestión del recurso.

CONCLUSIONES

- ✓ Se caracterizaron las fuentes de agua subterránea del sector La Peña, identificándose tres pozos operativos de tajo abierto destinados al riego agrícola, con profundidades comprendidas entre 25.8 y 30.0 m (promedio de 27.27 m), niveles estáticos de 5 a 6 m, niveles dinámicos de 10 a 11 m y un abatimiento promedio de 5.33 m, evidenciando un comportamiento hidráulico homogéneo y estable del acuífero. Los caudales de extracción varían entre 30 y 35 L/s (promedio de 31.67 L/s), permitiendo abastecer entre 3 y 5 ha de cultivos por pozo. Asimismo, el acuífero se desarrolla sobre depósitos aluviales de alta permeabilidad que favorecen la infiltración y la recarga natural. El agua subterránea presentó un pH de 7.24, bicarbonatos de 2.00 meq/L, cloruros de 3.20 meq/L, sulfatos de 1.30 meq/L y una RAS aproximada de 2.0, valores que indican baja salinidad y un riesgo mínimo de sodificación, siendo apta para riego agrícola. De igual manera, el suelo presentó textura franco arenosa, pH de 7.26, conductividad eléctrica de 0.32 mmhos/cm y 3.25 % de materia orgánica, características que favorecen la infiltración, la fertilidad y la sostenibilidad del sistema suelo-agua para la producción agrícola.
- ✓ El análisis de la demanda hídrica muestra que esta se encuentra dominada por cultivos de alta extensión y elevado consumo de agua, destacando la caña de azúcar con 467 ha y requerimientos entre 1,500 y 2,500 mm por ciclo, seguida del plátano con 228 ha y demandas de 1,200 a 1,500 mm/año. En contraste, cultivos como el maíz amarillo duro con 500-800 mm/ciclo, la yuca y las menestras presentan menores requerimientos, lo que los convierte en alternativas más eficientes bajo condiciones de escasez hídrica. Las condiciones climáticas del distrito, con temperaturas medias entre 19.0 y 25.6 °C y precipitaciones menores a 15 mm mensuales, refuerzan la dependencia del riego.
- ✓ La comparación entre la oferta hídrica subterránea y la demanda agrícola evidenció que la cuenca presenta un balance hídrico positivo de 78.59 MMC/año, con una oferta total de 1,160.87 MMC/año y una demanda de 1,082.28 MMC/año. No obstante, el agua subterránea representa solo el 7.51% de la oferta total de 87.2 MMC/año, constituyendo un recurso estratégico para el riego. Geoeléctricamente se identificó al SEV-05, seguido del SEV-04, como

los sectores con mayor potencial para el aprovechamiento del acuífero. Asimismo, el uso agrícola concentra el 93 % de la demanda hídrica y la eficiencia del riego es baja, con pérdidas de hasta 62 %, lo que incrementa la presión sobre el acuífero. En consecuencia, el uso del agua subterránea es sostenible en el corto plazo, presenta riesgo moderado en el mediano plazo y podría ser no sostenible en el largo plazo si no se implementan medidas de gestión y mejora de la eficiencia del riego.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar un monitoreo periódico de los pozos subterráneos, que incluya mediciones de niveles estáticos y dinámicos, caudales de extracción y parámetros de calidad del agua, lo cual permitirá conocer con mayor precisión la evolución del acuífero y detectar oportunamente posibles riesgos de sobreexplotación o deterioro de la calidad del agua utilizada para riego agrícola.
- ✓ Se recomienda promover estudios orientados a mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, priorizando la evaluación de sistemas de riego tecnificado y la adecuación de cultivos según su requerimiento hídrico, la implementación de estas medidas contribuirá a reducir el consumo de agua subterránea y a disminuir la presión sobre el acuífero del sector La Peña.
- ✓ Se recomienda evaluar escenarios futuros de disponibilidad y demanda hídrica, considerando el crecimiento agrícola, la variabilidad climática y las prácticas actuales de riego, fortaleciendo la gestión y control del uso del agua subterránea, a fin de garantizar la sostenibilidad del recurso en el mediano y largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alzate, Y., & Tirado, J. (2024). Comparison of seismic behavior using the response spectrum method and nonlinear dynamic analysis. *Universitay Politécnica de Caralunya*, 12. <http://hdl.handle.net/2117/423690>
- Carrión, P., Solórzano, J., Malavé, J., Martínez, J., Montalván, F., & Morante, F. (2024). *Mapeo de zonas con potencial de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola sostenible en Entre Ríos, Ecuador*. [Tesis de Pregrado, Ecuador]. <https://hdl.handle.net/10115/73098>
- Castañon, J. (2021). *ESTRUCTURAS METÁLICAS*. https://www.google.com.pe/books/edition/ESTRUCTURAS_MET%C3%81LICAS/hKPJDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Chidambaram, S., Prasanna, M., Venkatramanan, S., Nepolian, M., Pradeep, K., & Panda, B. (2022). Groundwater quality assessment for irrigation by adopting new suitability plot and spatial analysis based on fuzzy logic technique. *Environmental Research*, 204, 15. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111729>
- Coung, P., Tuan, T., & Nghia, T. (2021). Nonlinear time-history earthquake analysis for steel frames. *Heliyon*, 7(8), 18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06832>
- Espinoza, H. (2025). *Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis no lineal de la I.E. 20407 Los Naturales, Huaral – 2023*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrion. <http://hdl.handle.net/20500.14067/10703>
- Guerrero, J. (2023). *Evaluación de la ductilidad mediante análisis no lineal estático y análisis no lineal dinámico del edificio Juan Pablo II en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo en la ciudad de Chiclayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20500.12423/6205>
- Haipeng, G., Wang, L., Wang, L., Wang, Y., Zang, X., Zhao, X., Wang, H., & Zhu, J. (2021). Evaluation of Groundwater Suitability for Irrigation and Drinking

- Purposes in an Agricultural Region of the North China Plain. *MDPI*, 13(23), 22. <https://doi.org/10.3390/w13233426>
- Hermoza, J., Hermosa, R., & Sánchez, A. (s.f.). *Gobernanza del agua en territorios agrícolas - Estudio de caso en Perú*. Food & Agriculture Org. ISBN:9789251341018
- Mires, G. (2023). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego tecnificado a goteo en el cultivo de papaya en el sector El Palillo distrito de Jayanca - Lambayeque*. [Tesis de Pregrado, Lambayeque]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/12380>
- Moreno, A. (2006). *Gestión Integral de Cuencas*. International Potato Center. https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti%C3%B3n_Integral_de_Cuencas/jWJzjucuibwC?hl=es-419&gbpv=0
- Ortiz, J., González, J., Júnez, H., Bautista, C., & Dávila, S. (2021). Evaluation of Groundwater Quality for Human Consumption and Irrigation in Relation to Arsenic Concentration in Flow Systems in a Semi-Arid Mexican Region. *MDPI*, 18(15), 27. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158045>
- Pacari, P. (2025). *Evaluación de la calidad de agua de los pozos del sector Chachuyo del Centro Poblado de Pucarlaya, distrito de Puno - 2024*. [Tesis de Pregrado, ALCIRA].
- Paz, M. (2021). *Dinámica estructural. Teoría y cálculo*. Reverte. ISBN:9788429191011
- Reboredo, A. (2021). *El diseño estructural*. CP67. ISBN:9781643601267
- Rodríguez, C., Rodríguez, Á., López, R., & Caparrós, J. (2024). settingsOrder Article Reprints. *Applied Sciencies*, 14(6), 15. <https://doi.org/10.3390/app14062504>
- Rui, J. (2020). *Teoría unificada de estructuras y cimientos*. Reverte. SBN:9788429195880
- Santiago, J. (2017). *AGUA:Fuentes, caracterización, tecnología y gestión sustentable*. Alpha Editorial. ISBN:9786076228920

Soto, H. (2022). *Manual de criterios generales para la estructuración de edificios de acero*. CENTRO REGIONAL DE DESARROLLO EN INGENIERIA CIVIL. ISBN:9786079226077

Tarazona, I. (2024). *Evaluación de la disponibilidad hídrica superficial en la Cuenca del Rio Yauca bajo escenarios de cambio climático para el horizonte 2025 – 2050 usando WEAP*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/683217>

ANEXOS

Anexo 1: Evidencia fotografía

Figura 15

Reunión con el presidente de la comisión de usuarios



Nota: Reunión con el señor HILARIO ARCE presidente de la comisión de usuarios del SUB SECTOR HIDRÁULICO-SALAS

Figura 16

Visita a campo de estudio



Nota: Visita técnica a los campos de cultivo de los agricultores

Figura 17

Evidencia de muestra de agua



Nota: Toma de muestras de agua para análisis