



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“INFLUENCIA DE LA RECARGA HÍDRICA EN LA
CONCENTRACIÓN NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD
DE TUNI GRANDE - TARACO”**

Presentada por:

Bach. Aurea Marina Barrantes Limahuaya

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

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia



JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“INFLUENCIA DE LA RECARGA HÍDRICA EN LA
CONCENTRACIÓN NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD DE
TUNI GRANDE – TARACO”**

Bach. Aurea Marina Barrantes Limahuaya

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

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Juliaca – Perú

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Barrantes, A. (2025). *Influencia de la recarga hídrica en la concentración nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en la comunidad de Tuni Grande – Taraco* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Aurea Marina Barrantes Limahuaya

TÍTULO: Influencia de la recarga hídrica en la concentración nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en la comunidad de Tuni Grande – Taraco.

PUBLICACIÓN: Junio, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (121 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 01-000051-01/B25

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. José Luis Pineda Tapia

PALABRAS CLAVE: Agua subterránea, nitrato, pozo artesanal, precipitación y recarga hídrica.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**

**“INFLUENCIA DE LA RECARGA HÍDRICA EN LA
CONCENTRACIÓN NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD DE
TUNI GRANDE - TARACO”**

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

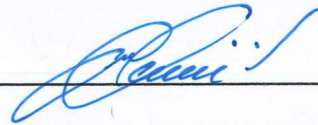
Presentada por:

Bach. Aurea Marina Barrantes Limahuaya

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro

PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Hugo Apaza Aquino

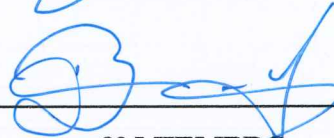
JURADO (Secretario)



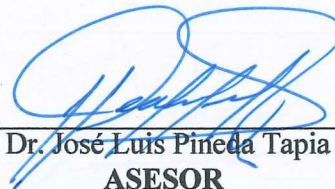
2° MIEMBRO

M.Sc. Jael Calla Calla

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



**Dr. José Luis Pineda Tapia
ASESOR**

Aurea Marina Barrantes Limahuaya

“INFLUENCIA DE LA RECARGA HÍDRICA EN LA CONCENTRACIÓN NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA SUB...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::3117:468269443

137 Páginas

Fecha de entrega
19 jun 2025, 10:42 a.m. GMT-5

28.938 Palabras

Fecha de descarga
19 jun 2025, 10:50 a.m. GMT-5

148.026 Caracteres

Nombre de archivo
INFORME DE TESIS_Aurea_Marina_BARRANTES_LIMAHUAYA.pdf

Tamaño de archivo
5.1 MB



JOSE LUIS PINEDA TAPIA




12% Similitud general

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

Filtrado desde el informe



- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
57 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
9 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

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



JOSE LUIS PINEDA TAPIA

DEDICATORIA

A mi querido padre, Genaro Barrantes Yucra

Por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y la confianza que siempre ha depositado en mí, inspirándome a seguir adelante y nunca rendirme.

A mi querida madre, Alicia Limahuaya Mamani

Por brindarme su fuerza y paciencia para alcanzar mis metas, y ser un ejemplo inspirador para mis hermanas.

A mis imparables hermanas, Brígida, Lidia y Lirica

Por ser mi constante fuente de motivación y por inspirarme a ser un ejemplo a seguir para ustedes.

A la naturaleza

Por existir y permitirme el privilegio de explorar y comprender su esencia.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. José Luis Pineda Tapia, asesor de tesis, por su orientación invaluable, su constante motivación y por enseñarme que todo es posible, acompañándome hasta alcanzar la meta.

A mi familia Barrantes Limahuaya quienes me guiaron y apoyaron durante mi formación académica universitaria y la ejecución de esta investigación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Juliaca por ser mi casa superior de estudios y mi alma mater de cursar mis estudios superiores.

Agradezco a los miembros del jurado, Dr. Wile Mamani Navarro, M. Sc. Hugo Apaza Aquino y M. Sc. Jael Calla Calla por la revisión y la sugerencia a lo largo del avance de la investigación.

Finalmente. un agradecimiento a mis compañeros y amigos de la universidad, trabajo, quienes me brindaron su apoyo moral durante la realización de este proyecto.

Aurea Marina Barrantes Limahuaya

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema de investigación.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicas.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.4.1 Tecnológica.....	3
1.4.2 Social.....	3
1.4.3 Ambiental.....	4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de investigación.....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3 Antecedentes regionales.....	9
2.2 Marco teórico.....	10
2.2.1 Agua subterránea.....	10
2.2.2 Efectos de la sequía en el agua subterránea.....	10

2.2.3	Pozo	10
2.2.4	Infiltración	11
2.2.5	Capacidad de infiltración.....	11
2.2.6	Velocidad de infiltración	11
2.2.7	Factores que afectan las tasas de infiltración.....	11
2.2.8	Métodos de medición de la infiltración	12
2.2.9	Nivel freático	12
2.2.10	Variaciones en el nivel freático	12
2.2.11	Recarga hídrica.....	13
2.2.12	Nitratos	15
2.2.13	Fuentes de principales de nitrógeno de nitratos en agua subterránea.....	15
2.2.14	Afectación en la salud humana.....	16
2.2.15	Afectación en el medio ambiente	17

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ámbito de estudio.....	18
3.2	Población y muestra.....	19
3.3	Equipos, materiales, reactivos e insumos	20
3.3.1	Materiales e Insumos	20
3.3.2	Equipos	20
3.4	Tipo y diseño de investigación	20
3.5	Estadística aplicada a la investigación.....	20
3.5.1	Regresión lineal simple	20
3.6	Identificación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático a los pozos de agua.	21
3.6.1	Reconocimiento de campo:	21
3.6.2	Selección de las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal)	21
3.6.3	Recolección de muestra	21
3.6.4	Medición de parámetros in situ	22
3.6.5	Análisis de muestras	22
3.6.6	Medición del nivel freático.....	22

3.7	Evaluación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo.....	23
3.7.1	Método de infiltrómetro de doble anillo.....	23
3.8	Determinación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de..... nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la..... precipitación.....	25
3.8.1	Identificación de la fuente de datos meteorológicos	25
3.8.2	Descarga de los datos	25
3.8.3	Determinación de la época estiaje	25
3.8.4	Determinación de la época avenida.....	25
3.9	Procesamiento de datos.....	26
3.10	Tratamiento de valores atípicos	26
3.11	Variables de investigación	26
3.11.1	Variables independientes.....	26
3.11.2	Variable dependiente	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Análisis de estadísticos descriptivos.....	27
4.2	Análisis de estadístico inferencial y contraste de hipótesis	33
4.2.1	Identificación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al ... nivel freático a los pozos de agua.....	33
4.2.2	Evaluación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de ... nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo.	39
4.2.3	Determinación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea en relación a la precipitación.....	46

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	54
5.2	Recomendaciones	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Fechas de muestreo de las fuentes de agua subterránea	19
Tabla 2	Ubicación de los puntos de muestreo	19
Tabla 3	Método de análisis de nitrato.....	22
Tabla 4	Resumen estadístico de los parámetros in situ en la época de estiaje	27
Tabla 5	Resumen estadístico de los parámetros in situ en la época de avenida.....	28
Tabla 6	Comparación del límite máximo permisible de la concentración de nitrato	29
Tabla 7	Resumen estadístico del nivel freático en épocas de estiaje y avenida	30
Tabla 8	Resumen estadístico de infiltración en épocas de estiaje y avenida.....	31
Tabla 9	Resumen estadístico de la precipitación en las épocas de estiaje y avenida	32
Tabla 10	Resumen estadístico de NO_3^- en relación a nivel freático en estiaje.....	33
Tabla 11	ANOVA ^a de concentración (NO_3^-) en relación a nivel freático en estiaje.....	34
Tabla 12	Coefficientes ^a de concentración (NO_3^-) en relación a nivel freático en estiaje	34
Tabla 13	Resumen estadístico concentración NO_3^- con nivel freático en estiaje.....	35
Tabla 14	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida...	36
Tabla 15	ANOVA ^a de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida.....	37
Tabla 16	Coefficientes ^a de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida	37
Tabla 17	Resumen estadístico de la concentración NO_3^- con nivel freático en avenida	38
Tabla 18	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con infiltración en estiaje	40
Tabla 19	ANOVA ^a de la concentración NO_3^- con infiltración en estiaje.....	40
Tabla 20	Coefficientes ^a de la concentración NO_3^- con infiltración en estiaje	41
Tabla 21	Resumen estadístico de la concentración NO_3^- con infiltración en estiaje	41
Tabla 22	Resumen estadístico de la concentración NO_3^- con infiltración en avenida ..	43
Tabla 23	ANOVA ^a de la concentración NO_3^- con infiltración en avenida	44
Tabla 24	Coefficientes ^a concentración NO_3^- con infiltración en avenida	44
Tabla 25	Resumen estadístico concentración NO_3^- con infiltración en avenida.....	45
Tabla 26	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje	47
Tabla 27	ANOVA ^a de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje.....	47
Tabla 28	Coefficientes de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje.....	48
Tabla 29	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje	48
Tabla 30	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en avenida ...	50
Tabla 31	ANOVA ^a de concentración NO_3^- con precipitación en avenida	50
Tabla 32	Coefficientes de concentración NO_3^- con precipitación en avenida.....	51

Tabla 33	Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje	51
Tabla 34	Operacionalización de variables	95
Tabla 35	Parámetros de medición in situ en la época de estiaje.....	97
Tabla 36	Parámetros de medición in situ en la época de avenida	97
Tabla 37	Concentración de nitratos en época de estiaje y avenida.....	98
Tabla 38	Nivel freático en época de estiaje y avenida.....	98
Tabla 39	Infiltración promedio del suelo por el método de doble anillo.....	99
Tabla 40	Precipitación en épocas de estiaje y avenida.....	99
Tabla 41	Datos de infiltración y procesamiento del punto - P1 en estiaje	101
Tabla 42	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P2 en estiaje.....	102
Tabla 43	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P3 en estiaje.....	103
Tabla 44	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P4 en estiaje.....	104
Tabla 45	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P5 en estiaje.....	105
Tabla 46	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P6 en estiaje.....	106
Tabla 47	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P7 en estiaje.....	107
Tabla 48	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P8 en estiaje.....	108
Tabla 49	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P9 en estiaje.....	109
Tabla 50	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P10 en estiaje.....	110
Tabla 51	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P1 en avenida.....	112
Tabla 52	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P2 en avenida.....	113
Tabla 53	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P3 en avenida.....	114
Tabla 54	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P4 en avenida.....	115
Tabla 55	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P5 en avenida.....	116
Tabla 56	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P6 en avenida.....	117
Tabla 57	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P7 en avenida.....	118
Tabla 58	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P8 en avenida.....	119
Tabla 59	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P9 en avenida.....	120
Tabla 60	Datos de infiltración y procesamiento del punto – P10 en avenida.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consecuencias de la variación del nivel freático.	13
Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.....	18
Figura 3. Instalación de los anillos en el campo.....	23
Figura 4. Lectura directa en las dos épocas de estiaje y avenida	24
Figura 5. Regresión lineal concentración NO_3^- con nivel freático en estiaje.....	35
Figura 6. Regresión lineal de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida.....	38
Figura 7. Regresión lineal de la concentración NO_3^- con infiltración en estiaje.....	42
Figura 8. Regresión lineal concentración NO_3^- con infiltración en avenida	45
Figura 9. Regresión lineal de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje	49
Figura 10. Regresión lineal de concentración NO_3^- con precipitación en avenida	52
Figura 11. Medición de los parámetros de campo.....	76
Figura 12. Toma de muestreo de agua de las fuentes de aguas subterráneas.....	76
Figura 13. Preservación de las muestras para el envío al laboratorio	77
Figura 14. Medición de la capacidad de infiltración del suelo.....	77
Figura 15. Medición de los parámetros de campo.....	79
Figura 16. Determinación de parámetros de campo.....	79
Figura 17. Desinfección del medidor de parámetros de campo	80
Figura 18. Almacenamiento de las muestras.....	80
Figura 19. Medición del nivel freático en avenida.....	81
Figura 20. Nivelación para la medición de capacidad de infiltración del suelo.....	81
Figura 21. Medición de la capacidad de infiltración del suelo.....	82
Figura 22. Registro de la capacidad de infiltración del suelo.....	82
Figura 23. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P1 en la época de estiaje	101
Figura 24. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P2 en estiaje.....	102
Figura 25. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P3 en estiaje.....	103
Figura 26. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P4 en estiaje.....	104
Figura 27. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P5 en estiaje.....	105
Figura 28. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P6 en estiaje.....	106
Figura 29. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P7 en estiaje.....	107
Figura 30. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P8 en estiaje.....	108
Figura 31. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P9 en estiaje.....	109
Figura 32. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P10 en estiaje.....	110

Figura 33. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P1 en avenida	112
Figura 34. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P2 en avenida	113
Figura 35. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P3 en avenida	114
Figura 36. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P4 en avenida	115
Figura 37. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P5 en avenida	116
Figura 38. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P6 en avenida	117
Figura 39. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P7 en avenida	118
Figura 40. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P8 en avenida	119
Figura 41. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P9 en avenida	120
Figura 42. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P10 en avenida	121

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de los puntos de toma de datos de campo	73
Anexo 2. Registro fotográfico en la época de estiaje	75
Anexo 3. Registro fotográfico en la época de avenida.....	78
Anexo 4. Informe de laboratorio de la concentración de nitrato en estiaje.....	83
Anexo 5. Informe de laboratorio de la concentración de nitrato en avenida.....	87
Anexo 6. Normatividad de límites máximos permisibles	91
Anexo 7. Operacionalización de variables	94
Anexo 8. Resumen de resultados de datos de la investigación	96
Anexo 9. Registro de datos campo en la época de estiaje.....	100
Anexo 10. Registro de datos en campo en la época de avenida.....	111

RESUMEN

Las fuentes de agua subterránea, representadas por los pozos artesanales en la comunidad de Tuni Grande, constituyen la principal fuente de abastecimiento para el consumo humano y actividades agrícolas. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en la comunidad de Tuni Grande - Taraco. La metodología se realizó seleccionando diez (10) muestras por el método no probabilístico, en época de estiaje (octubre 2023) y avenida (marzo 2024). Los resultados de los parámetros de medición in situ en la época de estiaje se tiene una media de pH 7.10, Temperatura 15.42 °C, conductividad 3215.00 $\mu\text{mho/cm}$ y sólidos disueltos totales 1601.79 mg/L; en la época de avenida se tiene una media de pH 7.15, Temperatura 14.60 °C, conductividad 3216.00 $\mu\text{mho/cm}$ y sólidos disueltos totales 1620.75 mg/L. Respecto a la concentración de nitrato, se registró una media de 102.30 mg/L durante la época de estiaje y 85.96 mg/L en época de avenida. En relación con el nivel freático, se observó una correlación moderada durante la época de estiaje ($R= 0.33$) y en época de avenida ($R=0.43$); sin embargo, los análisis estadísticos indicaron que no existen diferencias significativas entre ambas épocas. Asimismo, los resultados sobre la capacidad de infiltración del suelo no mostraron significancia estadística en estiaje ni en avenida. Finalmente, aunque la precipitación presentó una correlación moderada con la concentración de nitrato durante la época de avenida ($R = 0.47$) y en la época de estiaje ($R = 0.51$), esta relación no resultó estadísticamente significativa. Se concluye que no existen influencias significativas en la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozos artesanales) en relación a nivel freático, infiltración y precipitación durante la época de estiaje y avenida.

Palabras clave: Agua subterránea, nitrato, pozo artesanal, precipitación y recarga hídrica.

ABSTRACT

Groundwater sources, represented by artesian wells in the community of Tuni Grande, are the main source of supply for human consumption and agricultural activities. The objective of this research was to determine the influence of water recharge on nitrate concentration in groundwater sources (artesian wells) in the community of Tuni Grande - Taraco. The methodology was carried out by selecting ten (10) samples by the non-probabilistic method, in low water (October 2023) and flood (March 2024). The results of the in situ measurement parameters in the low water season showed an average pH 7.10, temperature 15.42 °C, conductivity 3215.00 µmho/cm and total dissolved solids 1601.79 mg/L; in the flood season, the average pH was 7.15, temperature 14.60 °C, conductivity 3216.00 µmho/cm and total dissolved solids 1620.75 mg/L. Regarding nitrate concentration, an average of 102.30 mg/L was recorded during the dry season and 85.96 mg/L during the flood season. In relation to the water table, a moderate correlation was observed during the dry season ($R= 0.33$) and flood season ($R=0.43$); however, statistical analysis indicated that there were no significant differences between the two seasons. Likewise, the results on soil infiltration capacity did not show statistical significance during low water or flooding. Finally, although precipitation showed a moderate correlation with nitrate concentration during the flood season ($R = 0.47$) and the dry season ($R = 0.51$), this relationship was not statistically significant. It is concluded that there are no significant influences on the influence of water recharge on the concentration of nitrate in groundwater sources (artesian wells) in relation to the water table, infiltration and precipitation during the dry and flood seasons.

Key words: Groundwater, nitrate, artesian well, precipitation, and water recharge.

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea representa una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano, riego y otras actividades en zonas rurales del Perú (ANA,2021). No obstante, la calidad de este recurso se encuentra amenazada por la creciente presencia de contaminantes como los nitratos, los cuales pueden provenir del uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, la actividad agrícola, infiltraciones desde sistema de saneamiento inadecuados, entre otros (Rodríguez y Gutiérrez, 2019).

En este contexto, la recarga hídrica y la contaminación por nitratos están estrechamente vinculadas, ya que un incremento de la recarga hídrica puede elevar los niveles de nitratos en el agua subterránea (Bertoncini et al., 2020 y López et al., 2019). Por el contrario, durante los períodos de sequía, la baja recarga hídrica limita la dilución de los nitratos, lo que puede resultar en una concentración elevada de estos compuestos (Payan et al., 2017 y Zhang et al., 2021). En suelos con alta capacidad de infiltración, los nitratos pueden ser diluidos rápidamente, mientras que en suelos con baja infiltración tienden a acumularse en las capas superficiales (Vargas et al., 2017). Además, las precipitaciones también juegan un papel crucial en la recarga hídrica. Lluvias intensas o prolongadas incrementan la velocidad de la recarga y pueden contribuir a un aumento en la concentración de nitratos en las aguas subterráneas (Molina et al., 2019).

En ese contexto; con la finalidad de investigar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitratos en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en la comunidad de Tuni Grande del distrito de Taraco, Huancané, Puno; se planteó desarrollar la investigación que tuvo por objetivo general de determinar la influencia de la recarga hídrica en la concentración en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) y los objetivos específicos son identificar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático a los pozos de agua, evaluar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo y determinar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la precipitación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema de investigación

A nivel mundial, la contaminación de aguas subterráneas con nitrato constituye uno de los principales problemas globales (Rodríguez et al., 2012). Está vinculada al aumento uso de fertilizantes nitrogenados (Singh y Craswell, 2021), lo que afecta tanto a aguas subterráneas como superficiales. Las actividades antropogénicas impactan cada vez más las aguas subterráneas, generando preocupación (Verma et al., 2023; Atabati et al., 2022 y Sheng et al., 2023). El uso excesivo de fertilizantes y estiércol en la agricultura contribuye a la lixiviación de nitrógeno (Pasupuleti et al., 2022; Kyte et al., 2023), mientras que los contaminantes industriales y agrícolas también alteran la calidad del agua (Mancilla et al., 2021). Este problema persiste en países agricultura intensiva y altos excedentes de nitrógeno (Zhu et al., 2023; Xie et al., 2023).

La recarga hídrica es un proceso esencial en el cual el agua superficial se infiltra a través del suelo, recargando los acuíferos subterráneos. Este fenómeno tiene un impacto directo en la distribución y concentración de contaminantes, como los nitratos, en los acuíferos (Castaldo et al., 2021). En regiones semiáridas, la recuperación del nivel freático provoca el desplazamiento de nitratos acumulados hacia los acuíferos, mientras que factores como las precipitaciones y el uso del suelo generan fluctuaciones en su concentración (Zang et al., 2022; Deng et al., 2023 y Zuo et al., 2023). Uno de los factores que puede influir en el aumento de los niveles de nitratos en los acuíferos es el proceso de recarga hídrica, mediante el cual el agua de las lluvias o de fuentes superficiales se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos subterráneos (Chesworth, 2012).

Los nitratos representan un riesgo considerable para la salud humana, especialmente cuando se consumen a través de agua potable con niveles elevados. Su presencia en el agua subterránea representa graves riesgos para la salud, como metahemoglobinemia (síndrome del bebé azul), trastornos tiroideos y un mayor riesgo de cáncer debido a la exposición prolongada (Selvam et al., 2023; Verma et al., 2023 y Das et al., 2023). Además, los nitratos tienen efectos perjudiciales sobre los ecosistemas acuáticos, siendo la eutrofización uno de los problemas más graves. Este proceso, provocado por el exceso de nutrientes como el nitrógeno, favorece el crecimiento desmedido de algas, alterando la calidad de agua y amenazando la biodiversidad acuática (Pérez et al., 2013).

Por ello, la comunidad de Tuni Grande, ubicada en el distrito de Taraco, depende de los pozos artesanales como fuente principal de agua para consumo humano. Sin embargo, actividad agrícola y ganadera en la localidad, que incluye el uso de fertilizantes químicos, junto con la presencia de pozas sépticas, podría estar contribuyendo a la contaminación de los acuíferos con nitratos. A pesar de su importancia de este problema, aún se desconoce como la recarga hídrica influye en la concentración de nitratos en los pozos artesanales de esta comunidad, lo que resalta la necesidad de realizar un estudio sobre la relación entre estos factores.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) de la comunidad de Tuni Grande, distrito Taraco, provincia Huancané, departamento Puno, 2023?

1.2.2 Problemas específicas

- ¿Cuál es la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación al nivel freático a los pozos de agua?
- ¿En qué medida influye la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo?
- ¿Cuál es la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la recarga hídrica en la concentración nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) de la comunidad de Tuni Grande, distrito Taraco, provincia Huancané, departamento Puno.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación al nivel freático a los pozos de agua.

- Evaluar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo.
- Determinar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea en relación a la precipitación.

1.4 Justificación

1.4.1 Tecnológica

La investigación contribuirá con la generación de información y la creación de una base de datos para las futuras investigaciones. A pesar de que se ha reportado un descenso de los niveles freáticos en pozos y la disminución de los cuerpos de agua, aún no existen trabajos científicos que analicen estos efectos (Soledad, 2010). Además, es importante conocer la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea, para determinar si cumplen con el reglamento de la calidad del agua para el consumo humano, es fundamental conocer las concentraciones de nitrato en aguas subterráneas para el control de la contaminación y la gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos (Bao et al., 2022). El estudio ofrece una referencia importante para la gestión de los recursos hídricos (Su et al., 2023; Zhang et al., 2023), lo que ha generado un creciente interés en su análisis (Mao et al., 2023).

1.4.2 Social

El área de estudio corresponde la comunidad de Tuni Grande, que ha sido relativamente poco investigada, por ello no cuenta con el sistema de agua potable, la población se abastece de los pozos artesanales, para su consumo humano y otros usos, además, hay una disminución del nivel freático y se desconoce si existe presencia de las concentraciones de nitrato, asimismo en esta zona existe la actividad agrícola y ganadera. Por ello es muy necesario conocer estos parámetros para el consumo (Urruchi, 2018), asimismo la medición de las variaciones de los niveles de agua en piezómetros y en pozos de observación es un aspecto muy relevante (Giambelli, 2008). Este estudio proporciona una valiosa orientación para la gestión del agua (Xie et al., 2023) y proporciona fundamentos científicos a los gobiernos locales y a los responsables políticos para desarrollar adecuadas que protejan la calidad la calidad de las aguas subterráneas frente a la contaminación por nitratos (Verma et al., 2023).

Además, este estudio puede fortalecer las capacidades científicas y ayudar a las autoridades locales a la toma de decisiones en otros áreas a desarrollar estrategias medioambientales adecuadas que actualmente se encuentran en una fase temprana de deterioro de los recursos hídricos subterráneos (Boumaiza et al., 2022). También, se requiere urgentemente un plan de gestión de las aguas subterráneas adecuado para lograr un equilibrio óptimo entre la recuperación del nivel de las aguas subterráneas y el medio ambiente de las aguas subterráneas (Zang et al., 2022).

1.4.3 Ambiental

Este estudio proporcionara la primera documentación de la distribución del nitrato de las aguas subterráneas (Sarkar et al., 2021) en la comunidad de Tuni Grande. cabe señalar que el objetivo 6 de los ODS nos menciona garantizar la gestión sostenible del agua, saneamiento y buena calidad del agua para todos (Montero, 2022), asimismo el cumplimiento de acceso a agua potable segura, limpia (ODS 6.1 y 6.3) y de reducción de las enfermedades y muertes causadas por contaminantes peligrosos (ODS 3.9) (Verma et al., 2023). La identificación precisa de las fuentes potenciales de dicha contaminación es de vital importancia para el control (Qiu et al., 2023). Además, conservar la cantidad y calidad de las aguas subterráneas (Urruchi, 2018) es un requisito vital para la gestión de los recursos hídricos (Sheng et al., 2023).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Cerri et al. (2024), evaluaron la calidad del agua subterránea en pozos de Rafaela empleando el Índice de Calidad de Agua (ICA), que combina parámetros físicos y bacteriológicos para clasificar su aptitud para consumo humano. El ICA permitió demostrar que la calidad del agua subterránea en estos puntos no es aceptable, lo que indica una degradación en su calidad.

Pereira (2024), analizó la distribución de nitratos en el Sistema Acuífero de la Sierra General, que abarca 20 municipios en la región Pioneiro Norte de Paraná. Se examinaron parámetros como nitrato, pH, conductividad eléctrica y turbidez, creando mapas a partir de los datos. Los resultados indicaron que las aguas se clasifican como bicarbonatadas de calcio, calcio-magnesianas y sódicas. Se encontró que tres pozos presentaban niveles de nitratos superiores a los permitidos por la legislación brasileña, con fuentes de contaminación como fosas sépticas, fertilizantes agrícolas y un cementerio municipal.

Salese y Lara (2024), analizaron el aumento de las precipitaciones y el reemplazo de pastizales por cultivos en la cuenca del río salado (2001-2020) generan anegamientos prologados que afectan la economía local. Usando imágenes satelitales y datos climáticos, se encontró que las precipitaciones son el principal factor de los anegamientos, seguido por el cambio en el uso del suelo. La combinación de ambos tiene un impacto mayor que cada factor por separado, agravando los problemas en terrenos planos con mal drenaje y niveles freáticos elevados.

Ayejoto y Egbueri (2023), recogieron diez muestras de aguas subterráneas y analizaron sus parámetros fisicoquímicos. Los resultados mostraron que, si bien los niveles de nitrato estaban dentro de los límites aceptables, las concentraciones de metales pesados superaban los niveles permitidos en todas las muestras. Los niños mostraron una mayor vulnerabilidad a los riesgos para la salud en comparación con los adultos.

Gomes et al. (2023), identificaron los puntos de aguas subterráneas situados en territorios artificializados y zonas agrícolas presentan la mayor concentración de nitratos. Esta situación se debe principalmente a una disminución de la recarga de las aguas

superficiales, asociada al aumento de las fuentes contaminantes, así como a prácticas agrícolas inadecuadas. Las zonas con una productividad agrícola considerable y situadas lejos de las aguas superficiales muestran un aumento de la concentración de nitratos.

Biswas et al. (2023) evaluó la concentración de arsénico y nitrato en zonas vulnerables de los cinturones costeros del sitio Ramsar. La vulnerabilidad al As y de baja a moderadamente vulnerable al nitrato. Los resultados fiables de este estudio ayudaran a las autoridades de gestión y a los responsables políticos a tomar medidas preventivas para reducir la vulnerabilidad de los recursos hídricos y los correspondientes riesgos para la salud.

Chen et al. (2023), mostraron que la proporción de nitrato respecto a la suma de amoníaco y nitrato en las aguas subterráneas mostraba una tendencia creciente durante 2010 – 2021. La concentración de nitratos se correlacionó positivamente con la proporción de tierras cultivadas y negativamente con la proporción de tierras forestales en la zona tampón. El estiércol y las aguas residuales fueron las principales fuentes de nitrato de las aguas subterráneas (72%), la tierra cultivada (69%) y el área de acuicultura (72%).

Qiu et al. (2023), mostraron que la concentración de nitrato oscila entre 0.00 y 293.21 mg/L, y que el 18.37% de las muestras de agua subterránea superaban la norma de agua potable en China (GB 5749-2006). Los resultados del modelo bayesiano mostraron que las contribuciones proporcionales de las fuentes potenciales de contaminación por nitratos en aguas subterráneas poco profundas eran el estiércol y las aguas residuales (39.54%), NH_4^+ en abonos y precipitaciones (34.39%), nitrógeno del suelo (14.89%), y NO_3^- -N en deposición atmosférica (10.64%). La evaluación del riesgo para la salud indicó que los riesgos no cancerígenos planteados por el NO_3^- eran mayores para los niños que para los adultos. La principal vía de exposición fue la ingestión oral.

Sheng et al. (2023), indicaron que las concentraciones de los principales componentes hidro químicos en las aguas subterráneas presentaban una amplia variabilidad. La concentración de nitrato variaba entre 0.59 y 824.80 mg/L; superaba la norma de agua potable de la OMS (50 mg/L) en el 89.47% de los puntos de muestreo. Las aguas subterráneas de mala calidad se concentraban en la parte suroccidental de la zona de estudio. Los riesgos no cancerígenos del nitrato en el 96.71%, 94.74%, 89.47% y 89.47% de las muestras de aguas subterráneas eran inaceptables para lactantes, niños,

adolescentes y adultos, y la distribución espacial del cociente de peligrosidad coincidía con el patrón espacial de la concentración de nitrato.

Verma et al. (2023), investigaron la distribución geoespacial de la concentración de nitratos en el IGP, A partir de esta revisión sistémica, se puso de manifiesto que el uso del suelo era el factor determinante de las fuentes de contaminación por nitratos en el IGP. En las zonas agrícolas, los fertilizantes y los abonos; mientras que, en las zonas de asentamientos, las principales fuentes era los desagües abiertos y las fugas de las fosas sépticas. La evaluación de HHR indica que los niños del grupo de edad de 0 a 6 años corrían mayores riesgos para la salud que los adultos. La evaluación del HHR de las muestras de agua subterránea del IGP revela que el consumo de 34%, 29.3% y 25.2% de las muestras puede causar un riesgo potencial para la salud de niños, hombres y mujeres, respectivamente.

Zhang et al. (2023), concluyeron que aproximadamente el 75% de las muestras de agua subterránea (recogidas en 2014 y 2018) tenían concentraciones de nitrato que superaban la directriz de la Organización Mundial de la Salud para el agua potable (50 mg/L), y el 44% superaba la norma de calidad de las aguas subterráneas de China (88.6 mg/L), lo que indica una grave contaminación por nitratos. Las fuentes predominantes de nitrato en las zonas residenciales fueron el estiércol y las aguas residuales, y no mostraron cambios evidentes a lo largo del tiempo de recarga.

Zhu et al. (2023), mencionaron que, en la región estudiada el 44% de las aguas subterráneas superaban la norma de potabilidad de la Organización Mundial de la Salud (50 mg/L NO_3^-). El riego y las precipitaciones aceleraron la migración de NO_3^- profundo del suelo.

Golaki et al. (2022), investigaron las concentraciones de nitrato, nitrito, fluoruro y coliformes totales en la fuentes de abastecimiento de agua de Kazerum y evaluar los riesgos para la salud en cuatro grupos edad (lactantes, niños, adolescentes y adultos); los resultados mostraron que arteria superior a 1 en el 56% de los casos entre niños, lo que se consideró un riesgo grave; además no revelaron ninguna relación significativa entre las concentraciones de nitrato, nitrito y los coliformes totales.

Boumaiza et al. (2022), muestran que las concentraciones de nitratos proceden principalmente de las aguas residuales y del estiércol. El nitrato procedente de las aguas residuales se atribuye al vertido de aguas residuales urbanas y rurales, mientras que el

nitrate procedente del estiércol está relacionado con el estiércol animal utilizado para fertilizar zonas agrícolas. En las aguas subterráneas y superficiales se identificarán altas proporciones de precipitaciones atmosféricas basados en nitratos; un hallazgo específico de este estudio.

Markovi et al. (2022), muestrearon las aguas subterráneas en el período comprendido entre abril del 2018 y el diciembre de 2019 en 10 sitios diferentes mediante el bombeo de los pozos, y directamente en la gravera. Se recogieron muestras sólidas representativas de plantas, suelo, estiércol y fertilizantes sintéticos de tierras de cultivo en dos campañas (julio y octubre de 2019). El conjunto de datos presentado puede utilizarse como línea base para la identificación de fuentes de nitratos en aguas subterráneas y posibles procesos de atenuación de nitratos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Dávila et al. (2024), evaluaron las concentraciones de fosfatos y nitratos en el río Ichú, Huancavelica, entre enero y septiembre de 2018. Se definieron seis puntos de monitoreo y se usaron instrumentos especializados (multiparámetro y espectrofotómetro) para los análisis. Los resultados mostraron que los nitratos 80.2-4.6 mg/L) cumplen con el estándar de calidad ambiental (ECA) para agua categoría 3, mientras que los fosfatos (0.21-4.76 mg/L) exceden el límite permitido (1mg/L). Este problema se atribuye al vertimiento de aguas residuales y desechos domésticos en el río.

Núñez y Pinares (2024), determinaron cómo la infiltración afecta la capacidad de recarga hídrica en los bofedales. Los resultados revelan que la infiltración tiene un rango de 0.2 a 7.9 cm de altura infiltrada en los puntos elegidos, con una velocidad que varía entre 0.72 y 210.00 mm/hr. El volumen acumulado de agua varía entre 2.50 y 52.60 cm, llegando a su punto de saturación en un tiempo medio de 120 minutos. Respecto a la capacidad de recarga de agua, se estableció que se generan 623.16 mm/ha/año de escorrentía, lo que se traduce en 311 583 m³/año en un área de 50 ha de ecosistema de bofedal. Se calculó que la percolación era de 554.28 mm/año, produciendo 277 143 m³/año en la misma zona de bofedal.

Pico (2023), realizó un muestreo de 10 puntos específicos para la toma de muestras de los pozos tubulares, en donde verifico que tipo de agua se está consumiendo y en ellas se encuentran anomalías como son los metales pesados. El distrito de Jayanca es un distrito

que no presenta con estudios para identificar la calidad de agua que consumen los pobladores de la zona rural en los diferentes pozos tubulares.

Layten y Santi (2021), identificaron las zonas de recarga hídrica en la Subcuenca del río Santa Eulalia con la aplicación del método de aguas subterráneas (RAS). La metodología utilizada permite la elaboración de un mapa de recarga de aguas subterráneas donde intervienen variables como pendiente, textura del suelo, cobertura vegetal, precipitación y evapotranspiración. Se utilizaron los datos de SENAMHI Pisco y se realizó una comparación para determinar el grado de ajuste con los datos registrados por las estaciones de la zona de estudio publicados diariamente en su portal web. De acuerdo con los resultados obtenidos se identificaron cinco zonas potenciales de recarga hídrica con la clasificación de muy baja, baja, media, alta y muy alta, con valores de 21%, 22%, 21%, 22% y 14% del área total, respectivamente.

Caballero (2020), identificó el potencial de recarga hídrica en el área de la microcuenca Samincheni dentro del territorio del distrito de Pichanaki, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín. Se aplicó la metodología desarrollada por (Matus, 2009) para obtener el potencial de recarga hídrica a partir del cálculo algebraico de cinco parámetros de la microcuenca: pendiente, cobertura vegetal, uso del suelo, tipo de suelo y tipo de roca; todos ellos con una ponderación de uno a cinco. Los resultados obtenidos muestran que en la microcuenca de Samincheni predominan las áreas con bajo potencial de recarga hídrica con un 54.8%, mientras que las áreas con potencial moderado y alto representan el 32.8% y 11.8% de la microcuenca, respectivamente, y finalmente las áreas con potencial muy bajo apenas cubren el 0.5% del área de estudio.

2.1.3 Antecedentes regionales

Mayta (2014), analizó la situación de las zonas de recarga hídrica, fuentes de agua para consumo humano y riego de la microcuenca del río Huayllani, Lampa. Como resultado de la investigación se analizó las deficiencias respecto al manejo y gestión de cuencas a fin de conservar las zonas de recarga hídrica y por ende la conservación de los recursos naturales. Además, determinaron que el 39% de la microcuenca es potencialmente apto para la zona de recarga hídrica y el 61% que es parte de roca que no ayudaría a ser como una zona de recarga de acuíferos.

Vilca (2015), determinó la variación del nivel freático con el fin de aprovechar las aguas subterráneas para riego presurizado. La metodología empleada para el presente estudio

incluyó la evaluación y monitoreo de los pozos ubicados en el área de estudio. Asimismo, se seleccionó el pozo destinado al aprovechamiento del recurso hídrico, para lo cual se realizó una prueba de bombeo, permitiendo determinar su rendimiento (caudal) del pozo.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Agua subterránea

Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran debajo de la superficie y que han sido filtradas por acción de la gravedad a través del suelo y de los cuerpos de agua como ríos, lagunas, entre otros (SUNASS, 2017). Estas se desplazan lentamente por los espacios vacíos (poros) presentes en los suelos y las rocas.

En el marco del ciclo hidrológico, se consideran aguas subterráneas aquellas que se encuentran en fase de circulación o almacenadas bajo la superficie del terreno, alojadas en medios porosos, fractura de rocas u otras formaciones geológicas. Para su extracción y uso, es necesaria la implementación de obras específicas (MINAGRI & ANA, 2020).

El agua subterránea, es aquella que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. Su principal fuente de recarga es el agua de lluvia, a través del proceso de infiltración. Sin embargo, también puede recibir aportes localizados de cuerpos superficiales como ríos, arroyos, lagos y lagunas (Collazo y Montaña, 2012).

El desplazamiento del agua subterránea a través de los acuíferos detríticos es muy lento; su velocidad media puede variar desde apenas unos pocos metros hasta varios centenares de metros por año (López et al., 2009).

2.2.2 Efectos de la sequía en el agua subterránea

La precipitación y a la evaporación son los principales factores climáticos que influyen en el proceso del ciclo hidrológico. La infiltración del agua de lluvia constituye la principal fuente de recarga de los acuíferos. Una ausencia prolongada de precipitaciones puede provocar en estos sistemas consecuencias negativas, las cuales podrán revertirse una vez se restablezcan las condiciones climáticas normales en la región (Collazo y Montaña, 2012).

2.2.3 Pozo

Estructura hidráulica para el acceso al agua subterránea, realizada mediante excavación vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar una explotación sostenida de agua subterránea (MINAGRI y ANA, 2020).

2.2.4 Infiltración

La infiltración es una propiedad del suelo que evalúa la velocidad con la que el agua penetra desde la superficie hacia el perfil del suelo (Jaramill, 2002). Se define comúnmente como el proceso mediante el cual el agua entra en el suelo en forma vertical atravesando sus distintas capas (Delgadillo, 2016). Este fenómeno depende de varios factores, como la textura, estructura, contenido de humedad, cobertura vegetal, y compactación del suelo.

Para cuantificar la infiltración se utilizan instrumentos denominados infiltrómetros, los cuales nos permiten determinar la capacidad de infiltración del suelo, es decir, la cantidad máxima de agua que puede absorber en un tiempo determinado sin generar escorrentía superficial (Ordoñez, 2011).

La caracterización del proceso de infiltración de forma correcta es de gran importancia porque permite conocer o predecir con gran exactitud el volumen de agua que se moviliza desde la superficie a través del suelo (Quiroga et al., 2018).

2.2.5 Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que el suelo puede absorber bajo determinadas condiciones. Este valor no es constante sino que varía en el tiempo y depende de los diversos factores entre ellos: la humedad del suelo, la composición y estructura del material que lo conforma, así como el grado de compactación del mismo (Gurovich, 1985). La capacidad de infiltración tiende a disminuir gradualmente hasta alcanzar un valor casi constante. Este comportamiento ocurre porque el suelo se va saturando progresivamente, reduciendo su capacidad de absorber más agua (Huaman, 2016).

2.2.6 Velocidad de infiltración

La capacidad de recepción de agua de un terreno desde la superficie al interior del mismo (Delgadillo, 2016).

2.2.7 Factores que afectan las tasas de infiltración

Son diversos los factores que influyen la velocidad de infiltración del agua en el suelo, (Gurovich, 1985) señala que los factores son: Sellamiento superficial, compactación del suelo, partículas o grietas del suelo, preparación de suelo, materia orgánica y rotación de cultivos, sales del suelo y del agua, sedimentos en el agua de riego, perfil del suelo.

Jaramillo (2002) indica que los factores como: El contenido de humedad, la permeabilidad del suelo, la cantidad y tipo de coloides, el tipo de poros, la homogeneidad del perfil del suelo, las condiciones superficiales del suelo y el tiempo que dure el suministro del agua al suelo, sea por riego o por lluvia.

2.2.8 Métodos de medición de la infiltración

Existen diversos tipos de infiltrómetros, entre los cuales destacan: el infiltrómetro de cilindro o de inundación, en sus variantes simple y doble; el infiltrómetro cerrado; y el infiltrómetro de tensión. A diferencia de estos métodos, que comparten procedimientos similares, se encuentra el simulador de lluvia o infiltrómetro de aspersion, cuyo funcionamiento difiere significativamente (Blanco, 1999).

El infiltrómetro de doble anillo resulta más adecuado que el simulador de lluvia para determinar las propiedades hidrológicas del suelo (Toama y Albergel, 1992). Este método permite obtener mediciones directas de la infiltración en puntos específicos. El agua se aplica en ambos anillos (interior y exterior), pero las mediciones se realizan en el anillo interno. Sin embargo, se mantiene constante el nivel de agua en el anillo exterior con el propósito de asegurar que las líneas de flujo generadas por la infiltración en el anillo interior permanezcan verticales (Weber, 2015).

2.2.9 Nivel freático

Se denomina agua subterránea al recurso hídrico que se acumula en el subsuelo y que puede ser aprovechado mediante la perforación de pozos. Cuando se requiere controlar el comportamiento de esta agua, por ejemplo, al reducir el nivel freático para ejecutar obras de construcción o movimientos de tierra durante excavaciones es necesario aplicar técnicas específicas (Quintanilla, 2020). El nivel freático corresponde a la superficie superior del agua subterránea libre, donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica (Namuche et al., 2017).

2.2.10 Variaciones en el nivel freático

La profundidad del nivel freático puede presentar una gran variabilidad, desde encontrarse en la superficie del terreno (profundidad cero) hasta alcanzar varios cientos de metros en ciertas zonas. Una de sus características más relevantes es que su comportamiento cambia con las estaciones y entre distintos años, debido a que la recarga del sistema de aguas subterráneas depende en gran medida de la cantidad, distribución y frecuencia de las precipitaciones, tal como se observa en la figura 1 (Urruchi, 2018).

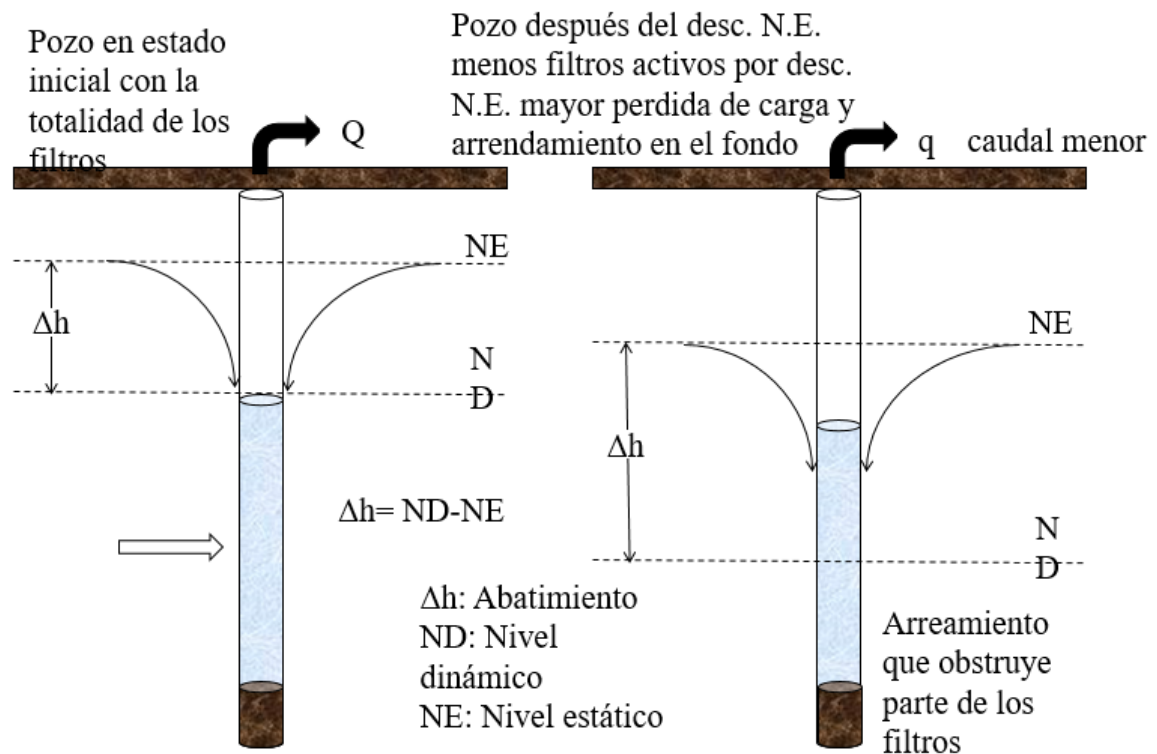


Figura 1. Consecuencias de la variación del nivel freático.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2016).

2.2.11 Recarga hídrica

La recarga hídrica es el proceso mediante el cual el agua proveniente del entorno externo al acuífero se incorpora a este. Esta recarga puede producirse de forma natural, inducida, accidental o artificial (MINAGRI y ANA, 2009). Existen distintos tipos de recarga, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- a) **Recarga natural.** - La recarga natural se refiere al proceso natural de infiltración del agua hacia los acuíferos sin intervención humana. Los factores naturales, como las precipitaciones, la escorrentía y la evaporación, son los principales impulsores de este proceso: Según Custodio y Llamas (1996), este flujo de agua ocurre de manera espontánea, permitiendo que el sistema de aguas subterráneas se reabastezca de forma natural.
 - **Precipitación y escorrentía:** Según Healy et al. (2002), la recarga natural está principalmente influenciada por la precipitación, la escorrentía superficial y las propiedades del suelo que permiten la infiltración del agua.
 - **Evapotranspiración:** Batjes (1996) señala que la evapotranspiración también desempeña un papel indirecto en el ciclo hidrológico y en la recarga de

acuíferos, ya que el agua de la transpiración de las plantas y la evaporación puede reintroducirse en el ciclo hídrico.

b) **Recarga artificial.** - La recarga artificial implica la intervención humana para aumentar la cantidad de agua infiltrada en los acuíferos. Su propósito es reabastecer las reservas subterráneas, prevenir la intrusión de agua salina o almacenar agua para futuras necesidades, según Todd y Mays (2005).

- **Infiltración directa:** Según Bouwer (2002), las técnicas de recarga artificial, como los pozos de recarga y los canales de infiltración, se utilizan para aumentar la recarga de acuíferos, especialmente en regiones donde la recarga natural no es suficiente.

- **Uso de aguas tratadas:** Alley et al. (2002) destacan que la recarga artificial utilizando aguas residuales tratadas es una práctica cada vez más común en áreas urbanas, donde las fuentes de agua subterránea son limitadas y la demanda es alta.

c) **Recarga localizada.** - La recarga localizada ocurre en áreas específicas donde la infiltración es más rápida y efectiva, como en las zonas cercanas a ríos, lagos o áreas con alta precipitación. Según Bouwer (2002), se comprende que este proceso puede ser natural o inducido, y se enfoca en puntos específicos para optimizar el almacenamiento subterráneo.

- **Zonas de alta permeabilidad:** Según Kassim et al. (2009), la recarga localizada en suelos con alta permeabilidad, como los arenosos o los lechos rocosos fracturados, facilita una mayor infiltración hacia los acuíferos subterráneos.

- **Microcuencas y cuencas hidrográficas:** Mays (2001) argumenta que, en microcuencas o cuencas hidrográficas pequeñas, la recarga localizada puede ser crítica para mantener los niveles de agua subterránea, especialmente en áreas con un clima árido o semiárido.

d) **Recarga regional.** - Este tipo de recarga se refiere a la recarga que se produce en áreas más grandes y con un enfoque regional en la infiltración de agua hacia acuíferos profundos o extensos. Según Freeze y Cherry (1979), se entiende como el flujo de agua que se infiltra en grandes extensiones de terreno y recarga los acuíferos profundos a partir de la precipitación o el flujo de cuerpos de agua en áreas de recarga extensas.

- **Interacción acuíferos superficiales y profundos:** Price (2009) discute cómo la interacción entre acuíferos superficiales y profundos juega un papel fundamental en la recarga regional. Este proceso de intercambio de agua entre acuíferos permite que el agua se mueva a través de grandes distancias y ayude a mantener el suministro de agua subterránea.
- **Zonas de recarga regional:** Fetter (2001) enfatiza que, en algunas regiones, la recarga regional depende de los patrones de precipitación a gran escala y la geología regional, especialmente en zonas donde los acuíferos son más profundos y la infiltración es más lenta.
- e) **Recarga por infiltración.** - La infiltración es el proceso clave mediante el cual el agua penetra en el suelo y llega a los acuíferos. Según Healy (2010), este proceso implica el movimiento del agua desde la superficie hacia los acuíferos, a través de los materiales del suelo y el subsuelo, tras eventos de precipitación o deshielo.
- **Tasa de infiltración:** Zhou et al. (2013) afirmaron que, la tasa de infiltración está determinada por varios factores, como la textura y estructura del suelo, la vegetación y la intensidad de la precipitación.
- **Efectos del suelo y la vegetación:** Liu et al. (2010) explican que las características del suelo, como su permeabilidad y la presencia de raíces vegetales, influyen directamente en la capacidad de infiltración del agua hacia los acuíferos. La cobertura vegetal también puede afectar este proceso, ya que las raíces ayudan a promover la infiltración.

2.2.12 Nitratos

Los nitratos están presentes de forma natural en muchos ecosistemas acuáticos en concentraciones moderadas. No obstante, diversas actividades humanas, especialmente las relacionadas con la agricultura y los desechos de origen animal, pueden incrementar significativamente sus niveles (Montiel et al., 2014).

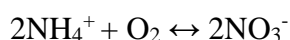
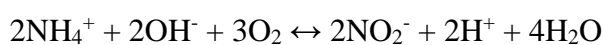
2.2.13 Fuentes de principales de nitrógeno de nitratos en agua subterránea

La presencia de nitratos en las aguas subterráneas puede deberse tanto a procesos naturales como a la influencia directa o indirecta de actividades humanas. Entre los procesos naturales se encuentran la precipitación, el intemperismo de minerales y la descomposición de materia orgánica. En cuanto a las fuentes antrópicas, destacan la

escorrentía de terrenos agrícolas, los efluentes de lagunas y sistemas sépticos, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, la deforestación y las modificaciones en la materia orgánica del suelo causadas por la rotación de cultivos (Pacheco y Cabrera, 2003).

a) Fuentes naturales

La presencia de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas se origina a partir de la descomposición natural de compuestos orgánicos nitrogenados, como las proteínas provenientes de plantas, animales y sus excretas, proceso llevado a cabo por la acción de microorganismos. Durante este proceso, se forma ion amonio, el cual es posteriormente transformado en nitrato mediante la oxidación biológica conocida como nitrificación, que ocurre en dos fases (Pacheco y Cabrera, 2003).



b) Fuentes artificiales

Daliakopoulos et al. (2004) indicaron, las principales fuentes de nitratos provienen de la agricultura intensiva y el tratamiento inadecuado de aguas residuales, lo que genera una creciente contaminación de acuíferos y cuerpos de agua.

2.2.14 Afectación en la salud humana

a) Methemoglobinemia (Síndrome del bebé azul)

Jelliffe y Jelliffe (1979), afirmaron esta condición ocurre cuando los niveles de nitrato en el agua superan los 10 mg/L, lo que es un riesgo en áreas rurales y zonas con aguas subterráneas contaminadas.

b) Riesgo de cáncer

Ward et al. (2005), concluyó que la exposición a nitratos en el agua potable podría estar asociada con un mayor riesgo de cáncer colorrectal.

c) Impacto de enfermedades cardiovasculares

Según Yassi y Koehoorn (2006), el consumo de nitratos a través del agua potable puede afectar la salud cardiovascular, aunque se necesita más investigación para entender plenamente los mecanismos.

2.2.15 Afectación en el medio ambiente

a) Contaminación del agua

Glass, et al. (2011), los nitratos de fuentes agrícolas son una de las principales causas de contaminación del agua, especialmente en zonas rurales.

b) Eutrofización

Smith, et al. (1999) afirman que la eutrofización es un fenómeno que ocurre cuando los niveles de nitratos son excesivos, lo que conduce a la proliferación de algas y a la disminución de oxígeno en el agua.

c) Impacto en la biodiversidad

Díaz y Rosenberg (2008) documentación como los altos niveles de nutrientes contribuyen a la creación de zonas muertas en los océanos, donde la falta de oxígeno mata a las especies marinas.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 **Ámbito de estudio**

La zona de estudio se encuentra ubicada en la comunidad de Tuni Grande, en el distrito de Taraco, provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Asimismo, como se aprecia en la figura 2; esta área se sitúa en los pisos altitudinales Suni, abarcando altitudes que va de los 3500 a 4200 m.s.n.m., dentro de las regiones naturales del Perú. Se localiza al norte de la región Puno y oeste de la capital de la provincia de Huancané, a las orillas del Lago Titicaca. La altitud media del distrito se encuentra a 3829 m.s.n.m. (MDT, 2021).

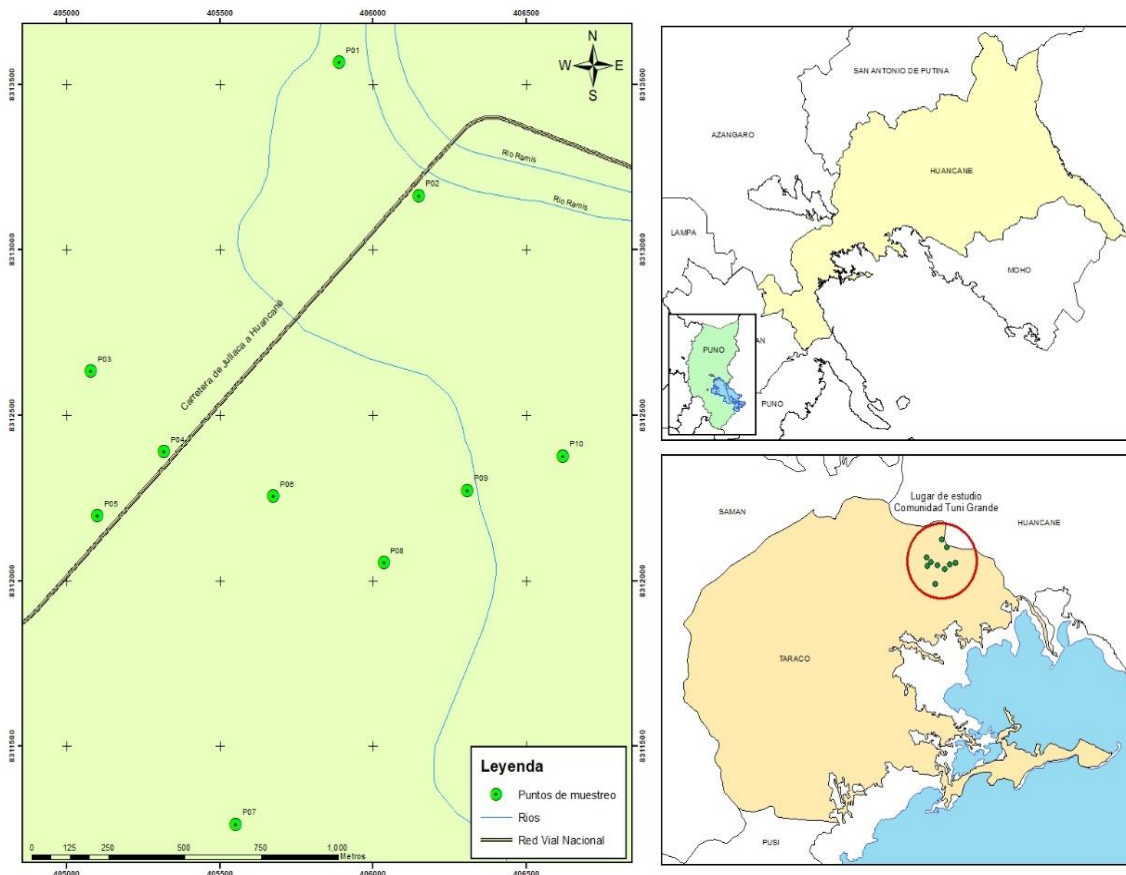


Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

Los muestreos efectuados durante las diferentes épocas del año en la comunidad de Tuni Grande se resumen en la Tabla 1. Por su parte, las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo están especificadas en la Tabla 2.

Tabla 1*Fechas de muestreo de las fuentes de agua subterránea*

Lugar	Distrito/Provincia /Departamento	Época	Fecha de muestreo
Comunidad Tuni Grande	Taraco/Huancané/Puno	Estiaje Avenida	29 de octubre del 2023 11 de marzo del 2024

Tabla 2*Ubicación de los puntos de muestreo*

Código	Nombre de muestra	Coordenadas UTM zona 19L (WGS 84)	
		Este (x)	Norte (y)
P-01	P01 Agua subterránea (pozo artesanal)	405892	8313567
P-02	P02 Agua subterránea (pozo artesanal)	406152	8313164
P-03	P03 Agua subterránea (pozo artesanal)	405081	8312634
P-04	P04 Agua subterránea (pozo artesanal)	405321	8312390
P-05	P05 Agua subterránea (pozo artesanal)	405103	8312196
P-06	P06 Agua subterránea (pozo artesanal)	405677	8312256
P-07	P07 Agua subterránea (pozo artesanal)	405554	8311264
P-08	P08 Agua subterránea (pozo artesanal)	406037	8312055
P-09	P09 Agua subterránea (pozo artesanal)	406311	8312273
P-10	P10 Agua subterránea (pozo artesanal)	406622	8312377

3.2 Población y muestra

La población está compuesta por 103 pozos artesanales ubicados en las fuentes de agua subterránea dentro de la jurisdicción de la comunidad de Tuni Grande. Para el estudio, se utilizó el tipo de muestreo no probabilístico, seleccionando por conveniencia de diez (10) pozos artesanales como muestra.

3.3 Equipos, materiales, reactivos e insumos

3.3.1 Materiales e Insumos

Materiales de escritorio, guantes barbijos, wincha de lona de 50 metros, Equipos de Protección Personal, wincha metálica, juego de anilla de infiltrómetro (interno y externo), 1 combo, 1 nivel de albañil, 1 flexómetro, 1 flotador o una regla de 30 cm, plástico (1-2 m²), planilla de campo.

3.3.2 Equipos

Cámara fotográfica, GPS, laptop, HI98130S medidor para pH/EC/TDS/°C multip. imper (combo) de marca hanna instruments.

3.4 Tipo y diseño de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación es tipo descriptiva y correlacional. De manera similar, según María Victoria Rojas (2011), sostiene que la investigación correlacional descriptiva combina ambos enfoques, ya que, además de observar y describir las características de los fenómenos, también analiza la relación entre las variables.

3.5 Estadística aplicada a la investigación

3.5.1 Regresión lineal simple

Montgomery, Peck y Vining (2012), mencionaron que la regresión lineal simple es una técnica utilizada para modelar la relación entre dos variables mediante una recta, con el fin de entender cómo una variable dependiente cambia con respecto a una variable independiente, mediante la estimación de los parámetros de la recta.

Chatterjee, y Hadi. (2015), indican que la regresión lineal simple implica un proceso para ajustar una recta que mejor represente la relación entre una variable dependiente y una independiente, con el fin de hacer predicciones sobre el valor de la primera en función de la segunda.

Kutner et al. (2005), definieron que la regresión lineal simple se modela como una relación lineal entre una variable dependiente Y y una variable independiente X, donde los coeficientes β_0 y β_1 representan los parámetros de la recta de mejor ajuste, tal como se aprecia en la fórmula 1.

La ecuación de la regresión lineal simple es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e \quad (1)$$

Donde:

- Y : Es la variable dependiente (lo que estamos tratando de predecir).
- X : Es la variable independiente (utilizada para hacer la predicción).
- β_0 : Es el intercepto p constante, que indica el valor de Y cuando X = 0
- β_1 : Es la pendiente de la recta, que describe cuánto cambia Y cuando X cambia una unidad.
- e : Es el término de error, que captura las variaciones no explicadas por el modelo lineal.

3.6 Identificación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático a los pozos de agua.

3.6.1 Reconocimiento de campo:

Se llevaron a cabo las coordinaciones para definir los puntos de muestreo de la comunidad, así como visitas de campo preliminares con el fin de sectorizar el área de estudio. Durante estas visitas, se evaluaron aspectos clave como la accesibilidad, logística, tiempo de recorrido, las condiciones climatológicas, situación social y otros factores relevantes identificados durante el reconocimiento de campo (MINAGRI y ANA, 2020).

3.6.2 Selección de las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal)

Se seleccionaron diez muestras en la comunidad de Tuni Grande utilizando el método de muestreo no probabilístico, basado a criterio conveniencia (Yin, 2014).

3.6.3 Recolección de muestra

Para el desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo la selección y recolección diez (10) muestras de las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal). El laboratorio proporcionó frascos específicos para dicho análisis, junto con un instructivo de muestro, una cadena de custodia y documentación técnica sobre la declaración de la conformidad del envío. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al laboratorio para el análisis de

concentración de nitratos. El estudio se realizó durante dos períodos: en época de estiaje (octubre de 2023) y en temporada de avenida (marzo de 2024) (De la Cruz, 2021).

3.6.4 Medición de parámetros in situ

Se realizó la medición in situ y el registro de los parámetros durante la época de estiaje y avenida, con el equipo HI98130S medidor para pH/EC/TDS/°C multip. imper (combo), de marca hanna instruments. Este equipo permitió medir parámetros como pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura (MINAGRI y ANA, 2020). Además, se registraron los datos en la ficha correspondiente (Alvarado, 2020).

3.6.5 Análisis de muestras

El análisis del parámetro de nitrato se llevó a cabo en el laboratorio acreditado por la INACAL, laboratorios del Sur E.I.R. Ltda, utilizando el siguiente método:

Tabla 3

Método de análisis de nitrato

Elemento	Método	Rango
NO ₃ ⁻	Método de ensayo para nitratos en aguas SMEWW.24th. nitrate 4500. part-C.second-derivative ultraviolet spectrophotometric method	(0.2-1100) mg/L

Nota. Laboratorio Analítico del Sur E.I.R. Ltda, 2023 y 2024.

3.6.6 Medición del nivel freático

Se realizó el monitoreo de las muestras de los pozos en línea transecto, midiendo el nivel freático (Castro, 2017) en los escenarios de estiaje y avenida, con el objetivo de evaluar la variación de los niveles freáticos (Quintanilla , 2020) y las fluctuaciones espaciales y temporales (Giambelli, 2008). Es importante resaltar que las mediciones se efectuaron en dos fechas distintas, lo que permitirá interpretar los comportamientos del agua subterránea (pozo artesanal) en el área de estudio (Zeme et al., 2014).

Los pasos realizados para la cuantificación fueron los siguientes (Castro, 2017) : observación in situ de los pozos a lo largo de un transecto, medición del nivel freático en diferentes momentos, antes, al inicio y después de las lluvias. Los valores de precipitación diaria se obtuvieron de la estación más cercana (Namuche et al., 2017).

3.7 Evaluación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo.

3.7.1 Método de infiltrómetro de doble anillo

a) Anotaciones previas:

Previamente, se registraron algunas características del sitio de la prueba, como la ubicación de la zona y las características de la superficie del suelo (Delgadillo, 2016).

b) Instalación de los anillos

Antes de la instalación, se llevó a cabo la limpieza de la zona de ensayo de infiltración. Empleando los anillos tal como se aprecia en la figura 3, se hincaron de forma concéntrica, conocido método de los anillos concéntricos. Además, se aseguró que los anillos se introdujeran al menos 10 cm de profundidad (Toama y Albergel, 1992).

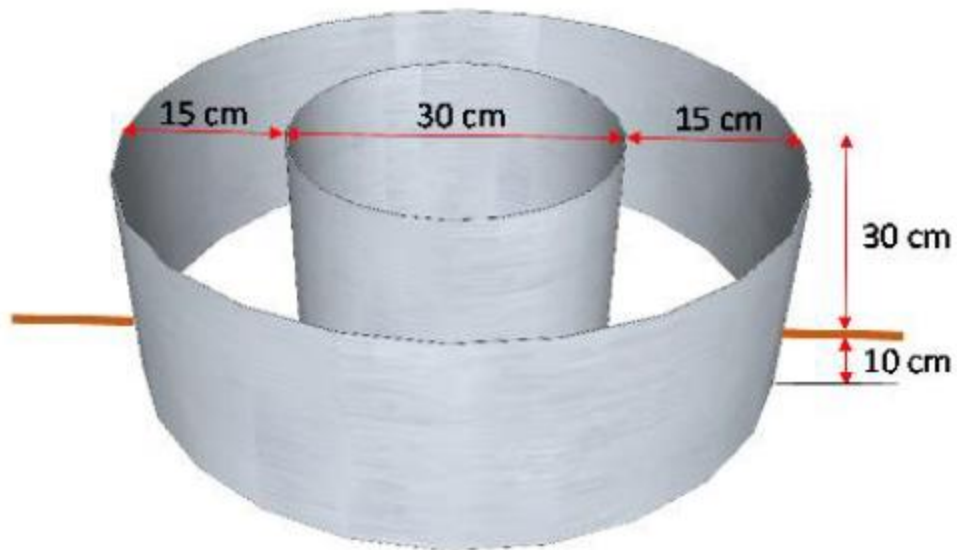


Figura 3. *Instalación de los anillos en el campo*

c) Instalación del dispositivo de aforo

Para la instalación del dispositivo de aforo, se utilizó una regla, ya que facilitó la visualización de la varilla y permitió realizar lecturas indirectas del descenso del agua (Delgadillo, 2016).

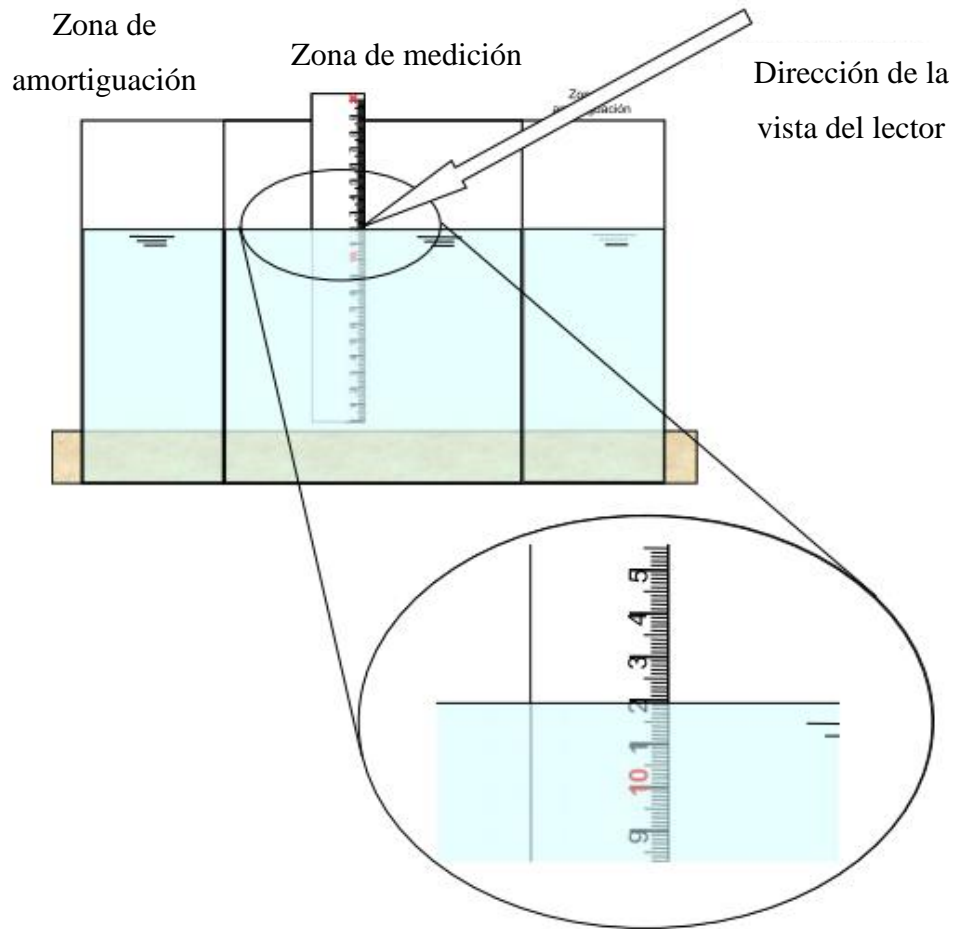


Figura 4. *Lectura directa en las dos épocas de estiaje y avenida*

d) Vertido de agua

Se instalaron los anillos concéntricos, se preparó el cronómetro y se colocó la regla graduada. Posteriormente, se vertió el agua en los compartimientos formados por los anillos. Primero, se cubrió el anillo interno con plástico para evitar filtraciones, y después se añadió al menos 20 cm de agua. Después, se retiró el plástico, se esperó a que el agua se estabilizara y se realizaron las lecturas iniciales, directamente en la regla interna (Delgadillo, 2016).

e) Lecturas

Se registró de manera sistemática la altura del agua mientras descendía, utilizando una regla graduada colocada en el anillo interno. Las mediciones se realizaron a intervalos de tiempo previamente establecidos para asegurar la precisión y consistencia de los datos. Este proceso permitió monitorear en forma continua la variación en el nivel del agua, lo cual es fundamental para analizar la tasa de infiltración y la dinámica del descenso del agua en el suelo. El uso de anillos

concéntricos y métodos similares ha sido ampliamente documentado en la literatura como una técnica confiable para estudiar la infiltración del agua (Delgadillo, 2016; Rodríguez et al., 2019 Gómez y Pérez, 2021).

3.8 Determinación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la precipitación.

3.8.1 Identificación de la fuente de datos meteorológicos

La primera acción que se realizó es identificar y acceder a las fuentes confiables de datos meteorológicos. Para este estudio, se utilizó los datos de SENAMHI Perú, que es la autoridad oficial encargada de la recopilación y distribución de información meteorológica en el país. La estación de tipo convencional e hidrológica del Puente Ramis, proporciona los registros precisos y detallados sobre las precipitaciones.

3.8.2 Descarga de los datos

Una vez identificada la estación, fue necesario acceder a la base de datos del SENAMHI, donde se pueden descargar los registros históricos de precipitación. Los pasos son los siguientes: Se visitó el portal web del SENAMHI (www.senamhi.gob.pe), se seleccionó la opción de datos meteorológicos, en seguida se seleccionó la estación de puente Ramis filtrando los datos de precipitación y por último se descargó los registros correspondientes.

3.8.3 Determinación de la época estiaje

De acuerdo con la Resolución Directoral N° 094-2013-ANA-DARH, la época de estiaje se estableció entre los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, durante este período, las precipitaciones son generalmente bajas, lo que afecta la recarga hídrica y puede influir en la concentración de nitratos en las fuentes de agua subterránea.

3.8.4 Determinación de la época avenida

De acuerdo con la Resolución Directoral N° 094-2013-ANA-DARH, la época de avenida se estableció entre los meses diciembre, enero, febrero, marzo y abril con precipitaciones más elevadas.

3.9 Procesamiento de datos

Los datos conseguidos fueron procesados para lograr un panorama claro de la precipitación durante la época de estiaje y avenida. Se calculó empleando la fórmula 2 el promedio mensual de precipitación para los meses de época de estiaje y avenida, en donde se analizaron las tendencias a lo largo de los años.

$$\text{Promedio mensual de precipitación} = \frac{\text{Suma de precipitación diaria}}{\text{Número de días del mes}} \quad (2)$$

3.10 Tratamiento de valores atípicos

En el análisis de los datos, consignado en el anexo 4 del informe de ensayo de laboratorio de la concentración de nitrato durante la época de estiaje en la muestra P05 de agua subterránea (pozo artesanal), se identificó un valor atípico correspondiente al punto de muestreo P05, con una concentración de nitrato de 8484 mg/L. Este valor fue detectado mediante el método del rango intercuartílico (IQR) y podría afectar negativamente la validez de los resultados estadísticos, al influir de manera desproporcionada en las medidas de tendencia central (Hair et al., 2019). Con el objetivo de conservar la integridad del conjunto de datos y evitar la exclusión total del caso, se optó por sustituir el valor atípico por la mediana de la variable correspondiente (112.75 mg/L). Esta estrategia es respaldada por Hair et al. (2019) y Tabachnick y Fidell (2019), quienes recomiendan el uso de medidas robustas, como la mediana, para mitigar el efecto de los valores extremos sin comprometer el tamaño muestral ni introducir sesgos adicionales en el análisis estadístico.

3.11 Variables de investigación

3.11.1 Variables independientes

- Nivel freático
- Infiltración
- Precipitación

3.11.2 Variable dependiente

- Concentración de nitrato

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de estadísticos descriptivos

En esta investigación se presenta un análisis estadístico descriptivo de las características de las mediciones realizadas in situ durante las épocas de estiaje y avenida de los pozos artesanales, las cuales son las siguientes:

Tabla 4

Resumen estadístico de los parámetros in situ en la época de estiaje

Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Estándares Nacionales DIGESA (2011)
pH	6.71	7.70	7.10	0.31	6.50 - 8.50
Temperatura (°C)	13.40	18.90	15.42	1.62	-
Conductividad (µmho/cm)	590.00	6260.00	3215.00	1833.74	1500.00
Sólidos disueltos totales (mg/L)	299.40	3113.76	1601.79	912.03	1000.00

En la tabla 4 se observaron las fluctuaciones de los parámetros in situ, la conductividad varía desde 590.00 hasta 6260.00 µmho/cm con una media de 3215.00 µmho/cm y una desviación estándar de 1833.74 para todos los puntos de muestreo. Estos valores son considerablemente más altos que los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud para el agua potable. El pH oscila entre 6.71 y 7.70; los valores registrados se encuentran dentro del límite máximo permisible según los estándares nacionales para la calidad de agua destinada al consumo humano. En la mayoría de los puntos de muestreo, el pH muestra una tendencia neutra, con una media 7.10 y una desviación estándar de 0.31, lo que está dentro del rango permitido. Además, la temperatura registrada varía entre 13.40 °C a 18.90 °C. En cuanto a los sólidos totales disueltos, los valores fluctúan entre 299.40 mg/L a 3113.76 mg/L, con una media 1601.79 mg/L a una desviación estándar de 912.03 mg/L. Los puntos de monitoreo P03, P04, P06, P07, P08, P09 y P10 presentan valores que superan los límites máximos permisibles según los estándares nacionales, lo que representa el 70% de los puntos de muestreo, los cuales exceden los límites recomendados durante la época de estiaje.

Tabla 5*Resumen estadístico de los parámetros in situ en la época de avenida*

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Estándares Nacionales DIGESA (2011)
pH	Valor pH	6.79	7.64	7.15	0.28	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	13.80	15.40	14.60	0.51	-
Conductividad	µmho/cm	750.00	6370	3216.00	1725.06	1500
Sólidos disueltos totales	mg/L	379.24	3173.64	1620.75	860.21	1000

En la tabla 5 se presentan las variaciones de los parámetros in situ. La conductividad fluctúa desde 750 hasta 6370 µmho/cm, con una media de 3216 µmho/cm y una desviación estándar de 1725.06 para todos los puntos de muestro. Estos valores son significativamente más altos que los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud para el agua potable. El pH oscila entre 6.79 a 7.64 y los valores registrados se encuentran dentro del límite máximo permisible de parámetros de calidad de agua para consumo humano. En la mayoría de los puntos, se observa una tendencia neutra, con una media 7.15 y una desviación estándar de 0.28, valores que están dentro de los límites establecidos. Además, la temperatura registrada varió entre 13.80 °C a 15.40 °C. En cuanto a los sólidos totales disueltos, los valores fluctuaron entre 379.24 mg/L a 3173.64 mg/L, con una media 1620.75 mg/L y una desviación estándar de 860.21 mg/L. Los puntos de monitoreo P03, P04, P05, P06, P07, P08, P09 y P10 presentaron valores que superan los límites máximos permisibles establecidos por los estándares nacionales, lo que representa el 80% de los puntos de muestreo, los cuales exceden los límites recomendados en la época de avenida.

El pH presentó una media de 7.10 durante la época de estiaje, mientras que en época de avenida se reportó un valor de 7.15. Según Zúñiga-et al. (2024), el pH es una de las características operativas más importantes del agua, por lo que analizaron el pH en aguas subterráneas (pozos), reportando un promedio de 7.6. En un estudio similar, Cerri et al. (2024) evaluaron el pH, obteniendo valores de 6.90 en época de avenida y 6.95 en época de estiaje. No se observaron diferencias significativas entre ambas épocas.

Los sólidos disueltos totales presentan una media de 1601.79 mg/L durante la época de estiaje, en época de avenida se reporta 1620 mg/L. en el estudio de Cerri et al. (2024)

obtuvo valores que oscilaron entre 1169 y 5125 mg/L, sin embargo, los valores obtenidos por Zúñiga et al. (2024) variaron de 160 a 300 mg/L en época de avenida y 280 a 390 mg/L en época de estiaje.

La conductividad eléctrica obtenida en época de estiaje es de 3215 $\mu\text{mho/cm}$ y 3216 $\mu\text{mho/cm}$ en época de avenida, no se observaron diferencias significativas entre ambas épocas. Zúñiga et al. (2024) mostraron valores de conductividad de 340 a 630 mS/cm en época de avenida y 560 a 810 mS/cm en estiaje, Ravi et al. (2024) dedujeron que la conductividad eléctrica está correlacionada directamente con los sólidos disueltos totales, y se atribuyen a la presencia de cationes y aniones como potasio, cloruro, sodio, sulfato, nitrato, etc.

Tabla 6

Comparación del límite máximo permisible de la concentración de nitrato

Época	Nitratos NO_3^- (mg/L)				Estándar Nacional
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	DIGESA (2011)
Estiaje	9.62	186.30	102.30	56.82	50.00
Avenida	7.55	158.40	85.96	47.49	50.00

Se presenta la tabla 6 de comparación de LMP de la concentración de nitrato durante la época de estiaje, el 100 % de los resultados debe menor a 50 mg/L NO_3^- para que el agua sea considerada segura para el consumo humano (Dzwairo et al., 2006), asimismo se muestra que el 80 % de los resultados de nitratos superan los límites máximos permisibles de parámetros de calidad de agua para consumo humano según los estándares nacionales (DIGESA/Ministerio de Salud. 2011), y de acuerdo a la OMS (2011), solo los puntos P01 y P02 se encuentran dentro de los límites establecidos. La exposición a concentraciones elevadas de nitratos podría causar metahemoglobinemia, como señalan Selvam et al. (2023).

El resultado de la concentración de nitratos excede los límites máximos permisibles establecidos según DIGESA. Es importante señalar que la principal económica en la comunidad de Tuni Grande es la agricultura y ganadería. Yang et al. (2024) afirman que la contaminación por nitratos es un problema medioambiental significativo, estrechamente vinculado a las actividades humanas y a las complejas interacciones de las aguas superficiales y subterráneas. Además, las cargas de nitratos en el sistema

hidrológico provienen principalmente de las actividades humanas, como la aplicación de fertilizantes en la agricultura y el vertido de aguas residuales.

Las actividades ganaderas y agrícolas propias de la comunidad de Tuni Grande son frecuentes, y están ubicadas a distancias muy próximas a los pozos artesanales que son fuente de agua para consumo humano de la población, en ese entender, Zúñiga et al. (2024) afirman que, el agua destinada al consumo humano no debe contener ningún agente patógeno, siendo necesario realizar análisis para determinar microorganismos indicadores de contaminación. El riesgo de contaminación biológica es mayor en áreas de actividad ganadera debido a que los patógenos eliminados a través de las heces y orina de animales pueden ser transportados por infiltración a los cuerpos de agua. Según Ji et al., (2024) comprender la relación entre el agua y los nitratos es fundamental, especialmente en regiones con actividades agrícolas intensivas y zonas no saturadas de gran espesor. Además Guo y Wu (2024) concluyen que la aplicación excesiva de agua y fertilizantes nitrogenados durante las prácticas de gestión de las tierras agrícolas provoca una grave contaminación de las aguas subterráneas por nitratos.

Tabla 7

Resumen estadístico del nivel freático en épocas de estiaje y avenida

Nivel freático pozo (m)					
Época	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. estándar
Estiaje	2.42	7.68	4.10	3.51	1.56
Avenida	1.97	7.50	3.83	3.35	1.66

En la tabla 7, el nivel freático en el pozo muestra variaciones significativas dependiendo de la época del año. Durante el estiaje, que corresponde a la temporada de menor disponibilidad hídrica, el nivel freático oscila entre un mínimo de 2.42 metros y máximo de 7.68 metros, con una media de 4.10 metros y una mediana de 3.51 metros. La desviación estándar es de 1.56 metros, lo que refleja la menor disponibilidad de agua en esta época del año. Según estudios de Rico et al. (2015), durante el estiaje, la reducción en las precipitaciones y la mayor extracción de agua incrementan la profundidad del nivel freático.

Por otro lado, durante la avenida, que corresponde a la temporada de mayor disponibilidad hídrica, los niveles freáticos son ligeramente más bajos, con un mínimo de 1.97 metros y

un máximo de 7.50 metros. La media es de 3.83 metros, la mediana de 3.35 metros, y la desviación estándar es de 1.66 metros, lo que sugiere una mayor variabilidad, lo que coincide con lo que señala González y Martínez (2017) sobre la influencia de las lluvias y la recarga de acuíferos, que genera fluctuaciones más impredecibles en el nivel freático.

Tabla 8

Resumen estadístico de infiltración en épocas de estiaje y avenida

Infiltración promedio (cm/h)					
Época	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. estándar
Estiaje	4.00	18.00	12.60	15.00	6.18
Avenida	2.00	10.00	6.20	5.50	2.89

El análisis de la infiltración promedio se muestra en la tabla 8 durante el estiaje, la tasa de infiltración es considerablemente más alta, con una media de 12.60 cm/h y una mediana de 15.00 cm/h. Esta tendencia está en línea con lo observado por Bautista et al. (2020), quienes indicaron que, durante el estiaje, cuando las condiciones de humedad del suelo son más estables, la infiltración es mayor debido a una menor saturación de los suelos y la mayor capacidad de absorción.

En contraste, durante la avenida, los valores de infiltración son significativamente más bajos, con una media de 6.20 cm/h y una mediana de 5.50 cm/h. Fernández et al. (2021) sugieren que, durante las temporadas de avenida, la saturación del suelo por las lluvias intensas reduce la capacidad de infiltración, ya que el agua tiende a escurrir más rápidamente por el suelo saturado, lo que disminuye la tasa de absorción.

La desviación estándar es más alta en el estiaje (6.18 cm/h) en comparación con la avenida (2.89 cm/h), lo que indica una mayor variabilidad en la infiltración durante el estiaje, probablemente debido a la heterogeneidad en la capacidad de infiltración de los suelos, como se menciona en los estudios de García y López (2022), quienes reportaron fluctuaciones en la infiltración en función de las características del suelo y el contenido de humedad.

Tabla 9*Resumen estadístico de la precipitación en las épocas de estiaje y avenida*

Precipitación (mm/día)					
Época	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. estándar
Estiaje	0.00	0.96	0.28	0.30	0.34
Avenida	1.57	3.79	2.47	2.63	0.83

Los resultados observados en la tabla 9 de la precipitación muestran una clara diferencia entre las épocas de estiaje y avenida. Durante el estiaje, los valores de precipitación son considerablemente bajos, con una media de 0.28 mm/día y una mediana de 0.30 mm/día. Este comportamiento es consistente con lo que se observa en regiones semiáridas y áridas, donde las precipitaciones son escasas y concentradas en eventos aislados. Según Hernández et al. (2019), las precipitaciones durante el estiaje suelen ser mínimas debido a la escasez de lluvias en estas épocas, lo que refleja las características climáticas de las regiones de baja humedad.

En cambio, durante la avenida, los valores de precipitación son significativamente más altos, con una media de 2.47 mm/día y una mediana de 2.63 mm/día. Esta tendencia está en línea con los resultados de González y Fernández (2020), quienes señalaron que, durante las estaciones lluviosas, como la avenida, las precipitaciones aumentan considerablemente debido a la influencia de frentes fríos y sistemas de tormentas más activos. Este aumento en las precipitaciones puede mejorar la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua en las zonas afectadas.

La desviación estándar es más alta en la avenida (0.83 mm/día) en comparación con el estiaje (0.34 mm/día), lo que indica una mayor variabilidad en las precipitaciones durante la avenida, debido a la naturaleza más impredecible de las lluvias intensas y concentradas. Como se menciona en los estudios de López et al. (2021), las precipitaciones en la temporada de avenida tienden a ser más erráticas y de mayor intensidad, lo que aumenta la variabilidad.

4.2 Análisis de estadístico inferencial y contraste de hipótesis

4.2.1 Identificación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático a los pozos de agua.

a) Análisis de concentración de nitrato en relación al nivel freático en época de estiaje.

Hipótesis nula (H_0): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático durante el estiaje.

Hipótesis alterna (H_1): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático durante el estiaje.

Tabla 10

Resumen estadístico de NO_3^- en relación a nivel freático en estiaje

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.33 ^a	0.11	-0.01	56.97

a. Predictores: (Constante), nivel freático estiaje (m)

En la tabla 10, el modelo de regresión lineal aplicado para analizar la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en relación al nivel freático durante el estiaje muestra una correlación moderada. El coeficiente R obtenido es de 0.33, lo que implica que la relación entre las variables es moderada. Además, se observa que el coeficiente de determinación (R cuadrado) es 0.11. Esto indica que aproximadamente el 11 % de la variabilidad en la concentración de nitrato puede ser explicada por las variaciones en el nivel freático durante el estiaje. Adicionalmente, el valor R cuadrado ajustado es de -0.01, indicando que el modelo no ajusta adecuadamente los datos y podría estar sobreestimando cualquier influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato.

Tabla 11*ANOVA^a de concentración (NO₃⁻) en relación a nivel freático en estiaje*

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Regresión	3087.25	1.00	3087.25	0.95	0.36^b
1	Residuo	25966.66	8.00	3245.83		
	Total	29053.92	9.00			

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato estiaje (mg/L)

b. Predictores: (Constante), nivel freático estiaje (m)

Se aprecia en la tabla 11 que la ANOVA proporciona más detalles sobre la capacidad del modelo para predecir la concentración de nitrato. El valor F calculado de 0.95 y el valor p es mayor a 0.05, la noción de que la regresión no es significativa estadísticamente. Esto indica que el nivel freático durante el estiaje, como predictor, no tiene un impacto significativo en la concentración de nitrato en los pozos artesanales.

Tabla 12*Coefficientes^a de concentración (NO₃⁻) en relación a nivel freático en estiaje*

	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	53.80	52.89		1.02	0.34
	Nivel freático estiaje	11.82	12.12	0.33	0.97	0.36

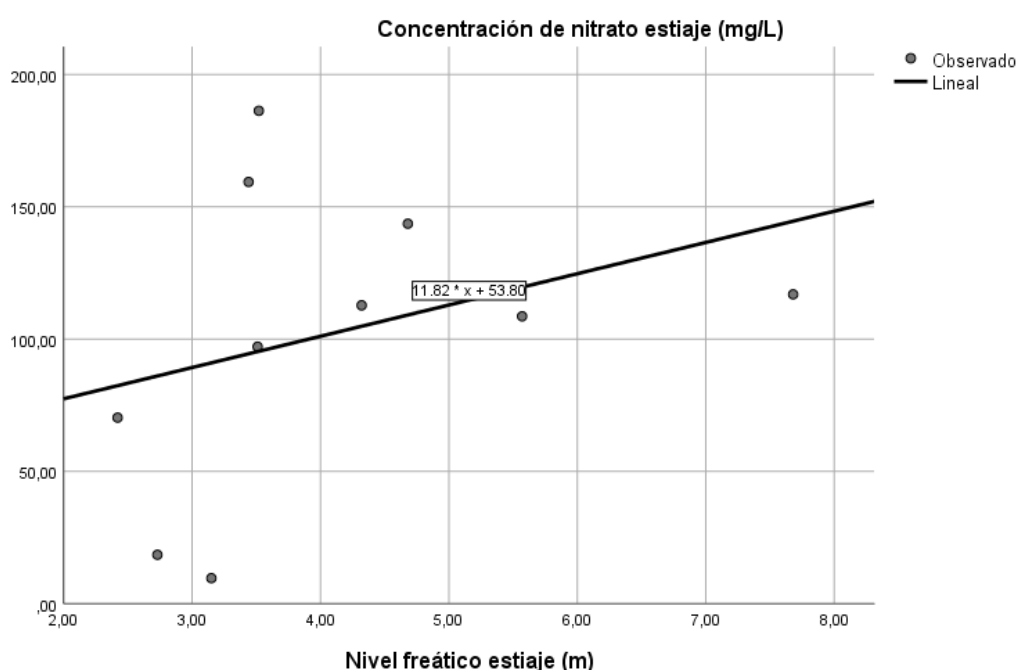
a. Variable dependiente: Concentración de nitrato estiaje

En cuanto a los coeficientes del modelo se presenta la tabla 12 sobre la constante estimada es 53.80 y el coeficiente para el nivel freático es de 11.82. Sin embargo, la significancia estadística de estos coeficientes es moderada, la prueba de significancia es mayor a 0.05, lo que sugiere que los cambios en el nivel freático tienen poco o ningún efecto práctico en la concentración de nitrato durante el estiaje.

Tabla 13*Resumen estadístico concentración NO₃⁻ con nivel freático en estiaje*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	0.11	0.95	1.00	8.00	0.36	53.80	11.82

La variable independiente es nivel freático estiaje (m).

**Figura 5.** *Regresión lineal concentración NO₃⁻ con nivel freático en estiaje*

En conjunto, en la tabla 13 y la figura 5 muestra resultados que, llevan a concluir que la hipótesis nula no puede ser rechazada. Por lo tanto, se acepta que no existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación al nivel freático durante el estiaje.

Correspondientemente, la hipótesis alternativa que propone una influencia significativa de la recarga hídrica es rechazada. Esto subraya la necesidad de explorar otros factores o variables que puedan estar afectando la concentración de nitrato más allá de la recarga hídrica medida por el nivel freático.

Según el análisis estadístico demuestra que no existe una relación significativa entre el nivel freático y la concentración de nitrato en pozos artesanales durante la época de estiaje, lo cual se evidencia por un coeficiente de correlación débil (R

= 0.33), un bajo valor de ($R^2 = 0.11$), y una falta de significancia estadística en los coeficientes ($p > 0.05$). Estos resultados respaldan la aceptación de la hipótesis nula, sugiriendo que la recarga hídrica no influye directamente en la concentración de nitrato. Estudios similares han señalado que la contaminación por nitratos en aguas subterráneas responde más frecuentemente a fuentes antrópicas como el uso intensivo de fertilizantes nitrogenadas y la filtración de aguas residuales domésticas o agropecuarias (Kross et al., 1993; Rivett et al., 2008). Spalding y Exner (1993) afirmaron que el comportamiento de nitrato en aguas subterráneas puede estar más relacionado con características hidrogeológicas del acuífero, el uso del suelo y el tiempo de tránsito del agua que con la variabilidad estacional del nivel freático.

b) Análisis de concentración de nitrato en relación al nivel freático en época de avenida.

Hipótesis nula (H_0): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación al nivel freático durante la avenida.

Hipótesis alterna (H_1): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación al nivel freático durante la avenida.

Tabla 14

Resumen estadístico de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.43 ^a	0.18	0.08	45.56

a. Predictores: (Constante), nivel freático avenida (m)

En la tabla 14 se observa que el coeficiente de correlación de Pearson ($R = 0.43$) indica una correlación positiva moderada respecto al nivel freático durante la avenida y la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea, asimismo, se observa que el coeficiente de determinación (R cuadrado) es 0.18, esto indica que aproximadamente el 18.2% de la variabilidad en la concentración de nitrato puede ser explicada por las variaciones en el nivel freático durante la

avenida. Aunque este porcentaje es modesto, sugiere que existe alguna relación entre estas dos variables.

Tabla 15

ANOVA^a de concentración NO₃⁻ con nivel freático en avenida

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3694.49	1.00	3694.49	1.78	0.22 ^b
1 Residuo	16607.02	8.00	2075.88		
Total	20301.51	9.00			

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato avenida (mg/L)

b. Predictores: (Constante), nivel freático avenida (m)

En la tabla 15 de ANOVA muestra una suma de cuadrados de la regresión de 3694.49 con un grado de libertad, resultando en una media cuadrática de 3694.49. El valor F es 1.78, el nivel de significancia es mayor a 0.05, esto indica que el modelo no alcanza una significancia estadística suficiente para afirmar que las variaciones en el nivel freático durante la avenida tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de nitrato.

Tabla 16

Coefficientes^a de concentración NO₃⁻ con nivel freático en avenida

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	39.10	37.97		1.03	0.33
1 Nivel freático avenida	12.24	9.17	0.43	1.33	0.21

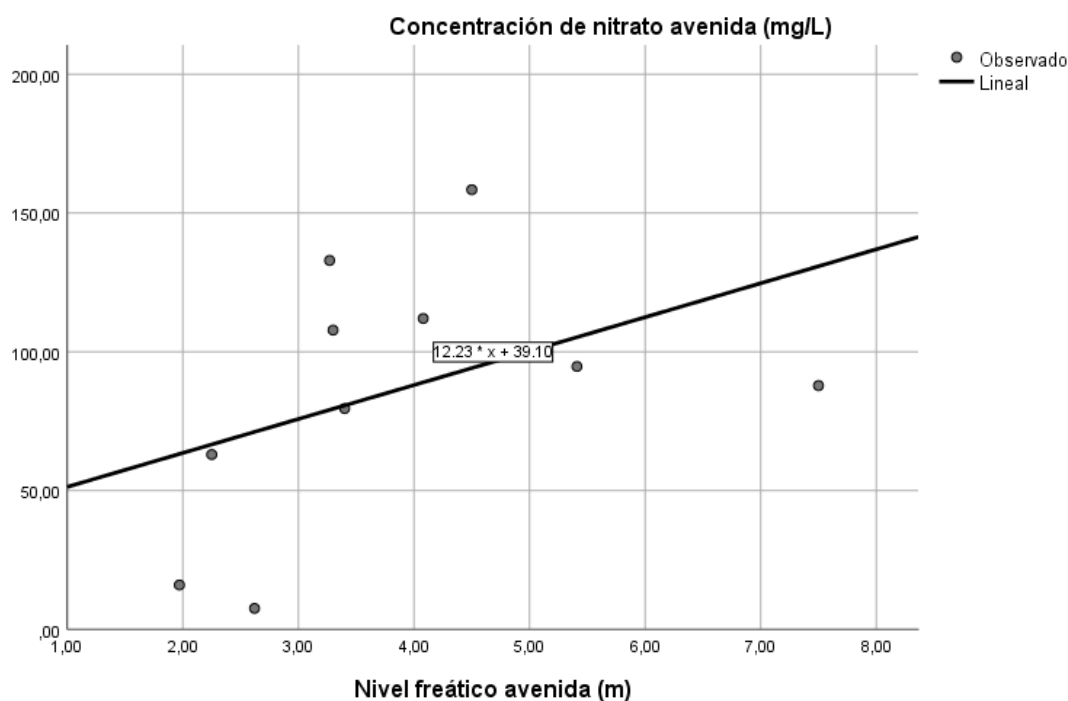
a. Variable dependiente: Concentración de nitrato avenida (mg/L)

Además, los coeficientes del modelo se observan en la tabla 1, en donde indican que cada unidad de aumento en el nivel freático se asocia con un incremento de 12.24 unidades en la concentración de nitrato, aunque esta relación no es estadísticamente significativa debido a que la prueba de significancia es mayor a 0.05. El intercepto, o constante del modelo es 39.10, con un error estándar de 37.97, lo que también resulta en un valor t no significativo.

Tabla 17*Resumen estadístico de la concentración NO_3^- con nivel freático en avenida*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Const ante	b1
Lineal	0.18	1.78	1.00	8.00	0.21	39.10	12.24

La variable independiente es nivel freático avenida.

**Figura 6.** *Regresión lineal de concentración NO_3^- con nivel freático en avenida*

En base a los resultados de la tabla 17 y la figura 6 se deduce, la hipótesis nula (H_0) que afirma que no existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en relación al nivel freático durante la avenida no se rechaza. En consecuencia, la hipótesis alternativa (H_1) que propone que existe una influencia es rechazada bajo las condiciones de este análisis.

El análisis de regresión realizado para evaluar la influencia del nivel freático en la concentración de nitrato durante la época de avenida muestra una relación

positiva moderada ($R = 0.43$), como ($p > 0.05$), no es estadísticamente significativa lo que impide rechazar la hipótesis nula. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.18$) sugiere que solo el 18.2 % de la variabilidad de la concentración de nitrato puede explicarse por las fluctuaciones del nivel freático. A pesar de que existe una tendencia creciente, el modelo no evidencia una relación suficientemente fuerte desde el punto de vista estadístico. Estos resultados son consistentes con investigaciones recientes que indican que, durante periodos de avenida, la infiltración rápida del agua puede movilizar nitratos ya presentes en el suelo, aunque su impacto depende de gran medida de las condiciones hidrogeológicas y del uso del suelo (Perdomo et al., 2020 y Rodríguez et al., 2020). Además, estudios como los de Folch et al. (2009) han demostrado que, incluso en contextos con recarga importante, la variación de nitratos se debe más a fuentes urbanas y agrícolas persistentes que a eventos hidrológicos extremos. Esta evidencia también ha sido señalada que el comportamiento de nitrato en acuíferos depende más de procesos biogeoquímicos y antropogénicos que de la dinámica estacional del nivel freático (Kross et al., 1993; Rivett et al.; Spalding y Exner, 1993).

4.2.2 Evaluación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la capacidad de infiltración del suelo por el método de doble anillo.

a) Análisis de concentración de nitrato en relación a la capacidad de infiltración en época de estiaje.

Hipótesis nula (H_0): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje.

Hipótesis alterna (H_1): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje.

Tabla 18*Resumen estadístico de concentración NO₃⁻ con infiltración en estiaje*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.31 ^a	0.09	-0.01	57.19

a. Predictores: (Constante), infiltración estiaje (cm/h)

En el análisis del coeficiente de correlación de Pearson tal como se muestra en la tabla 18 sobre la influencia de la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje sobre la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea, se observa un coeficiente de correlación ($R = 0.31$). Esto sugiere una correlación moderada entre las dos variables. El R cuadrado de 0.09 indica que aproximadamente el 9 % de la variabilidad en la concentración de nitrato puede ser explicada por cambios en la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje, el valor R cuadrado ajustado es de -0.01, indicando que el modelo no ajusta adecuadamente los datos y podría estar sobreestimando cualquier influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato.

Tabla 19*ANOVA^a de la concentración NO₃⁻ con infiltración en estiaje*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2879.74	1.00	2879.74	0.88	0.37 ^b
1 Residuo	26174.18	8.00	3271.77		
Total	29053.92	9.00			

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato estiaje (mg/L)

b. Predictores: (Constante), infiltración estiaje (cm/h)

La tabla 19 de ANOVA muestra una suma de cuadrados de la regresión de 2879.74 con un grado de libertad, produciendo una media cuadrática de 2879.74. Sin embargo, el valor F de 0.88, indican que el modelo no es estadísticamente significativo al nivel convencional del 0.05. Esto significa que la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje, como variable independiente, no proporciona un modelo predictivo suficientemente fuerte para las concentraciones de nitrato basado en esta muestra de datos.

Tabla 20*Coefficientes^a de la concentración NO₃⁻ con infiltración en estiaje*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	65.87	42.84		1.54	0.16
Infiltración Estiaje (cm/h)	2.89	3.08	0.31	0.94	0.37

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato estiaje (mg/L)

En la tabla 20 de coeficientes, el término constante es 65.87 con un error estándar de 42.84, mostrando un t valor de 1.54. indicando que la intercepción no es estadísticamente significativa al nivel del 0.05. El coeficiente para la capacidad de infiltración del suelo es de 2.89 con un error estándar de 3.08, y un coeficiente estandarizado de 0.31. El t-valor de 0.94 y el p valor mayor a 0.05, también fallan en alcanzar la significancia estadística.

Tabla 21*Resumen estadístico de la concentración NO₃⁻ con infiltración en estiaje*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Const ante	b1
Lineal	0.09	0.88	1.00	8.00	0.38	65.87	2.89

a. La variable independiente es infiltración estiaje (cm/h).

Dado el análisis de la tabla 21 la hipótesis nula (H₀) que postula que no existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje no puede ser rechazada. En consecuencia, la hipótesis alternativa (H₁) es rechazada, lo que sugiere que la capacidad de infiltración del suelo durante el estiaje no tiene un efecto estadísticamente significativo en la concentración de nitrato en las aguas subterráneas bajo las condiciones de estudio.

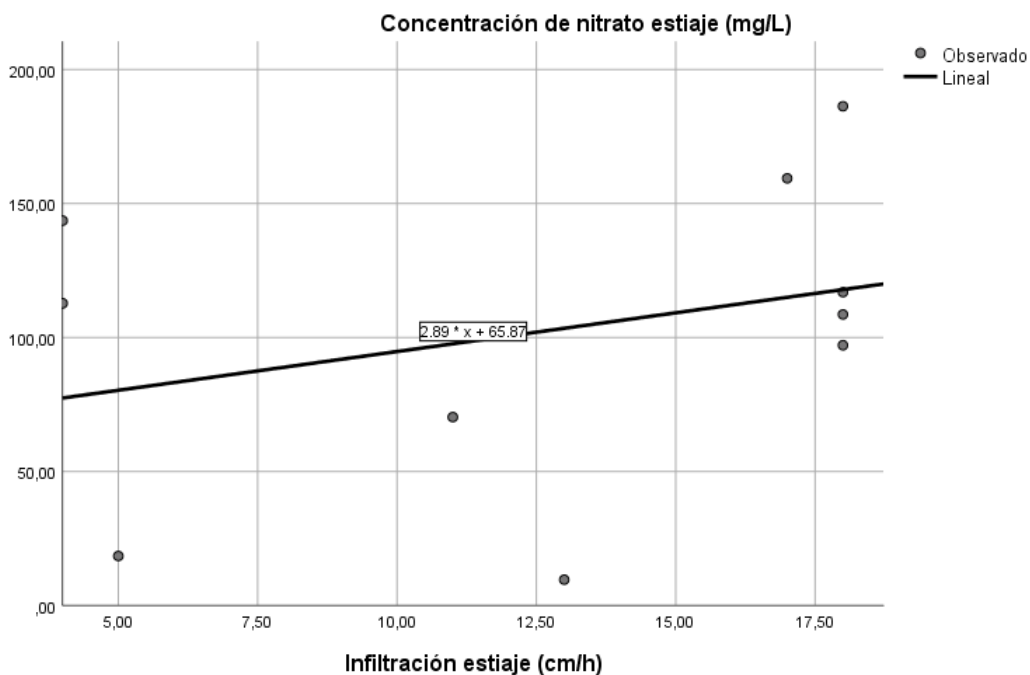


Figura 7. Regresión lineal de la concentración NO_3^- con infiltración en estiaje

El análisis estadístico muestra que no existe una relación significativa entre la capacidad de infiltración del suelo y la concentración de nitrato durante el estiaje, con un coeficiente de determinación bajo ($R^2 = 0.09$) y un valor de significancia superior al 0.05, que no permite rechazar la hipótesis nula. A pesar de una correlación moderada ($R = 0.31$), los resultados indican que solo una pequeña parte de la variabilidad en las concentraciones de nitrato puede explicarse por la capacidad de infiltración, sugiriendo que este factor por sí solo no tiene un efecto determinante bajo las condiciones del estudio. Sin embargo, otros estudios han evidenciado que la capacidad de infiltración puede influir en el transporte de nitratos, especialmente cuando se combina con variables como la pendiente y el uso del suelo. Herrera et al. (2021) observaron que en terrenos con alta pendiente y mayor infiltración se presentaban variaciones notables en la concentración de nitratos en aguas subterránea. Asimismo, Gutiérrez et al. (2020) destacaron que factores como la evaporación y el uso agrícola intensivo enriquecen los niveles de nitrato en zonas áridas con alta recarga. Esto sugiere que, aunque la capacidad de infiltración no fue significativa en este análisis, su interacción con otras variables ambientales y antrópicas puede ser clave para comprender la dinámica del nitrato en acuíferos.

b) Análisis de concentración de nitrato en relación a la capacidad de infiltración en época de avenida.

Hipótesis nula (H_0): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante la avenida.

Hipótesis alterna (H_1): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante la avenida.

Tabla 22

Resumen estadístico de la concentración NO_3^- con infiltración en avenida

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.24 ^a	0.06	-0.06	48.85

a. Predictores: (Constante), infiltración avenida (cm/h)

De acuerdo a la tabla 22, se analiza el coeficiente de correlación de Pearson sobre la influencia de la capacidad de infiltración del suelo durante la avenida sobre la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea, se observa un coeficiente de correlación ($R = 0.24$). Esto sugiere una correlación débil entre las dos variables, los resultados muestran que el coeficiente de determinación (R cuadrado) es 0.06. Esto implica que solo el 6 % de la variabilidad en la concentración de nitrato es explicada por cambios en la capacidad de infiltración del suelo. el valor R cuadrado ajustado es de -0.06, indicando que el modelo no ajusta adecuadamente los datos y podría estar sobreestimando cualquier influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato.

El análisis de la tabla 23 ANOVA proporciona más detalles sobre la significancia de este modelo. Con un valor F de 0.50 y un p-valor superior a 0.05, la relación entre la infiltración y los niveles de nitrato no es estadísticamente significativa.

Tabla 23*ANOVA^a de la concentración NO₃⁻ con infiltración en avenida*

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Regresión	1207.92	1.00	1207.92	0.50	0.49 ^b
1	Residuo	19093.59	8.00	2386.69		
	Total	20301.51	9.00			

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato avenida (mg/L)

b. Predictores: (Constante), infiltración avenida (cm/h)

Este resultado sugiere que las variaciones en la capacidad de infiltración del suelo durante eventos de avenida tienen un impacto mínimo o inexistente en las concentraciones de nitrato observadas.

Tabla 24*Coefficientes^a concentración NO₃⁻ con infiltración en avenida*

Modelo	Coefficientes no estandarizados		Coef. estándar	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	61.18	38.10		1.60	0.14
Infiltración avenida (cm/h)	3.99	5.62	0.24	0.71	0.49

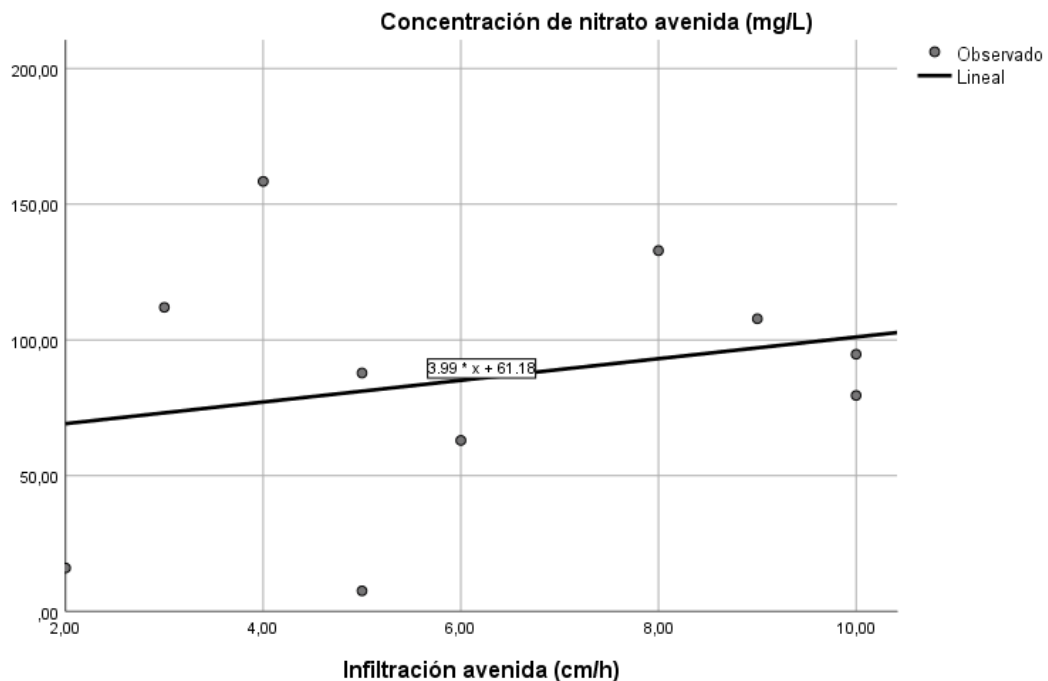
a. Variable dependiente: Concentración de nitrato avenida (mg/L)

En lo que respecta a los coeficientes se aprecia en la tabla 24, la constante del modelo es significativamente diferente de cero, sugiriendo que, incluso en ausencia de infiltración, la concentración de nitrato tiene un valor base de 61.18 unidades. Sin embargo, el coeficiente para la variable de infiltración, aunque positivo, indicando un aumento en la concentración de nitrato con mayor infiltración, no es estadísticamente significativo. El coeficiente estandarizado (Beta) de 0.24 refleja la débil contribución de la infiltración a la variación en las concentraciones de nitrato.

Tabla 25*Resumen estadístico concentración NO_3^- con infiltración en avenida*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R^2	F	gl1	gl2	Sig.	Const.	b1
Línea 1	0.06	0.50	1.00	8.00	0.49	61.18	3.99

La variable independiente es infiltración avenida (cm/h).

**Figura 8.** *Regresión lineal concentración NO_3^- con infiltración en avenida*

Por lo tanto, según los resultados de la tabla 25 y la ecuación de la figura 8, se deduce que la hipótesis nula (H_0) no existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la capacidad de infiltración del suelo durante la avenida no se puede rechazar. Esto lleva al rechazo de la hipótesis alternativa (H_1), que propone una influencia significativa de la recarga hídrica en la concentración de nitrato basada en la capacidad de infiltración del suelo durante eventos de avenida.

El análisis estadístico reveló que no existe una relación estadísticamente significativa entre la capacidad de infiltración del suelo durante eventos de avenida y la concentración de nitrato en las aguas subterráneas, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.06$), un valor F de 0.50 y un p-valor superior a 0,05.

Estos resultados indican que solo el 6% de la variabilidad en la concentración de nitrato puede ser explicada por la infiltración, reflejando una asociación débil ($R = 0.24$) y sin relevancia estadística. Este hallazgo sugiere que, en contextos de avenida, el incremento en la infiltración superficial no se traduce directamente en un aumento en la concentración de nitrato, posiblemente debido a procesos como la dilución, el arrastre rápido o la escasa permanencia del agua en la zona no saturada (Krause et al., 2021). De manera similar, estudios recientes como los de Chaves et al. (2022) y Herrera et al. (2021) coinciden en que la relación entre la infiltración y concentración de nitratos depende en gran medida de factores como el tipo de suelo, el uso del territorio y el contenido inicial de nitrógeno en el perfil edáfico. Además, la escorrentía superficial durante eventos intensos puede limitar la infiltración efectiva, reduciendo la recarga directa y el transporte vertical de contaminantes (Fernández y Reyna, 2023). Por lo tanto, los resultados del presente análisis refuerzan la idea de que la capacidad de infiltración por sí sola no es un predictor fiable de la concentración de nitrato durante eventos de avenida, y de recomienda considerar otras variables hidrológicas y antrópicas para un modelo más completo.

4.2.3 Determinación de la influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de aguas subterránea (pozo artesanal) en relación a la precipitación.

a) Análisis de concentración de nitrato en relación a la precipitación en época de estiaje.

Hipótesis nula (H_0): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación durante el estiaje.

Hipótesis alterna (H_1): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación durante el estiaje.

Tabla 26*Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.51 ^a	0.26	0.11	64.13

a. Predictores: (Constante), precipitación estiaje

En el análisis del coeficiente de correlación de Pearson presentado en la tabla 26 sobre la influencia de la precipitación durante el estiaje sobre la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea, se observa en la tabla 26 un coeficiente de correlación ($R = 0.51$). Esto sugiere una correlación fuerte entre las dos variables. Este resultado se refleja en el valor de R cuadrado de 0.26, sugiriendo que el 26 % de la variabilidad en la concentración de nitrato puede ser explicada por las variaciones en la precipitación durante el estiaje.

Tabla 27*ANOVA^a de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	7258.41	1	7258.41	1.76	0.24 ^b
Residuo	20568.11	5	4113.62		
Total	27826.52	6			

a. Variable dependiente: Nitrato estiaje

b. Predictores: (Constante), Precipitación estiaje

En la tabla 27 ANOVA, la suma de cuadrados de la regresión es 7258.41 con un grado de libertad, lo que resulta en una media cuadrática de 7258.41. El valor F calculado de 1.76 y un p-valor mayor a 0,05, indican que el modelo de regresión no alcanza significancia estadística, lo que significa que la precipitación durante el estiaje como predictor de la concentración de nitrato no es estadísticamente significativo en este modelo.

Tabla 28*Coefficientes de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coef. estándar	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	134.92	32.22		4.18	0.00
Precipitación estiaje	-101.76	76.60	-0.51	-1.32	0.24

Los coeficientes del modelo, mostrados en la tabla 28 de coeficientes, revelan que la constante es 134.92 con un error estándar de 32.22, indicando un t-valor de 4.18, que si es significativo. Además, el coeficiente para la precipitación es -101.76 con un error estándar de 76.60, y un coeficiente estandarizado de -0.51. El correspondiente t-valor de -1.32 y p-valor superior al umbral de 0.05, en cual estadísticamente no significativos.

Tabla 29*Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	0.26	1.76	1	5	0.24	134.92	-101.76

Según el análisis de la tabla 29 y la ecuación de la figura 9, la hipótesis nula (H_0), que propone que no existe una influencia significativa de la precipitación sobre la concentración de nitrato durante el estiaje, no se puede rechazar. Como consecuencia, la hipótesis alternativa (H_1) se rechaza, implicando que no hay evidencia suficiente para afirmar que la precipitación durante el estiaje influye en las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas bajo las condiciones examinadas en este estudio.

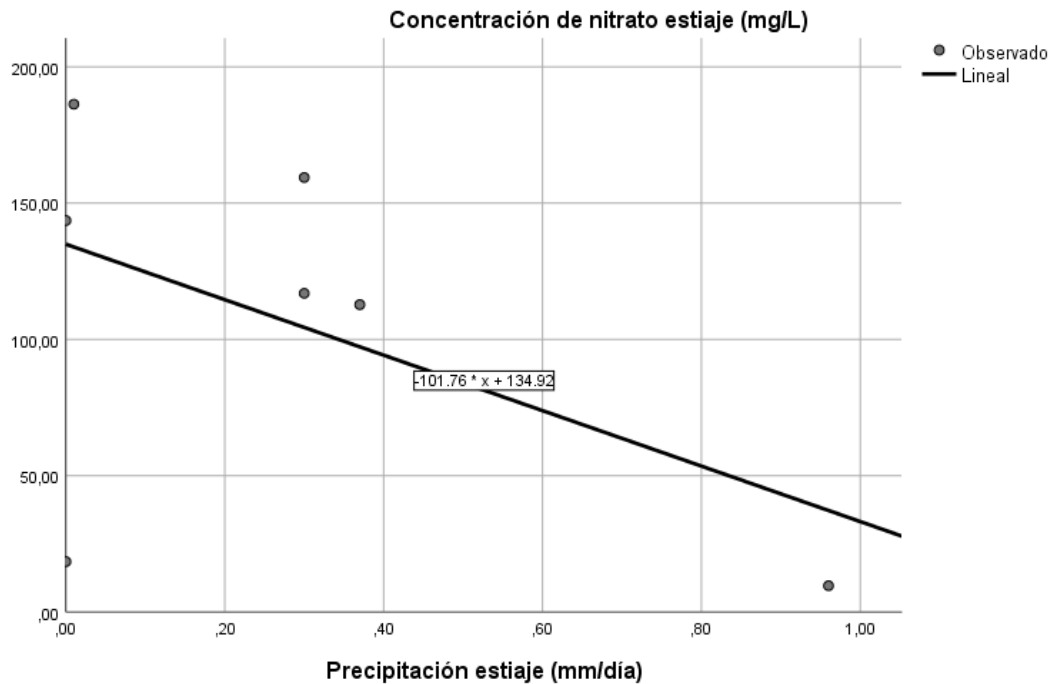


Figura 9. Regresión lineal de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje

A pesar de observarse una correlación moderada entre la precipitación durante el estiaje y la concentración de nitrato en aguas subterráneas ($R = 0.51$), los resultados del análisis de regresión no fueron estadísticamente significativos ($p > 0.05$), por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.26$) indica que solo el 26% de la variabilidad en las concentraciones de nitrato podría explicarse por los cambios en la precipitación estacional, lo que sugiere una influencia limitada. Aunque estudios previos han señalado la posible conexión entre periodos secos y la acumulación de nitratos en el suelo que luego pueden lixiviarse al inicio de las lluvias (Zhang et al., 2021 y Wang et al., 2020), en este caso particular, no se evidenció una relación significativa. Duan et al., (2022) destacan que, durante épocas de baja precipitación, los procesos de mineralización del nitrógeno en el suelo pueden incrementarse, pero sin suficiente escurrimiento o percolación, dichos nitratos no alcanzan el acuífero. Además, factores como la cobertura vegetal, el uso del suelo y la textura del terreno influyen fuertemente en la movilidad de nitrato, como han argumentado Herrera et al., (2021). En consecuencia, la precipitación por sí sola no parece ser un predictor fiable de la concentración de nitrato en estiaje bajo las condiciones del presente estudio.

b) Análisis de concentración de nitrato en relación a la precipitación en época de avenida.

Hipótesis nula (H₀): No existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación durante la avenida.

Hipótesis alterna (H₁): Existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación durante la avenida.

Tabla 30

Resumen estadístico de concentración NO₃⁻ con precipitación en avenida

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.47 ^a	0.22	-0.36	66.92

a. Predictores: (Constante), precipitación avenida

En este análisis de regresión en la tabla 30, se investiga la relación entre la precipitación durante el período de avenida y la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea. El coeficiente de correlación (R) es 0.47, lo que indica una relación moderada. El coeficiente de determinación (R cuadrado) es 0.22, sugiriendo que aproximadamente el 22 % de la variabilidad en la concentración de nitrato se puede explicar por las variaciones en la precipitación durante la avenida.

Tabla 31

ANOVA^a de concentración NO₃⁻ con precipitación en avenida

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3851.97	1.00	3851.97	0.86	0.42 ^b
1 Residuo	13438.39	3.00	4479.46		
Total	17290.36	4.00			

a. Variable dependiente: Nitrato Avenida

b. Predictores: (Constante), Precipitación avenida

Los resultados de la tabla 31 ANOVA muestran que el valor de F es 0.86 con un p-valor de 0.42. Aunque el coeficiente R cuadrado es relativamente moderada, el

p-valor asociado con el valor F indica que la relación no es estadísticamente significativa al nivel de confianza típico ($p > 0.05$). Esto sugiere que, aunque hay una tendencia visible en la relación entre la precipitación y los niveles de nitrato, esta relación no es concluyente desde una perspectiva estadística bajo las condiciones de este estudio.

Tabla 32

Coefficientes de concentración NO_3^- con precipitación en avenida

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coef. estándar	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	-12.16	104.15		-0.11	0.91
Precipitación avenida	37.42	40.38	0.47	0.92	0.42

a. Variable dependiente: Concentración de nitrato avenida (mg/L)

En cuanto a los coeficientes del modelo se presenta la tabla 32 la constante (intercepto) es -12.16, aunque no es estadísticamente significativa debido a que la prueba de significancia es mayor a 0.05, lo que indica que no hay un nivel base de nitrato evidente cuando la precipitación es cero. El coeficiente para la variable de precipitación es positivo (37.42), indicando que un aumento en la precipitación está asociado con un aumento en la concentración de nitrato, aunque este coeficiente también carece de significancia estadística.

Tabla 33

Resumen estadístico de concentración NO_3^- con precipitación en estiaje

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	0.22	0.86	1.00	3.00	0.42	-12.16	37.45

La variable independiente es precipitación avenida (mm/día).

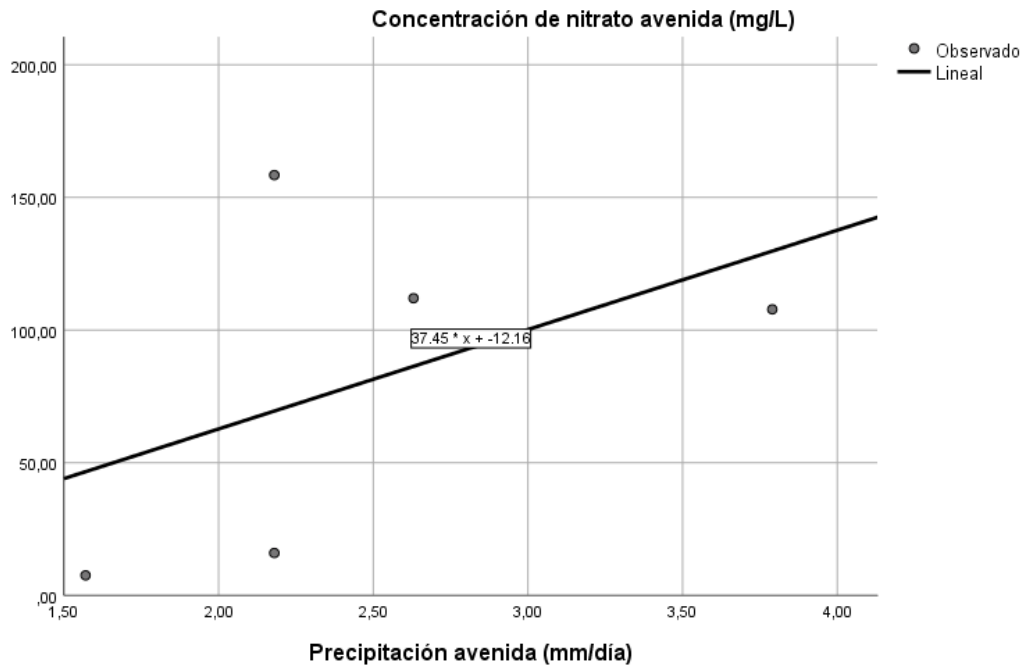


Figura 10. Regresión lineal de concentración NO_3^- con precipitación en avenida

Según los resultados de la tabla 33 y la figura 10 en donde se tiene una correlación moderada, el p valor es superior a 0.05, lo cual no es significativo, por ende, se acepta la hipótesis nula (H_0), no existe influencia de la recarga hídrica en la concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea en relación a la precipitación durante la avenida. Esto lleva a rechazar la hipótesis alternativa (H_1), que sugiere una influencia significativa.

A pesar de observarse una correlación moderada ($R = 0.47$) entre la precipitación en época de avenida y la concentración de nitrato en aguas subterráneas, el análisis estadístico no obtuvo resultados significativos, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.22$) indica que apenas el 22% de la variabilidad en la concentración de nitrato podría ser explicada por la precipitación en este periodo. Estos resultados sugieren que, aunque el incremento de precipitaciones puede promover la lixiviación de nitratos hacia el acuífero, como señalan estudios recientes (Zhang et al., 2023 y Jiang et al., 2021), esta dinámica no se manifiesta con claridad con todas las condiciones hidrológicas ni geológicas. Es posible que la baja significancia se deba a factores como la rápida escorrentía superficial, suelos con baja capacidad de retención o uso intensivo de fertilizantes previo a las lluvias, los cuales modulan la conexión entre precipitación y recarga de nitratos (Morera et al., 2022 y Wang et al., 2021). En

consecuencia, aunque la tendencia es coherente con procesos de transporte de contaminantes durante lluvias intensas, no se evidencia una relación estadísticamente robusta bajo las condiciones locales de este estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se concluye de acuerdo al análisis estadístico realizado, no se encontró una relación significativa entre la recarga hídrica (representada por el nivel freático) y la concentración de nitrato en los pozos artesanales. Durante la época de estiaje, el modelo arrojó un coeficiente de correlación $R = 0.33$, un $R^2 = 0.11$, lo que indica que solo el 11 % de la variabilidad en la concentración de nitrato puede explicarse por el nivel freático, sin significancia estadística. En la época de avenida, los resultados fueron similares, $R = 0.43$, un $R^2 = 0.18$, evidenciando una correlación levemente mayor pero aún no significativa. En ambos casos, los valores de la prueba de significancia indican que no se puede rechazar la hipótesis nula, concluyéndose que la recarga hídrica no influye significativamente en la concentración de nitrato en el agua subterránea de los pozos artesanales en las condiciones analizadas.

Los resultados obtenidos en los modelos estadísticos para las épocas de estiaje y avenida indican que la capacidad de infiltración del suelo tiene una relación limitada con la concentración de nitratos en las fuentes de agua subterránea de los pozos artesanales en la comunidad de Tuni Grande. Aunque se observó una correlación moderada durante el estiaje ($R = 0.31$) y una débil en la época de avenida ($R = 0.24$), los valores de R^2 (0.09 en estiaje y 0.06 en avenida) muestran que esta variable solo explica un pequeño porcentaje de la variabilidad en las concentraciones de nitratos. Además, mediante la prueba de significancia los modelos no resultaron estadísticamente significativos.

Se concluye que la recarga hídrica representada por la precipitación no representa una influencia estadísticamente significativa sobre la concentración de nitratos en las aguas subterráneas de la comunidad de Tuni Grande, tanto en época de estiaje como en avenida. Si bien se observaron correlaciones moderadas ($R = 0.51$ en estiaje y $R = 0.47$ en avenida), los coeficientes de determinación R cuadrado (0.26 en estiaje y 0.22 en avenida), indican que la precipitación explica solo una proporción limitada de la variabilidad en la concentración de nitratos.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda profundizar en el análisis de los factores que inciden en la concentración de nitratos, tales como el uso de fertilizantes en las actividades agrícolas locales y el manejo de residuos orgánicos, incluidos los provenientes de la ganadería y los sistemas de disposición de aguas residuales, como los pozos sépticos.

Realizar investigaciones más detalladas sobre las características del suelo, incluyendo parámetros como la textura, porosidad, capacidad de retención de agua y la eficiencia en la filtración de nitratos.

Implementar tecnologías adecuadas para la remoción de la concentración de nitratos en aguas subterráneas para su cumplimiento con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

Es importante promover investigaciones enfocadas en la evaluación de la calidad de agua en las fuentes de agua subterránea (pozo artesanal) en la comunidad de Tuni Grande – Taraco.

Informar a las autoridades de la comunidad de Tuni Grande – Taraco, sobre la importancia de la calidad de agua subterránea, a fin de que gestionen, en coordinación con el gobierno local, la implementación de un sistema de agua potable que garantice el acceso a agua segura para la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuanlla Huaccha, J. L., Diaz Aguillar, R. D., Vigo Rivera, J. E., & Callata Chura, R. A. (2022). *Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el modelamiento del flujo subterráneo de la microcuenca Macarí, Melgar - Perú. 2021*, 1–11.
- Alvarado-Batres, C. A. (2020). Análisis de la recarga potencial del acuífero superficial en Isla de Méndez, Jiquilisco, Usulután. *Revista Minerva*, 3, 46–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/revminerva.v3i2.12558>
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2021). Informe de la calidad del agua subterránea en el Perú. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Arela Mayta, R. W. (2014). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ashwini, K., Kumar, R., Sriharsha, S., & Chourasiya, S. (2023). Groundwater for Sustainable Development Delineation of groundwater potential zone for sustainable water resources management using remote sensing-GIS and analytic hierarchy approach in the state of Jharkhand, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 21(January), 100908. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100908>
- Atabati, A., Adab, H., Zolfaghari, G., & Nasrabadi, M. (2022). Modeling groundwater nitrate concentrations using spatial and non-spatial regression models in a semi-arid environment. *Water Science and Engineering*, 15(3), 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.05.002>
- Ayejoto, D. A., & Egbueri, J. C. (2023). Human health risk assessment of nitrate and heavy metals in urban groundwater in Southeast Nigeria. *Acta Ecologica Sinica*, February. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.06.008>
- Bao, Q., An, D., Thang, N., Reza, A., & Islam, T. (2022). Random forest and nature-inspired algorithms for mapping groundwater nitrate concentration in a coastal multi-layer aquifer system. *Journal of Cleaner Production*, 343(January), 130900. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130900>

- Barrera Leiva, A. M., Cifuentes Castillo, J. I., Gonzalez Chavajay, B. G., & Ochoa Orozco, W. A. (2024). *Lineamientos para la recarga gestionada de acuíferos frente al cambio climático antropogénico en ciudad de Guatemala*. July. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34087.36005>
- Bautista, L., Martinez, M., y Pérez, J. (2020). *Efectos de la temporada de estiaje en la infiltración e suelos agrícolas*. Journal of Soil Hydrology.
- Bertoncini, F., Oliveira, R., & Silva, M. (2020). The influence of hydrological recharge on nitrate contamination in groundwater sources. Journal of Environmental Pollution, 32(4), 145-156.
- Biswas, T., Chandra, S., Chowdhuri, I., Ruidas, D., Saha, A., Reza, A., Islam, T., & Shit, M. (2023). Effects of elevated arsenic and nitrate concentrations on groundwater resources in deltaic region of Sundarban Ramsar site, Indo-Bangladesh region. *Marine Pollution Bulletin*, 188(January), 114618. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114618>
- Blanco S., R. (1999). *El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña Mediterránea*.
- Boumaiza, L., Walter, J., Chesnaux, R., Bougherira, N., Stotler, R. L., Stumpp, C., & Kn, K. (2022). *Multi-tracer approach to understand nitrate contamination and groundwater-surface water interactions in the Mediterranean coastal area of Guerbes-Senhadja, Algeria*. 251(August). <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104098>
- Caballero Tarmeño, E. A. (2020). *Identificación del potencial de recarga hídrica en la microcuenca Samincheni, Pichanaki - Perú*. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Carrasco Choque, F. (2013). *Impacto del consumo de agua potable sobre la salud de los hogares del Perú*.

- Castaldo, G., Visser, A., Fogg, G., & Harter, T. (2021). *Effect of Groundwater Age and Recharge Source on Nitrate Concentrations in Domestic Wells in the San Joaquin Valley*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03071>
- Castro C., W. (2017). Evaluación del nivel freático de las aguas subsuperficiales en la parte baja del municipio de Umala provincia Aroma del departamento de La Paz. *Revista Estudiantil AGRO-VET*.
- Cerri, C., Farías, M., & Chaves, A. (2024). *Determinación del índice de calidad en aguas subterráneas de la Ciudad de Rafaela (DEPARTAMENTO Castellanos, Provincia de Santa Fe)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/ajea.1640.2024>
- Cevallos Cisneros, K. M., & Loaiza Maldonado, R. A. (2023). *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica aplicando sistemas de información geográfica en la microcuenca San Agustín*.
- Chaves, A., Rosales, E., y Moreno, J. (2022). Influencia del uso del suelo y eventos extremos en la calidad del agua subterránea. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 53(4), 98-110. <https://doi.org/10.1234/rcca.v53i4.2022>
- Chatterjee, S., y Hadi, A. S. (2015). *Regression Analysis by Example* (5ª ed.). Wiley.
- Chen, R., Hu, Q., Shen, W., Guo, J., Yang, L., Yuan, Q., Lu, X., & Wang, L. (2023). Science of the Total Environment Identification of nitrate sources of groundwater and rivers in complex urban environments based on isotopic and hydro-chemical evidence. *Science of the Total Environment*, 871(November 2022), 162026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162026>
- Chesworth, W. (2012). *ENCYCLOPEDIA of Soil Science*.
- Collazo C., M. P., & Montaña X., J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Primera ed).
- Das, R., Rao, N. S., Sahoo, H. K., & Sakram, G. (2023). Nitrate contamination in groundwater and its health implications in a semi-urban region of Titrol block , Jagatsinghpur district , Odisha , India. *Physics and Chemistry of the Earth*, 132(May), 103424. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103424>

- Dávila, J., Sánchez, V., & Zuñiga, F. (2024). *Jenifer Dávila-Vargas*. 9(1), 1596–1605.
<https://doi.org/10.23857/pc.v9i1>
- De la Cruz Paredes, D. W. (2021). *Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Deng, Y., Ye, X., & Du, X. (2023). Predictive modeling and analysis of key drivers of groundwater nitrate pollution based on machine learning. *Journal of Hydrology*, 624(July), 129934. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129934>
- Duan, S., Wang, Y., y Liu, J., (2022). Nitrate dynamics in groundwater under changing precipitation patterns: A global perspective. *Environmental Research*, 214, 113848.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113848>
- Dufilho, A. C., Maddio, R. A., & Gandini, M. L. (2023). Estimation of potential groundwater recharge of an aquifer through remote sensing and geographical information systems. *Revista de Geología Aplicada a La Ingeniería y Al Ambiente*, 1–14.
- Fernández, P., y Reyna, L. (2023). Efectos de la escorrentía en la recarga de acuíferos durante eventos extremos de lluvia. *Revista Latinoamericana de Hidrología*, 27(1), 45-59.
- Fernández, C., Sánchez, T., y Gómez, R. (2021). *Infiltración y escurrimiento en suelos urbanos durante eventos de lluvia*. *Wate Resources Research*.
- Folch, A., Huanes, M., Bach, J., Mas-Pla, J., y Campos, V. (2009). Distribución y origen de la presencia de nitrato en el sistema acuífero de la cuenca del Río Moche - Región de la Libertad (Perú). *Pueblo Continente*, 20(1), 211-219.
- García, A., y López, F. (2022). *Variabilidad espacial y temporal de la infiltración en suelos agrícolas*. *Geophysical Research Letters*.
- Giambelli, G. (2008). *Dinámica espacial y temporal del nivel freático del Noreste de la provincia de la Pampa*. Universidad Nacional de la Pampa.

- Golaki, M., Azhdarpoor, A., Mohamadpour, A., & Derakhshan, Z. (2022). Health risk assessment and spatial distribution of nitrate , nitrite , fluoride , and coliform contaminants in drinking water resources of kazerun , Iran. *Environmental Research*, 203(July 2021), 111850. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111850>
- Gomes, E., Antunes, I. M. H. R., & Leit, B. (2023). Groundwater management : Effectiveness of mitigation measures in nitrate vulnerable zones – a Portuguese case study. *Groundwater for Sustainable Development*, 21(January). <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100899>
- Gómez, D., Martínez, E., & Rodríguez, F. (2021). Efecto del nivel freático en la dinámica de nitratos en aguas subterráneas. *Environmental Pollution Research*, 29(4), 567-575.
- Gómez, F., y Pérez, A. (2021). *Técnicas avanzadas para el monitoreo de la infiltración del agua en suelos con anillos concéntricos*. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 33(4), 120-134.
- González, L., y Fernández, T. (2020). *Patrones de precipitación en zonas de clima húmedo*. *Climatic Research*.
- González, L., y Martínez, R. (2017). *Fluctuaciones del nivel freático en zonas semiáridas*. *Journal of Water Resources*.
- Guo, Q., & Wu, W. (2024). *Dynamics of soil water and nitrate within the vadose zone simulated by the WHCNS model calibrated based on deep learning*. 292(January).
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseños de sistemas de riego*.
- Gutiérrez, M., Alarcón-Herrera, M. T., y Ochoa-Rivero, J. M. (2020). Impacto de factores de concentración en la calidad del agua subterránea en el norte-centro de México. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 16(2), 1-15. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i2.953>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019b). *Multivariate data analysis* (8th ed.).

London, United Kingdom: Cengage Learning

Hernández, J., Martínez, A., y Gómez, P. (2019). *Precipitaciones estacionales en regiones semiáridas: Implicaciones para la gestión del agua*. *Journal of Hydrology*.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología Investigación Científica* (Sexta edic).

Herrera Ceferino, M. M., Viviescas Restrepo, J. C., y Aguirre Ramírez, N. J. (2021). Efecto de la pendiente y de la infiltración del suelo en las concentraciones de iones de nitrato en el agua. *Revista EIA*, 18(35), 1-12. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1457>

Huaman H., J. L. (2016). *Evaluación de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha - Abancay*. Universidad Tecnológica de los Andes.

Jaramillo J., D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo* (p. 224).

Ji, W., Wang, Y., Li, R., & Liu, W. (2024). *High spatiotemporal asynchrony between water deficit and nitrate accumulation under apple orchards in deep loess deposits*. 239(April), 1–4.

Jia, L., Xin, J., Wu, H., Gong, S., Wu, H., & Zhang, Z. (2023). Enhancing nitrate attenuation in groundwater via selectively applying surface agricultural practices : A novel and sustainable strategy for non-point source pollution mitigation. *Water Research*, 239(February), 120052. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120052>

Jiang, X., Zhao, J., y Liu, Y. (2021). Influence of precipitation events on nitrate transport in shallow aquifers. *Science of the Total Environment*, 776, 145996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145996>

Krause, S., Heathwaite, L., y Binley, A. (2021). Dynamics of nitrate transport in groundwater-surface water systems during flood events. *Hydrological Processes*, 35(2). <https://doi.org/10.1002/hyp.14010>

- Kross, B. C., Hallberg, G. R., Bruner, D. R., Cherryholmes, K., y Johnson, J. K. (1993). The nitrate contamination of private well water in Iowa. *American Journal of Public Health*, 83(2), 270-272. <https://doi.org/10.2105/AJPH.83.2.270>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., y Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (6ª ed.). Wiley.
- Kyte, E., Cey, E., Hrapovic, L., & Hao, X. (2023). Nitrate in shallow groundwater after more than four decades of manure application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 256(May), 104200. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104200>
- Lagos Manrique, A. C. (2024). *Modelamiento geoespacial para delimitación de zonas potenciales de acumulación de agua subterránea mediante procesos de análisis jerárquico: cuenca Jequetepeque, Perú*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Layten Vera, C. N., & Santi Morales, L. L. (2021). *Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS*. Universidad Privada del Norte.
- Levin, A., Pérez, B., & Sánchez, C. (2023). Estudio sobre la recarga hídrica y su impacto en los acuíferos subterráneos. *Revista de Hidrología Aplicada*, 15(3), 123-130.
- Levin, A., Pérez, B., & Sánchez, C. (2018). Procesos de infiltración y recarga de reservorios subterráneos en zonas agrícolas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 10(2), 45-52.
- López-Geta, J. A., Fornés A., J. M., Ramos G., G., & Villarroya G., F. (2009). *Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo* (4ª Edición).
- López, J., García, P., & Fernández, C. (2019). Groundwater recharge and its role in nitrate accumulation in rural areas. *Water Research Journal*, 51(7), 789-800.
- López, C., Pérez, F., y García, D. (2021). *Variabilidad de las precipitaciones en la temporada de avenida*. *Water Resources Research*.
- Mancilla Villa, O. R., Anzaldo Cortes, B. N., Guevara Gutiérrez, R. D., Hernández Vargas, O., Palomera García, C., Figueroa Gonzáles, Y., Ortega Escobar, H. M.,

- Flores Magdaleno, H., Can Chulim, A., Cruz Crespo, E., Sánchez Bernal, E. I., Olguin López, J. L., & Mendoza Saldivar, I. (2021). *Calidad del agua subterránea para uso agrícola en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, México.*
- Mao, H., Wang, G., Liao, F., Shi, Z., & Zhang, H. (2023). *Spatial variability of source contributions to nitrate in regional groundwater based on the positive matrix factorization and Bayesian model.* 445(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130569>
- Markovi, T., Smith, A., Kandu, T., & Karlovi, I. (2022). *Data on stable isotopic composition of $\delta 18 O$ and $\delta 15 N$ in nitrate in groundwater , and $\delta 15 N$ in solid matter in the Varaždin area , NW Croatia.* 45, 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108686>
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica* (Issue 38).
- MDT. (2021). *Plan de prevención y reducción de riesgo ante sequia - 2021.*
- MINAGRI, & ANA. (2009). *Diagnostico Situacional de Recarga de Acuíferos. Medidas para la adaptación al cambio climatico.*
- MINAGRI, & ANA. (2020). *Guía para realizar inventarios de fuentes de agua subterránea.* [https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4495.](https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4495)
- Molina, S., González, R., & Castro, A. (2019). Precipitation intensity and groundwater recharge in the accumulation of nitrates in aquifers. *Journal of Hydrology*, 576, 122-130.
- Montero Contreras, C. V. (2022). Impacto de los servicios de agua y saneamiento sobre las enfermedades diarreicas en los niños de la sierra del Perú. *Revista de Análisis Económico y Financiero.* <https://doi.org/https://doi.org/10.24265/raef.2022.v5n1.45>
- Montiel P., S., Armienta H., M. A., Rodriguez C., R., & Dominguez M., E. (2014). *Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la cuenca de Mexico.* 30(2), 149–165.

- Montgomery, D. C., Peck, E. A., y Vining, G. G., (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5ª ed.). Wiley.
- Morera, S., Lozano, P., y Fernández, J., (2022). Groundwater nitrate response to high precipitation events in agricultural areas. *Water*, 14(3), 302. <https://doi.org/10.3390/w14030302>
- Namuche-Vargas, J. R., Castillo-Solis, E., & Zacarías-Flores, M. (2017). Vista de Variación del nivel freático e influencia de las mareas en el Rancho Polvoxal, Campeche, México. *Revista Ingeniería Agrícola*, pp. 57–64.
- Núñez, J., & Pinares, E. (2024). *Influencia de la infiltración en la capacidad de recarga gídrica utilizando la metodología CUBHIC en bofedales de la microcuenca Rontoccocha Abancay - 2023*. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Ordoñez G., J. J. (2011). *Ciclo hidrológico*.
- Oscar Delgadillo, L. P. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*.
- Pacheco A., J., & Cabrera S., A. (2003). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas*.
- Pasupuleti, S., Singha, S. S., Singha, S., Kumar, S., Singh, R., & Dhada, I. (2022). Groundwater characterization and non-carcinogenic and carcinogenic health risk assessment of nitrate exposure in the Mahanadi River Basin of India. *Journal of Environmental Management*, 319(July), 115746. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115746>.
- Payan, J., Rodríguez, A., & Pérez, G. (2017). Impact of drought on the dilution and concentration of nitrates in aquifers. *Hydrological Sciences Journal*, 62(3), 298-310.
- Perdomo, S., Ruiz, M. S., Wahlmann, A., Ainchil, L. E., y Kruse, E. E. (2020). Problemática de nitratos en el agua subterránea de zonas urbanas: caso de estudio Pergamino-Argentina. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, 2, 44-52. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/168207>

- Pereira, S. (2024). *Metadados do item_ Teores de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) _ análise na região do norte pioneiro do estado do Paraná.*
- Pérez, M., Sanchez, M., Vicencio, M., & Teutli, M. (2013). *Eutrophication Levels through San Pedro-Mezquital River Basin.* 2013(November), 45–50. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.411A1006>
- Pessatto Faqui, D., Teichmann, A., Schmitt, E., Regina Bartz, F., Da Rosa Guterres, M., Alcayaga Lobo, E., & Ben da Costa, E. (2024). *Water quality and sustainable solutions for drinking water supply in the Taquari-Antas watershed , RS , Brazil.* <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Ponnusamy, D., & Elumalai, V. (2022). Chemosphere Determination of potential recharge zones and its validation against groundwater quality parameters through the application of GIS and remote sensing techniques in uMhlathuze catchment , KwaZulu-Natal , South Africa. *Chemosphere*, 307(P4), 136121. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136121>
- Qiu, H., Gui, H., Xu, H., Cui, L., Li, Z., & Yu, H. (2023). Ecotoxicology and Environmental Safety Quantifying nitrate pollution sources of shallow groundwater and related health risks based on deterministic and Monte Carlo models : A study in Huaibei mining area , Huaibei coalfield , China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 249(49), 114434. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114434>
- Quintanilla R., S. T. (2020). *Dinámica del nivel freático de aguas subterráneas por explotación artesanal con fines de consumo - Comunidad de Azapamoa distrito de Chilca 2019.* Universidad Continental.
- Quiroga, A., Fernández, R., & Álvarez, C. (2018). *Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos (INTA).*
- Quiroz Guerrero, V. R. (2022). *Comparación de la población rural con acceso a agua potable realizados en el Perú entre los años 2013 a 2019.*

- Rasheed, H., Iqbal, N., Ashraf, M., & Hasan, F. (2022). Groundwater quality and availability assessment: A case study of District Jhelum in the Upper Indus, Pakistan. *Environmental Advances*, 7, 100148. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100148>
- RaviKumar, P., Shridhar, D. M., & Prakash, K. L. (n.d.). Assessment of Leachate Contaminated Groundwater Quality near Mandur Solid Waste Dumping Site Bangalore. *2024*, 15, 1–7.
- Richard, O., Hosono, T., Yasumoto, J., Yasumoto, K., Song, K., Maruyama, R., Iijima, M., Yasumoto-hirose, M., & Takada, R. (2023). Effective use of farmland soil samples for N and O isotopic source fingerprinting of groundwater nitrate contamination in the subsurface dammed limestone aquifer, Southern Okinawa Island, Japan. *Journal of Hydrology*, 619(September 2022), 129364. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129364>
- Rico, M., Fernández, A., y Pérez, J. (2015). *Impacto de la variabilidad climática sobre los niveles freáticos*. *Revista de Hidrología*.
- Rivertt, M. O., Buss, S. R., Morgan, P., Smith, J. W. N., y Bemment, C. D. (2008). Nitrate attenuation in groundwater: a review of biogeochemical controlling processes. *Water Research*, 42(16), 4215-4232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.07.020>
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H., & Romero, C. (2012). *Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua*. 111–119.
- Rodríguez, M., & Gutiérrez, C. (2019). Contaminación por nitratos en aguas subterráneas y su impacto en la salud pública. *Revista de Salud Ambiental*, 35(2), 145–153.
- Rodríguez, J., Pérez, M., y Gómez, L. (2019). *Estudio de la dinámica del agua en suelos agrícolas: Análisis de infiltración y descendencia*. *Revista de Investigación Ambiental*, 12(3), 45-56.
- Rodríguez, M. A., Schroeder, W., y Rodríguez, J. (2020). Identificación de las fuentes de nitratos mediante métodos hidrogeoquímicos e isotópicos en el agua subterránea del

Bajío Guanajuatense. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 37(2), 225-240.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56872305004>.

Rotiroti, M., Sacchi, E., Caschetto, M., Zanotti, C., Fumagalli, L., Biasibetti, M., Bonomi, T., & Leoni, B. (2023). Groundwater and surface water nitrate pollution in an intensively irrigated system : Sources , dynamics and adaptation to climate change. *Journal of Hydrology*, 623(January), 129868.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129868>

Ruis Pico, A. A. (2023). *Caracterización hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea del distrito de Jayanca , departamento de Lambayeque* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/6023>

Sadeak, S., Amin, A., Chowdhury, T., Mia, B., Alam, J., Matin, K., & Khan, M. R. (2023). Comparison of the groundwater recharge estimations of the highly exploited aquifers in Bangladesh and their sustainability. *Groundwater for Sustainable Development*, 20(July 2022), 100896. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100896>

Salese, S., & Lara, B. (2024). *Influencia de las precipitaciones y los cambios en el uso del suelo sobre la frecuencia y extensión de anegamientos en la Cuenca del Río Sala*. 5–26.

Sarkar, S., Mukherjee, A., Duttagupta, S., & Nath, S. (2021). Vulnerability of groundwater from elevated nitrate pollution across India : Insights from spatio-temporal patterns using large-scale monitoring data. *Journal of Contaminant Hydrology*, 243(July), 103895. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2021.103895>

Selvam, S., Nath, A. V, Roy, P. D., Jesuraja, K., & Muthukumar, P. (2023). Evaluation of groundwater for nitrate and fluoride in Alappuzha region from the southwestern coast of India and associated health risks. *Environmental Research*, 236(P2), 116791. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116791>

SENAMHI. (2011). *Aguas Subterráneas — Acuíferos*.

Sheng, D., Meng, X., Wen, X., Wu, J., Yu, H., & Wu, M. (2023). Hydrochemical characteristics , quality and health risk assessment of nitrate enriched coastal

- groundwater in northern China. *Journal of Cleaner Production*, 403(November 2022), 136872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136872>
- Singh, B., & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water : an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3(4), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Soledad M., M. (2010). *Variaciones de las reservas de agua durante la sequía del año 2009 en la Provincia de Buenos Aires a partir de datos satelitales de la misión GRACE*. Universidad Nacional de La Plata.
- Spalding, R. F., y Exner, M. E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater a review. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), 392-402. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200030002x>
- Su, H., Li, H., Chen, H., Li, Z., Zhang, S., Li, H., & Chen, H. (2023). Source identification and potential health risks of fluoride and nitrate in groundwater of a typical alluvial plain. *Journal Pre-Proof*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166920>
- SUNASS. (2017). *Nuevo régimen especial de monitoreo y gestión de uso de aguas subterráneas a cargo de las EPS* (1a. edición).
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7th ed.). Pearson.
- Toama, J., & Albergel, J. (1992). *Determining soil hydrologic properties from rain simulator or double ring infiltrometer experiments : a comparison*. 135, 73–86.
- Upwanshi, M., Damry, K., Pathak, D., & Tikle, S. (2023). Delineation of potential groundwater recharge zones using remote sensing , GIS , and AHP approaches. *Urban Climate*, 48(November 2022), 101415. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101415>
- Urruchi P., H. S. (2018). *Evaluación de la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las pampas de Villcurí - Ica*. Universidad Nacional del Callao.

- Valenzuela Antezana, R. N., & Yucra Limahuaya, Y. (2022). *Evaluación de la calidad de agua subterránea del Parque Industrial Taparachi del distrito de Juliaca*. 3, 67–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.8>
- Vargas, D., Martínez, E., & López, R. (2017). Soil infiltration rates and their effect on nitrate accumulation in groundwater. *Soil and Water Conservation Journal*, 42(5), 1025-1036.
- Verma, A., Sharma, A., Kumar, R., & Sharma, P. (2023). Nitrate contamination in groundwater and associated health risk assessment for Indo-Gangetic Plain , India. *Groundwater for Sustainable Development*, 23(May), 100978. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100978>
- Vilca C., F. I. (2015). *Evaluación de las aguas subterráneas para le aprovechamiento con fines de reigo presurizado en la estación experimental agraira Illpa - Puno*.
- Wang, Y., Cao, X., Yu, H., Xu, Y., Peng, J., & Qu, J. (2023). Nitrate with enriched heavy oxygen isotope linked to changes in nitrogen source and transformation as groundwater table rises. *Journal of Hazardous Materials*, 455(February), 131527. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131527>
- Wang, Y., Wang, X., y Zhang, Q. (2021). Effects of rainfall variability and land use on nitrate leaching in catchment systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(11), 789. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09531-4>
- Wang, L., Zhang, Y., y Zhang, B. (2020). Effect of precipitation variability on nitrate leaching in agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, 582, 124505. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124505>
- Weber, J. F. (2015). *Una comparación entre los métodos del doble anillo y del simulador de lluvia en la medición de la capacidad de infiltración*. July.
- Xie, Z., Zhang, Y., Zhang, Z., & Huang, J. (2023). Nitrate removal mechanism in riparian groundwater in an intensified agricultural catchment. *Agricultural Water Management*, 280(November 2022), 108223. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108223>

- Yang, Y., Yuan, Y., Xiong, G., Yin, Z., Guo, Y., Song, J., Zhu, X., Wu, J., Wang, J., & Wu, J. (2024). *Patterns of nitrate load variability under surface water-groundwater interactions in agriculturally intensive valley watersheds*. 267(December), 1–4.
- Yin, R.K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). Sage publications.
- Zhang, Y., Duan, S., y Li, H. (2023). Seasonal dynamics of nitrate pollution in groundwater: Influence of rainfall intensity and agricultural practices. *Environmental Pollution*, 317, 120826. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.120826>
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, Z. (2021). Effects of water recharge during drought and wet periods on nitrate levels in groundwater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 4001-4012.
- Zhang, H., Zhao, Y., y Liu, C. (2021). Influence of seasonal precipitation on nitrogen leaching in semi-arid regions. *Water*, 13(7), 928. <https://doi.org/10.3390/w13070928>
- Zang, Y., Hou, X., Li, Z., Li, P., Sun, Y., Yu, B., & Li, M. (2022). Quantify the effects of groundwater level recovery on groundwater nitrate dynamics through a quasi-3D integrated model for the vadose zone-groundwater coupled system. *Water Research*, 226(June), 119213. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119213>
- Zeme, S., Varni, M., Entraigas, I., & Vercelli, N. (2014). *Comportamiento del nivel freático a lo largo de una transecta en un área llana de pastizales naturales en la cuenca del arroyo del Azul*.
- Zhang, Y., Chen, Z., Huang, G., & Yang, M. (2023). Origins of groundwater nitrate in a typical alluvial-pluvial plain of North China plain : New insights from groundwater age-dating and isotopic fingerprinting. *Environmental Pollution*, 316(P2), 120592. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120592>
- Zhu, X., Miao, P., Qin, J., Li, W., Wang, L., & Chen, Z. (2023). Spatio-temporal variations of nitrate pollution of groundwater in the intensive agricultural region :

Hotspots and driving forces. *Journal of Hydrology*, 623(February), 129864.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129864>

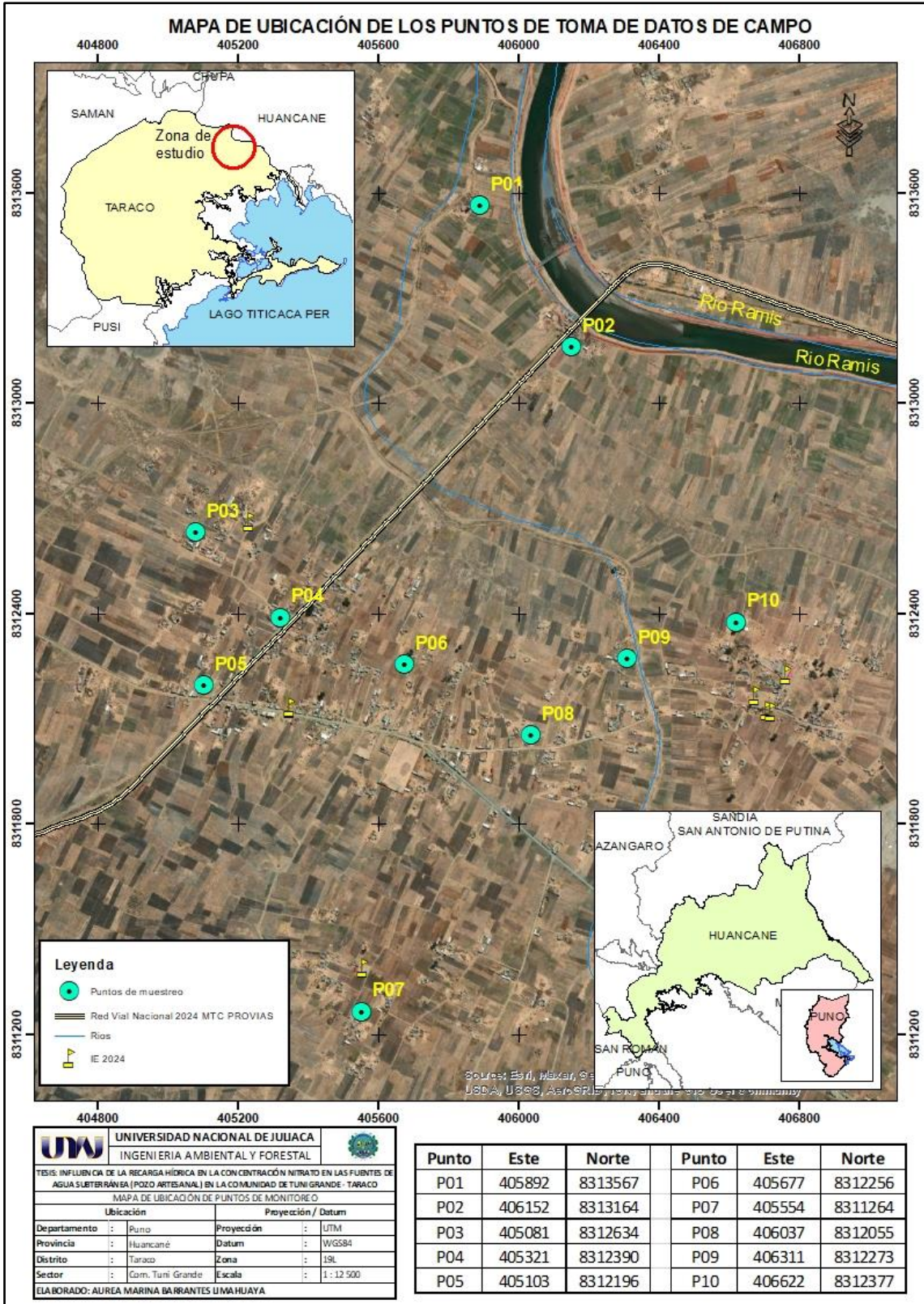
Zúñiga-ruíz, P., Amaro-espejo, I. A., & Reyes-velázquez, R. D. G. B. C. (2024).
Evaluación de la Calidad del Agua Subterránea Cercana a un Relleno Sanitario
Evaluation of Groundwater Quality Close to a Sanitary Landfill. 1–10.

Zuo, R., Zheng, S., Liu, X., Wu, G., Wang, S., & Wang, J. (2023). Groundwater table fluctuation: A driving force affecting nitrogen transformation in nitrate-contaminated groundwater. *Journal of Hydrology*, 621(May), 129606.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129606>

ANEXOS

Anexo 1. *Mapa de ubicación de los puntos de toma de datos de campo*

MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE TOMA DE DATOS DE CAMPO



Leyenda

- Puntos de muestreo
- Red Vial Nacional 2024 MTC PROVIAS
- Rios
- IE 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL

TESIS: INFLUENCIA DE LA RECARGA HIDRICA EN LA CONCENTRACION NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD DE TUNI GRANDE- TARACO

MAPA DE UBICACION DE PUNTOS DE MONITOREO

Ubicación		Proyección / Datum	
Departamento	: Puno	Proyección	: UTM
Provincia	: Huancané	Datum	: WGS84
Distrito	: Taraco	Zona	: 19L
Sector	: Com. Tuní Grande	Escala	: 1 : 12.500

ELABORADO: AURORA MARINA BARRANTES UMAHUAYA

Punto	Este	Norte	Punto	Este	Norte
P01	405892	8313567	P06	405677	8312256
P02	406152	8313164	P07	405554	8311264
P03	405081	8312634	P08	406037	8312055
P04	405321	8312390	P09	406311	8312273
P05	405103	8312196	P10	406622	8312377

Anexo 2. *Registro fotográfico en la época de estiaje*



Figura 11. *Medición de los parámetros de campo*



Figura 12. *Toma de muestreo de agua de las fuentes de aguas subterráneas*



Figura 13. *Preservación de las muestras para el envío al laboratorio*



Figura 14. *Medición de la capacidad de infiltración del suelo*

Anexo 3. *Registro fotográfico en la época de avenida*



Figura 15. *Medición de los parámetros de campo*



Figura 16. *Determinación de parámetros de campo*



Figura 17. *Desinfección del medidor de parámetros de campo*



Figura 18. *Almacenamiento de las muestras*



Figura 19. *Medición del nivel freático en avenida*



Figura 20. *Nivelación para la medición de capacidad de infiltración del suelo*



Figura 21. *Medición de la capacidad de infiltración del suelo*



Figura 22. *Registro de la capacidad de infiltración del suelo*

Anexo 4. *Informe de laboratorio de la concentración de nitrato en estiaje*



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : F2E213CB

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-23-00048

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 1 de 3

Señores : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA
Dirección : COMUNIDAD TUNI GRANDE, DISTRITO TARACO, PROVINCIA DE HUANCANÉ, DEPARTAMENTO PUNO
Atención : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA
Proyecto : INFLUENCIA DE LA RECARGA HÍDRICA EN LA CONCENTRACION NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD DE TUNI GRANDE - TARACO.

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA **Fecha de recepción** : 30/10/2023
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 237-23 **Fecha de ensayo** : 30/10/2023
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente **Nro de muestras** : 10

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000735	P01 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405892E ; 8313567N 19L	29/10/2023	14:09
AG23000736	P02 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406152E ; 8313164N 19L	29/10/2023	14:28
AG23000737	P03 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405081E ; 8312634N 19L	29/10/2023	14:58
AG23000738	P04 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405321E ; 8312390N 19L	29/10/2023	15:12
AG23000739	P05 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405103E ; 8312196N 19L	29/10/2023	15:34
AG23000740	P06 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405677E ; 8312256N 19L	29/10/2023	15:49
AG23000741	P07 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405554E ; 8311264N 19L	29/10/2023	16:13
AG23000742	P08 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406037E ; 8312055N 19L	29/10/2023	16:31
AG23000743	P09 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406311E ; 8312273N 19L	29/10/2023	16:46
AG23000744	P10 AGUA SUBTERRÁNEA (POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406622E ; 8312377N 19L	29/10/2023	17:02
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
-						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico, OIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA PE: 2/11/2023 17:51:17

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b"<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : F2E213CB

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-23-00048

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*3093 NO ₃ ⁻ mg/L
AG23000735	P01 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	9,62
AG23000736	P02 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	18,46
AG23000737	P03 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	186,3
AG23000738	P04 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	143,6
AG23000739	P05 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	8484
AG23000740	P06 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	116,9
AG23000741	P07 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	159,4
AG23000742	P08 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	97,10
AG23000743	P09 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	70,30
AG23000744	P10 AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL)	108,6

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA.PE.: 2/11/2023 17:51:17


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a" <Valor numérico> = Límite de detección del método, "b" <Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú, (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : F2E213CB

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-23-00048

Fecha de emisión: 2/11/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
3093	Nitratos. SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 4500-NO3- C, 24th Ed. Nitrogen (Nitrate). Second-Derivative Ultraviolet Spectrophotometric Method.	[0.2 - 1100] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA.PE. 2/11/2023 17:51:17

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)4444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 5. *Informe de laboratorio de la concentración de nitrato en avenida*



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 5329E841

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-24-00008

Fecha de emisión: 18/3/2024

Página 1 de 3

Señores : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA
Dirección : COMUNIDAD TUNI GRANDE, DISTRITO TARACO, PROVINCIA DE HUANCANE, DEPARTAMENTO PUNO
Atención : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA
Proyecto : INFLUENCIA DE LA RECARGA HIDRICA EN LA CONCENTRACION NITRATO EN LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA (POZO ARTESANAL) EN LA COMUNIDAD DE TUNI GRANDE - TARACO

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : AUREA MARINA BARRANTES LIMAHUAYA **Fecha de recepción** : 12/3/2024
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 046-24 **Fecha de ensayo** : 12/3/2024
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente **Nro de muestras** : 10

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG24000148	P01 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405892E; 8313567N 19 L	11/3/2024	15:09
AG24000149	P02 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406152E; 8313164N 19 L	11/3/2024	15:28
AG24000150	P03 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405081E; 8312634N 19 L	11/3/2024	15:40
AG24000151	P04 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405321E; 8312390N 19 L	11/3/2024	15:51
AG24000152	P05 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405103E; 8312196N 19 L	11/3/2024	16:05
AG24000153	P06 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405677E; 8312256N 19 L	11/3/2024	16:19
AG24000154	P07 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	405554E ; 8311264N 19L	11/3/2024	16:40
AG24000155	P08 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406037E; 8312055N 19L	11/3/2024	17:05
AG24000156	P09 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406311E; 8312273N 19 L	11/3/2024	17:14
AG24000157	P10 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	COMUNIDAD TUNI GRANDE / TARACO / HUANCANE / PUNO	406622E; 8312377N 19 L	11/3/2024	17:30
Condiciones de recepción de la muestra						
Cooler refrigerado						
Observación						
Datos proporcionados por el cliente.						

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico, OIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA PE: 18972024 145754

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b"<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 5329E841

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-24-00008

Fecha de emisión: 18/3/2024

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*3093
		NO ₃ ⁻ mg/L
AG24000148	P01 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	7,55
AG24000149	P02 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	15,98
AG24000150	P03 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	107,8
AG24000151	P04 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	158,4
AG24000152	P05 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	112,0
AG24000153	P06 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	87,81
AG24000154	P07 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	132,9
AG24000155	P08 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	79,54
AG24000156	P09 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	62,96
AG24000157	P10 AGUA SUBTERRANEA(POZO ARTESANAL)	94,71

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA PE: 18/3/2024 14:57:54


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

^a<Valor numérico>=Limite de detección del método, ^b<Valor Numérico>=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú, (054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 5329E841

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-24-00008

Fecha de emisión: 18/3/2024

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*3093	Nitrosos. SMEVW - Apha - AWWA - WEF Part 4500-NO3- C, 24th Ed. Nitrogen (Nitrate), Second-Derivative Ultraviolet Spectrophotometric Method.	[0.2 - 1100] mg/L

a : Límite de detección

b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc., Ingeniero Químico OIP 114426, Emisor de certificado, LLAMA PE, 18/3/2024 14:57:54

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)4444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 6. *Normatividad de límites máximos permisibles*

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

DS N° 031-2010-SA

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

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

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS**

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

Anexo 7. Operacionalización de variables

Tabla 34
Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independientes	Medida del nivel freático	Variación del nivel freático	m
Nivel Freático	Capacidad de Infiltración	Velocidad de Infiltración	cm/h
Precipitación	En época estiaje y avenida	Precipitación	mm/día
Dependiente	Niveles de concentración de nitrato	Concentración de nitrato en las fuentes de agua subterránea (Pozo artesanal)	mg/L

Anexo 8. *Resumen de resultados de datos de la investigación*

Tabla 35*Parámetros de medición in situ en la época de estiaje*

Punto	pH* (Valor de pH)	Temperatura* (°C)	Conductividad* (µmho/cm)	Sólidos disueltos totales* (mg/L)
P01	7.70	14.50	590	299.40
P02	7.31	15.15	940	469.06
P03	7.19	14.40	3940	1966.06
P04	7.04	15.00	2290	1137.72
P05	7.39	14.20	1780	888.22
P06	6.78	15.50	4270	2125.74
P07	6.71	15.90	6260	3113.76
P08	7.15	18.9	4540	2265.46
P09	6.83	13.4	2770	1377.24
P10	6.93	17.3	4770	2375.24

* Parámetros determinado con equipo de medidor para pH/EC/TDS/°C MULTIP. IMPRR (COMBO), marca Hanna instruments

Tabla 36*Parámetros de medición in situ en la época de avenida*

Punto	pH* (Valor de pH)	Temperatura* (°C)	Conductividad* (µmho/cm)	Sólidos disueltos totales* (mg/L)
P01	7.64	15.2	750	379.24
P02	7.25	14.7	1070	538.92
P03	7.36	13.8	3220	1616.76
P04	7.47	14.7	2360	1227.54
P05	7.18	14.2	2480	1247.50
P06	6.79	14.9	4830	2415.16
P07	6.88	15.4	6370	3173.64
P08	7.11	14.8	4120	2115.76
P09	6.91	14.2	2670	1337.32
P10	6.95	14.1	4290	2155.68

* Parámetros determinado con equipo de medidor para pH/EC/TDS/°C MULTIP. IMPRR (COMBO), marca Hanna instruments

Tabla 37*Concentración de nitratos en época de estiaje y avenida*

Punto	Nitratos (NO₃⁻) en época		Unidad
	Estiaje	Avenida	
P01	9.62	7.55	mg/L
P02	18.46	15.98	mg/L
P03	186.3	107.8	mg/L
P04	143.6	158.4	mg/L
P05	8484	112	mg/L
P06	116.9	87.81	mg/L
P07	159.4	132.9	mg/L
P08	97.1	79.54	mg/L
P09	70.3	62.96	mg/L
P10	108.6	94.71	mg/L

Tabla 38*Nivel freático en época de estiaje y avenida*

Punto	Nivel freático pozo		Unidad
	Estiaje	Avenida	
P01	3.15	2.62	m
P02	2.73	1.97	m
P03	3.52	3.3	m
P04	4.68	4.5	m
P05	4.32	4.08	m
P06	7.68	7.5	m
P07	3.44	3.27	m
P08	3.51	3.4	m
P09	2.42	2.25	m
P10	5.57	5.41	m

Tabla 39*Infiltración promedio del suelo por el método de doble anillo*

Punto	Infiltración Promedio		Unidad
	Estiaje	Avenida	
P01	13	5	cm/h
P02	5	2	cm/h
P03	18	9	cm/h
P04	4	4	cm/h
P05	4	3	cm/h
P06	18	5	cm/h
P07	17	8	cm/h
P08	18	10	cm/h
P09	11	6	cm/h
P10	18	20	cm/h

Tabla 40*Precipitación en épocas de estiaje y avenida*

N°	MES	Precipitación	Unidad	Época
1	Mayo	0.96	mm/día	Estiaje
2	Junio	0.00	mm/día	
3	Julio	0.01	mm/día	
4	Agosto	0.00	mm/día	
5	Septiembre	0.37	mm/día	
6	Octubre	0.30	mm/día	
7	Noviembre	3.75	mm/día	
8	Diciembre	1.57	mm/día	Avenida
9	Enero	2.18	mm/día	
10	Febrero	3.79	mm/día	
11	Marzo	2.81	mm/día	
12	Abril	2.63	mm/día	

Anexo 9. *Registro de datos campo en la época de estiaje*

Tabla 41*Datos de infiltración y procesamiento del punto - P1 en estiaje*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
22.1		2.9	5	5	0.6	34.8	2.9
20.3		1.8	5	10	0.4	21.6	4.7
18.8		1.5	5	15	0.3	18	6.2
17.8		1	5	20	0.2	12	4.3
17		0.8	5	25	0.2	9.6	8
16.3	25	0.7	5	30	0.1	8.4	8.7
23.8		1.2	10	40	0.1	7.2	9.9
22.4		1.4	10	50	0.1	8.4	11.3
21.2		1.2	10	60	0.1	7.2	12.5
18.2		3	30	90	0.1	6	15.5
16.2		2	30	120	0.1	4	17.5

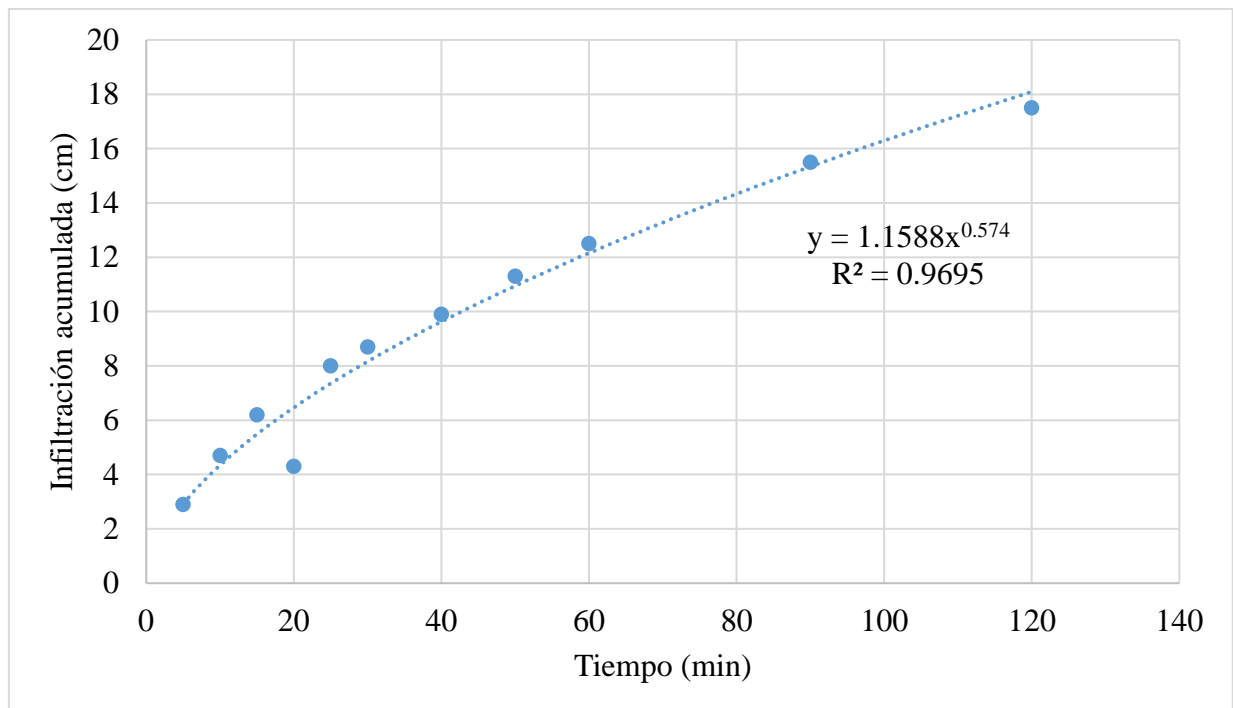
**Figura 23.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P1 en la época de estiaje*

Tabla 42

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P2 en estiaje

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
24		1	5	5	0.2	12	1
22.9		1.1	5	10	0.2	13.2	2.1
22.4		0.5	5	15	0.1	6	2.6
22		0.4	5	20	0.1	4.8	2
21.6		0.4	5	25	0.1	4.8	3.4
21.2		0.4	5	30	0.1	4.8	3.8
20.2		1	10	40	0.1	6	4.8
19.8		0.4	10	50	0.0	2.4	5.2
19.2		0.6	10	60	0.1	3.6	5.8
17.7		1.5	30	90	0.1	3	7.3
16.5		1.2	30	120	0.0	2.4	8.5

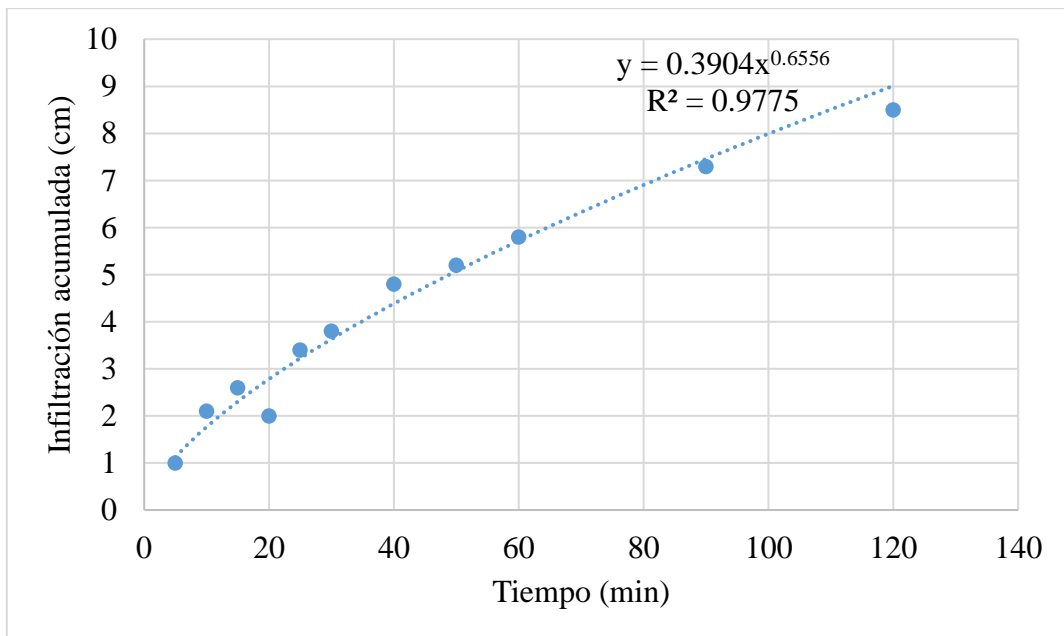


Figura 24. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P2 en estiaje*

Tabla 43*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P3 en estiaje*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
26							
22.4		3.6	5	5	0.7	43.2	3.6
19.5		2.9	5	10	0.6	34.8	6.5
17.3		2.2	5	15	0.4	26.4	8.7
15.3	26	2	5	20	0.4	24	7.1
24.2		1.8	5	25	0.4	21.6	12.5
21.9		2.3	5	30	0.5	27.6	14.8
20.5		1.4	10	40	0.1	8.4	16.2
17.9		2.6	10	50	0.3	15.6	18.8
14		3.9	10	60	0.4	23.4	22.7
7.8	26	6.2	30	90	0.2	12.4	28.9
21.9		4.1	30	120	0.1	8.2	33

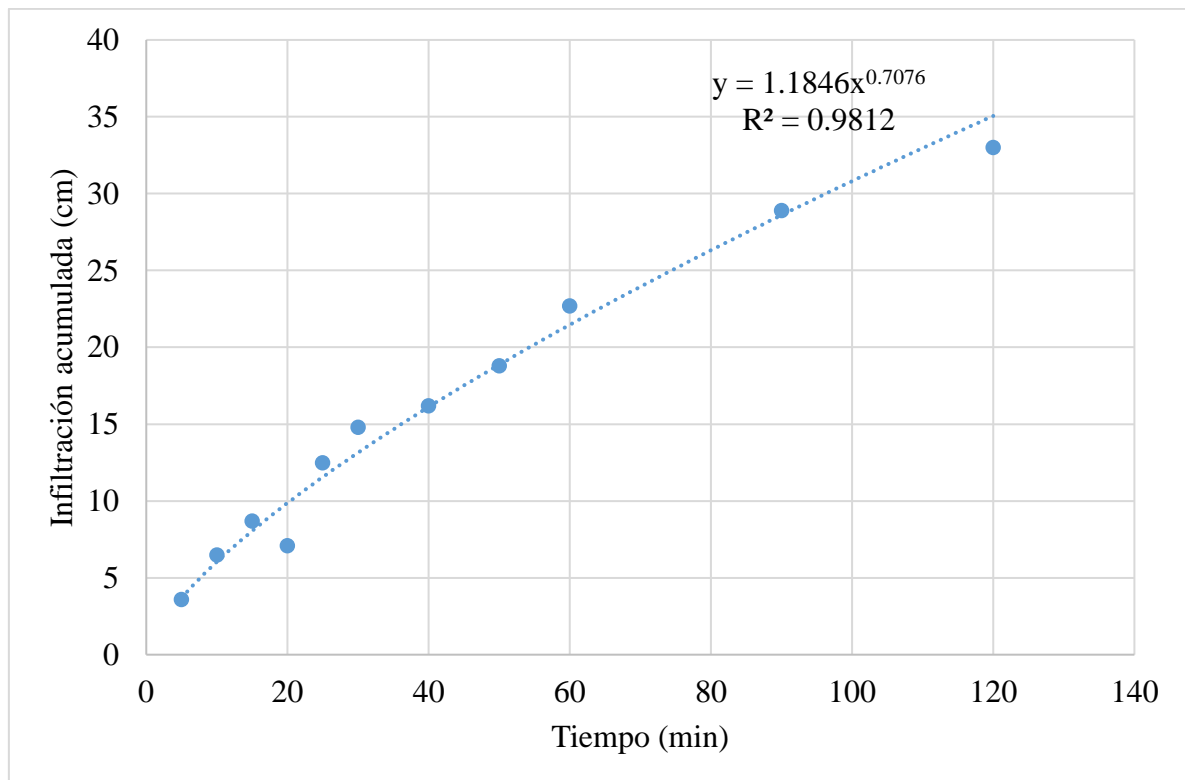
**Figura 25.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P3 en estiaje*

Tabla 44

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P4 en estiaje

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23.5		1.5	5	5	0.3	18	1.5
23.3		0.2	5	10	0.0	2.4	1.7
22.5		0.8	5	15	0.2	9.6	2.5
22.1		0.4	5	20	0.1	4.8	1.4
21.9		0.2	5	25	0.0	2.4	3.1
21.4		0.5	5	30	0.1	6	3.6
21		0.4	10	40	0.0	2.4	4
20.4		0.6	10	50	0.1	3.6	4.6
19.7		0.7	10	60	0.1	4.2	5.3
18.4		1.3	30	90	0.0	2.6	6.6
17.2		1.2	30	120	0.0	2.4	7.8

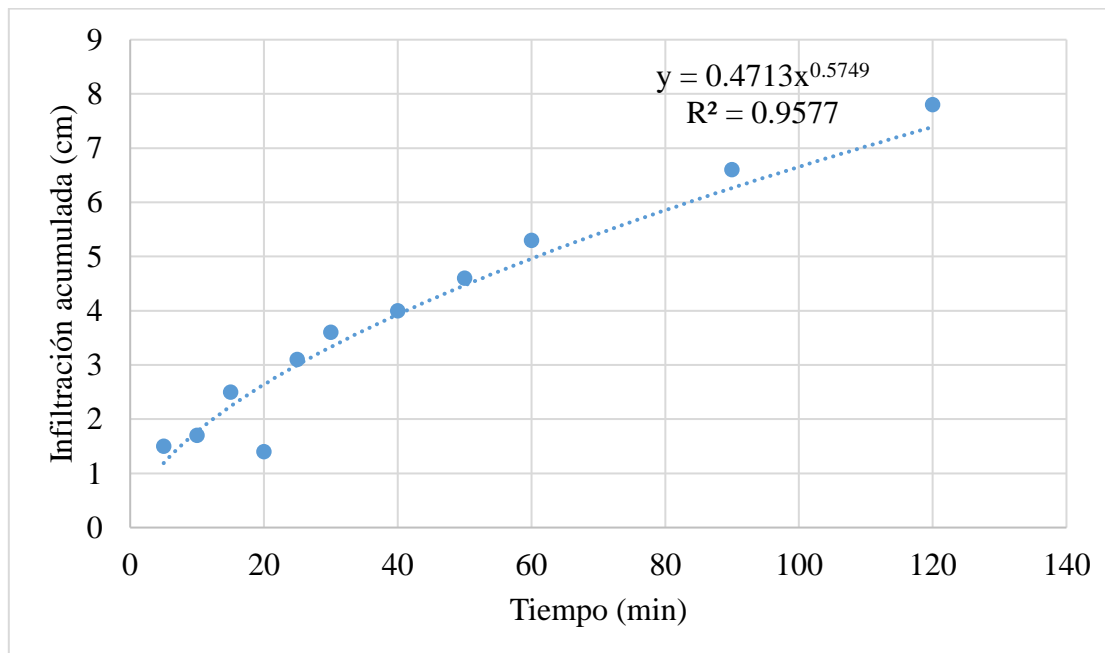


Figura 26. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P4 en estiaje*

Tabla 45

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P5 en estiaje

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23.5		1.5	5	5	0.3	18	1.5
23.2		0.3	5	10	0.1	3.6	1.8
22.7		0.5	5	15	0.1	6	2.3
22.4		0.3	5	20	0.1	3.6	1.1
21.9		0.5	5	25	0.1	6	3.1
21.6		0.3	5	30	0.1	3.6	3.4
21		0.6	10	40	0.1	3.6	4
20.5		0.5	10	50	0.1	3	4.5
19.9		0.6	10	60	0.1	3.6	5.1
18.7		1.2	30	90	0.0	2.4	6.3
17.5		1.2	30	120	0.0	2.4	7.5

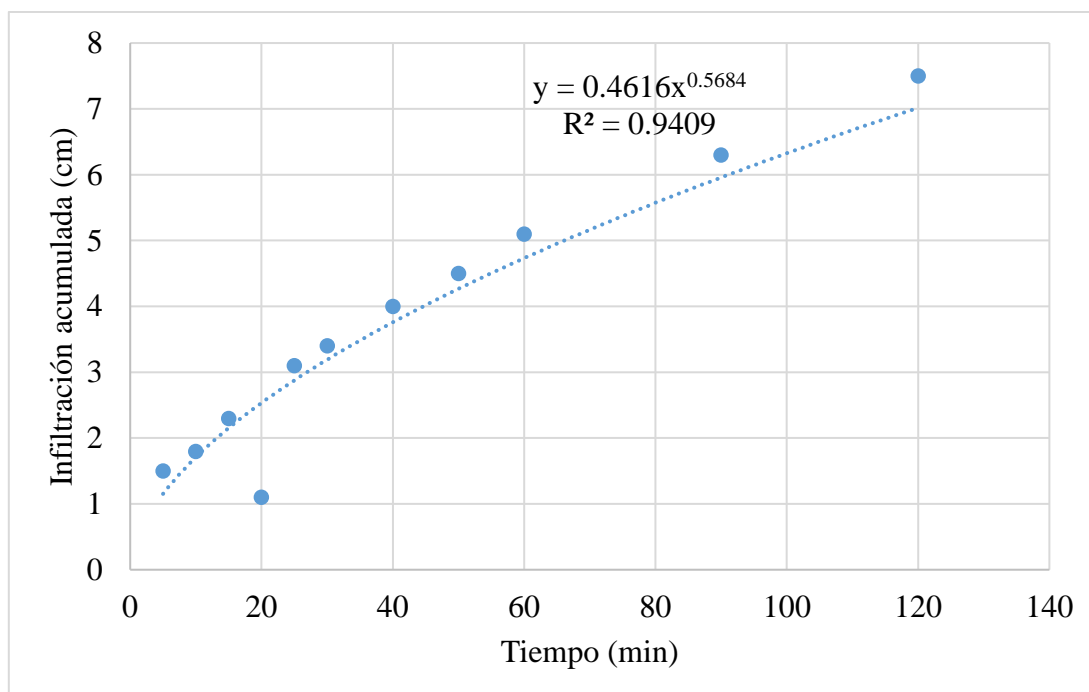


Figura 27. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P5 en estiaje*

Tabla 46*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P6 en estiaje*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
21.8		3.2	5	5	0.6	38.4	3.2
19.5		2.3	5	10	0.5	27.6	5.5
17.5		2	5	15	0.4	24	7.5
15.8		1.7	5	20	0.3	20.4	6
14.4	25	1.4	5	25	0.3	16.8	10.6
23.5		1.5	5	30	0.3	18	12.1
20.5		3	10	40	0.3	18	15.1
17.2		3.3	10	50	0.3	19.8	18.4
14.5	25	2.7	10	60	0.3	16.2	21.1
17		8	30	90	0.3	16	29.1
10.1		6.9	30	120	0.2	13.8	36

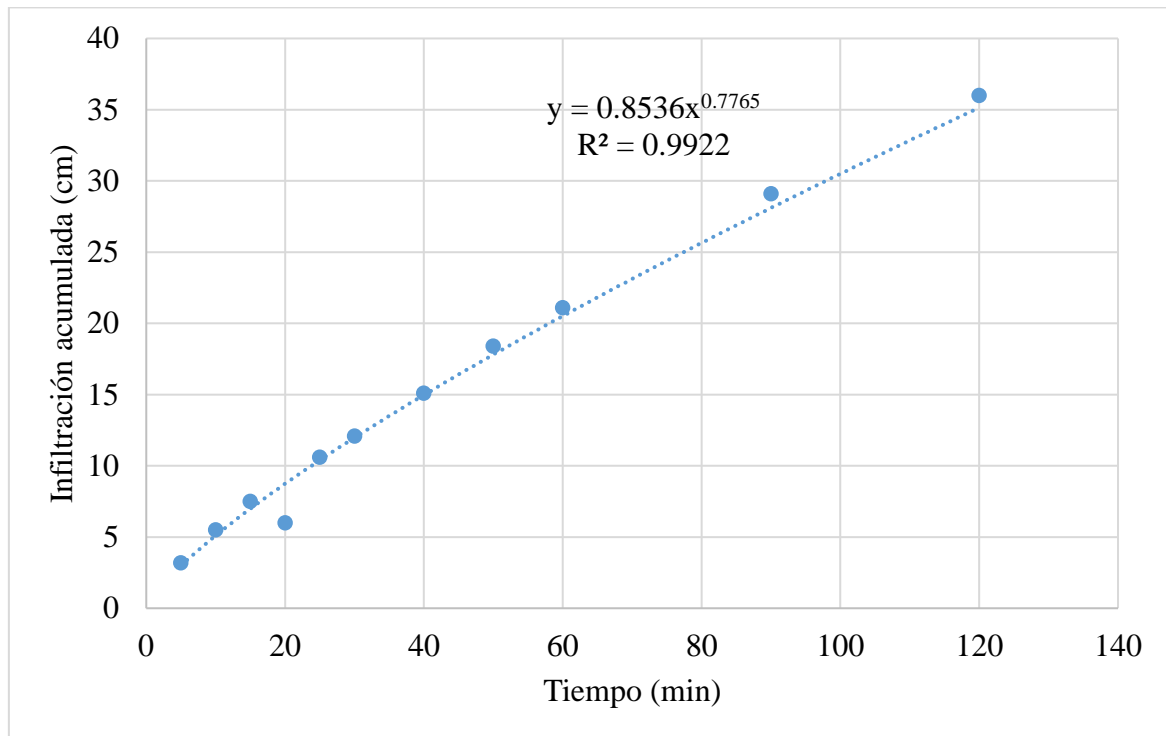
**Figura 28.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P6 en estiaje*

Tabla 47*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P7 en estiaje*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
21.6		3.4	5	5	0.7	40.8	3.4
19.2		2.4	5	10	0.5	28.8	5.8
17.6		1.6	5	15	0.3	19.2	7.4
15.7		1.9	5	20	0.4	22.8	5.9
14.3	25	1.4	5	25	0.3	16.8	10.7
23.3		1.7	5	30	0.3	20.4	12.4
20.3		3	10	40	0.3	18	15.4
17.1		3.2	10	50	0.3	19.2	18.6
14.3	25	2.8	10	60	0.3	16.8	21.4
18		7	30	90	0.2	14	28.4
12.6		5.4	30	120	0.2	10.8	33.8

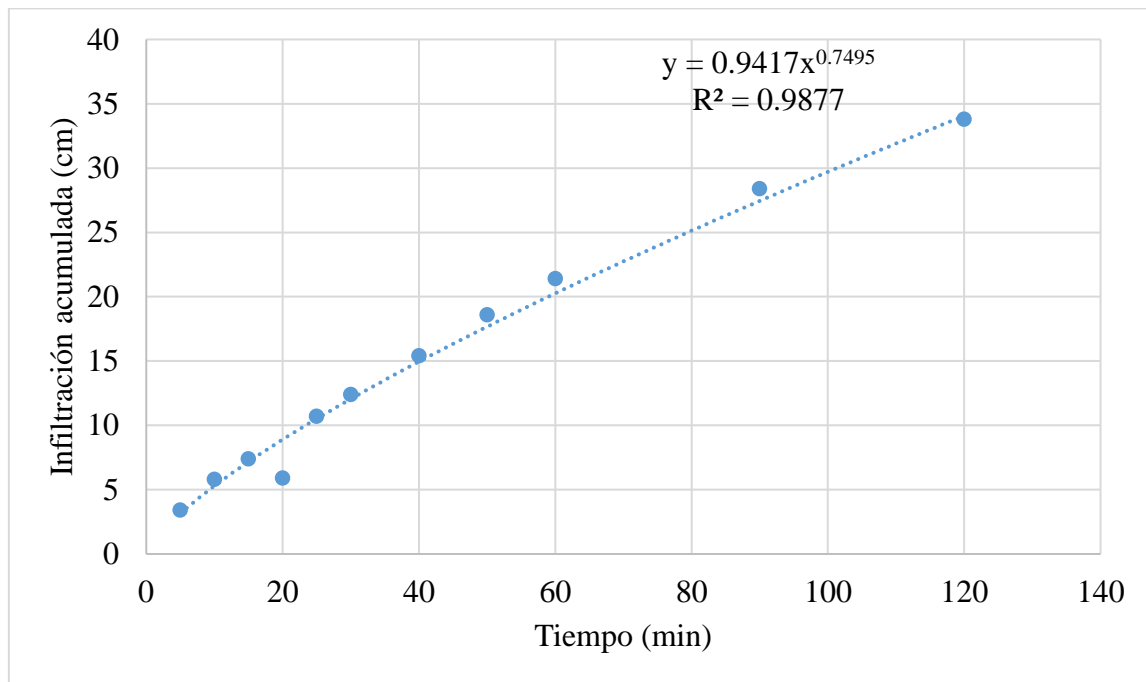
**Figura 29.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P7 en estiaje*

Tabla 48

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P8 en estiaje

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
22.2		2.8	5	5	0.6	33.6	2.8
18.7		3.5	5	10	0.7	42	6.3
16.9		1.8	5	15	0.4	21.6	8.1
15.4		1.5	5	20	0.3	18	6.8
14.1	25	1.3	5	25	0.3	15.6	10.9
23.6		1.4	5	30	0.3	16.8	12.3
20.5		3.1	10	40	0.3	18.6	15.4
16.5		4	10	50	0.4	24	19.4
14.1	25	2.4	10	60	0.2	14.4	21.8
17.8		7.2	30	90	0.2	14.4	29
13.2		4.6	30	120	0.2	9.2	33.6

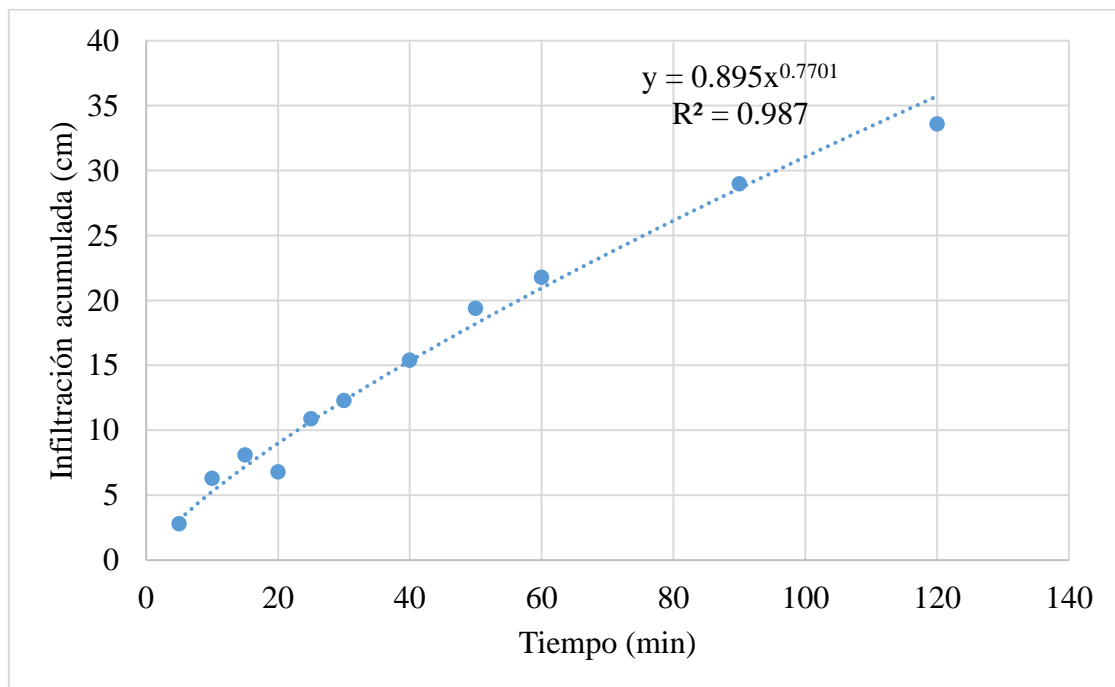


Figura 30. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P8 en estiaje*

Tabla 49*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P9 en estiaje*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
22.2		2.8	5	5	0.6	33.6	2.8
20.8		1.4	5	10	0.3	16.8	4.2
19.5		1.3	5	15	0.3	15.6	5.5
18.7		0.8	5	20	0.2	9.6	3.5
17.7		1	5	25	0.2	12	7.3
16.7	25	1	5	30	0.2	12	8.3
23.2		1.8	10	40	0.2	10.8	10.1
21.2		2	10	50	0.2	12	12.1
19.4		1.8	10	60	0.2	10.8	13.9
13.9		5.5	30	90	0.2	11	19.4
10.1		3.8	30	120	0.1	7.6	23.2

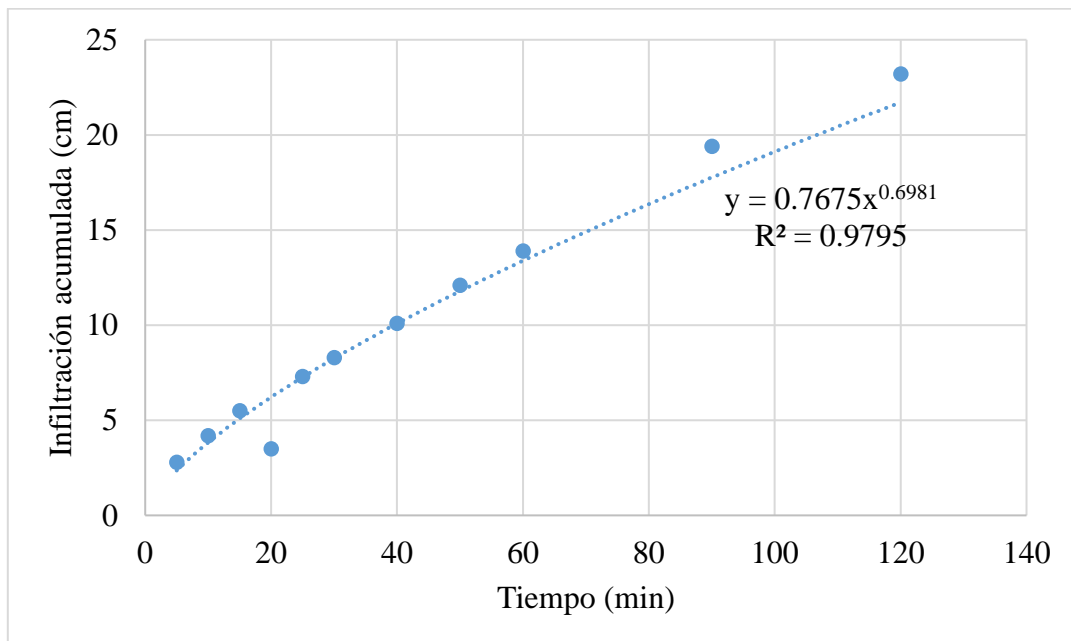
**Figura 31.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P9 en estiaje*

Tabla 50

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P10 en estiaje

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25			0				
22.7		2.3	5	5	0.5	27.6	2.3
22		0.7	5	10	0.1	8.4	3
21.1		0.9	5	15	0.2	10.8	3.9
19.9		1.2	5	20	0.2	14.4	2.8
18.8		1.1	5	25	0.2	13.2	6.2
18		0.8	5	30	0.2	9.6	7
16.2		1.8	10	40	0.2	10.8	8.8
15	25	1.2	10	50	0.1	7.2	10
24.1		0.9	10	60	0.1	5.4	10.9
19.5		4.6	30	90	0.2	9.2	15.5
16.3		3.2	30	120	0.1	6.4	18.7

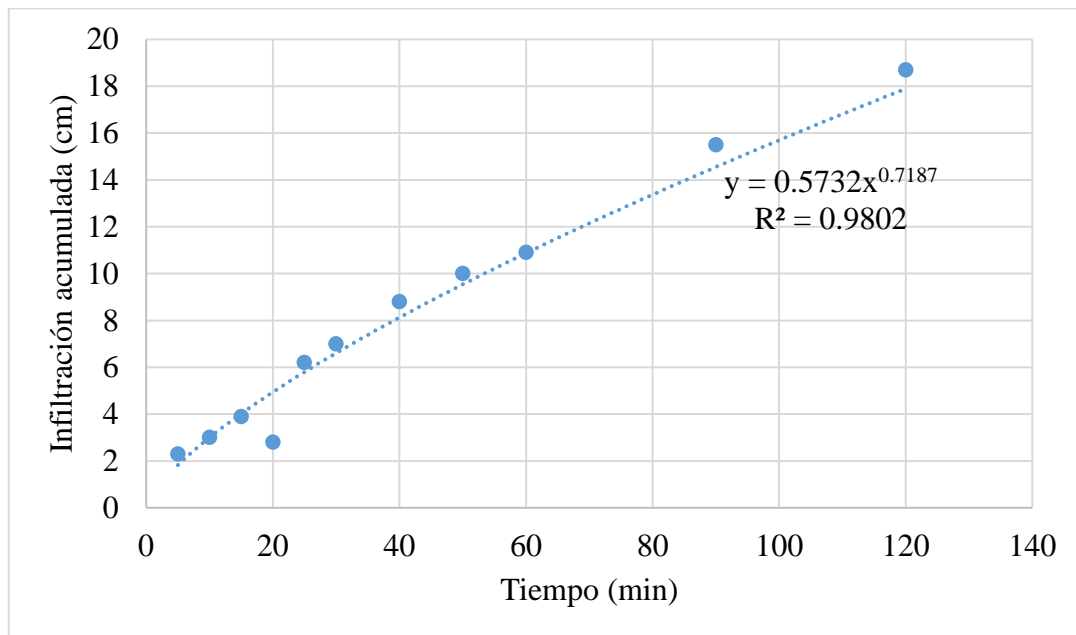


Figura 32. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P10 en estiaje*

Anexo 10. *Registro de datos en campo en la época de avenida*

Tabla 51*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P1 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
24.1		0.9	5	5	0.2	10.8	0.9
23		1.1	5	10	0.2	13.2	2
22.5		0.5	5	15	0.1	6	2.5
22		0.5	5	20	0.1	6	2.1
21.6		0.4	5	25	0.1	4.8	3.4
21.2		0.4	5	30	0.1	4.8	3.8
20.6		0.6	10	40	0.1	3.6	4.4
20.1		0.5	10	50	0.1	3	4.9
19.5		0.6	10	60	0.1	3.6	5.5
18		1.5	30	90	0.1	3	7
17.3		0.7	30	120	0.0	1.4	7.7

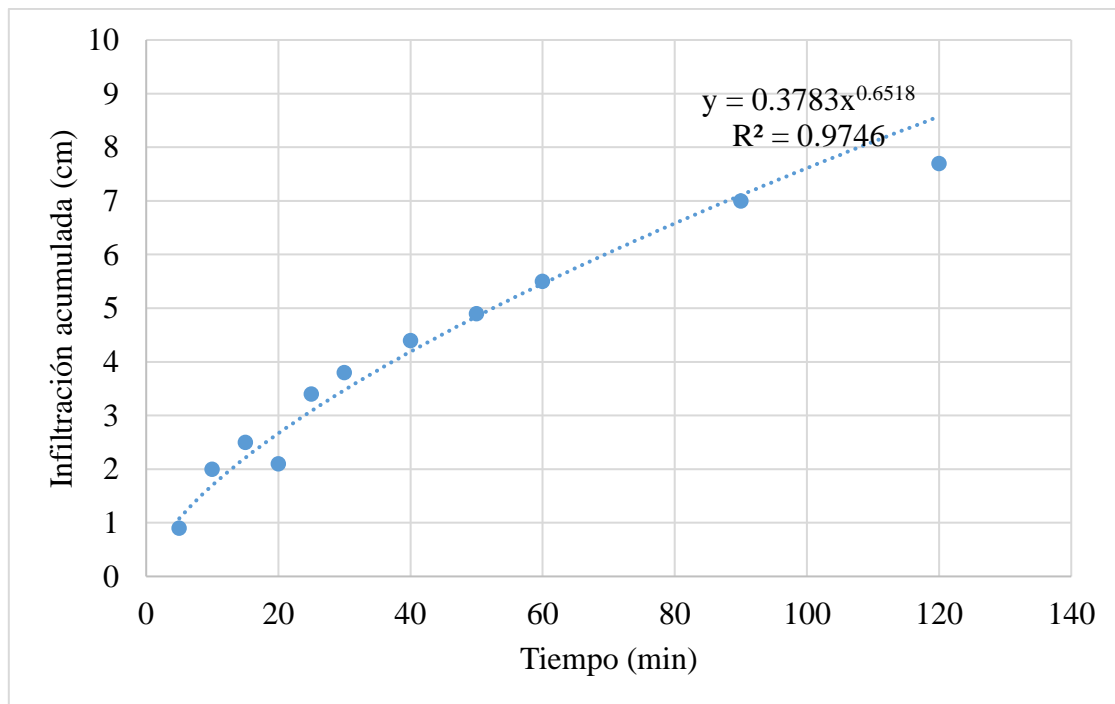
**Figura 33.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P1 en avenida*

Tabla 52*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P2 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
24.9		0.1	5	5	0.0	1.2	0.1
24.7		0.2	5	10	0.0	2.4	0.3
24.5		0.2	5	15	0.0	2.4	0.5
24.3		0.2	5	20	0.0	2.4	0.6
24.1		0.2	5	25	0.0	2.4	0.9
23.9		0.2	5	30	0.0	2.4	1.1
23.6		0.3	10	40	0.0	1.8	1.4
23.3		0.3	10	50	0.0	1.8	1.7
22.7		0.6	10	60	0.1	3.6	2.3
21.9		0.8	30	90	0.0	1.6	3.1
21.5		0.4	30	120	0.0	0.8	3.5

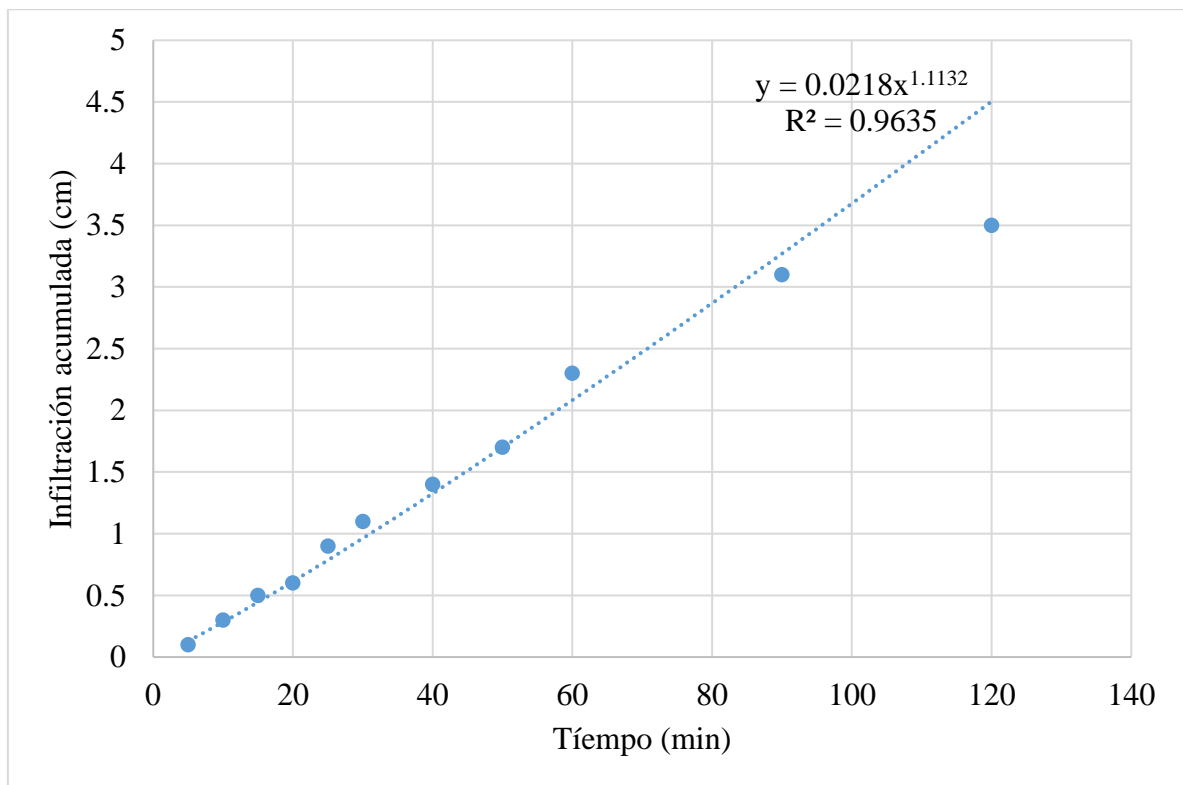
**Figura 34.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P2 en avenida*

Tabla 53

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P3 en avenida

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
24							
22.2		1.8	5	5	0.4	21.6	1.8
21.9		0.3	5	10	0.1	3.6	2.1
20		1.9	5	15	0.4	22.8	4
19.3		0.7	5	20	0.1	8.4	2.9
18.1		1.2	5	25	0.2	14.4	5.9
17.5		0.6	5	30	0.1	7.2	6.5
15.8	20.5	1.7	10	40	0.2	10.2	8.2
19.6		0.9	10	50	0.1	5.4	9.1
18.2		1.4	10	60	0.1	8.4	10.5
14.3		3.9	30	90	0.1	7.8	14.4
12.3		2	30	120	0.1	4	16.4

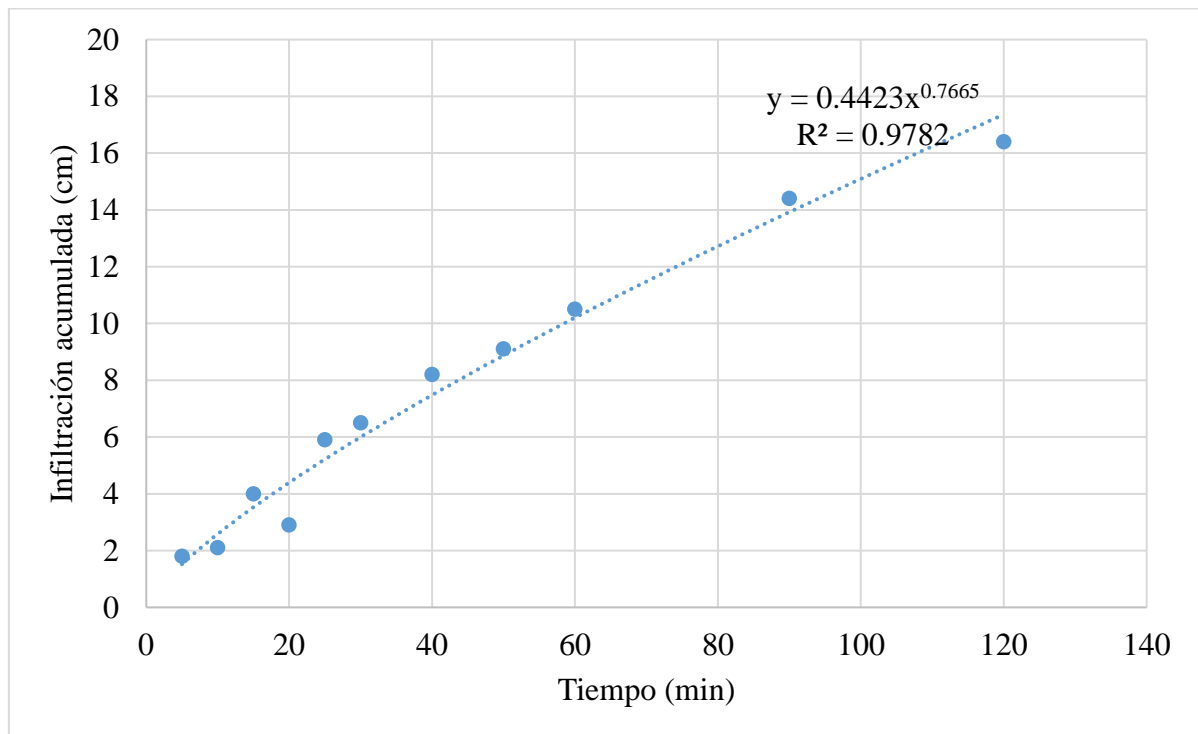


Figura 35. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P3 en avenida

Tabla 54*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P4 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
24.3		0.7	5	5	0.1	8.4	0.7
23.8		0.5	5	10	0.1	6	1.2
23.2		0.6	5	15	0.1	7.2	1.8
22.4		0.8	5	20	0.2	9.6	1.9
22.1		0.3	5	25	0.1	3.6	2.9
21.8		0.3	5	30	0.1	3.6	3.2
21.6		0.2	10	40	0.0	1.2	3.4
21.2		0.4	10	50	0.0	2.4	3.8
20.6		0.6	10	60	0.1	3.6	4.4
19.8		0.8	30	90	0.0	1.6	5.2
19.3		0.5	30	120	0.0	1	5.7

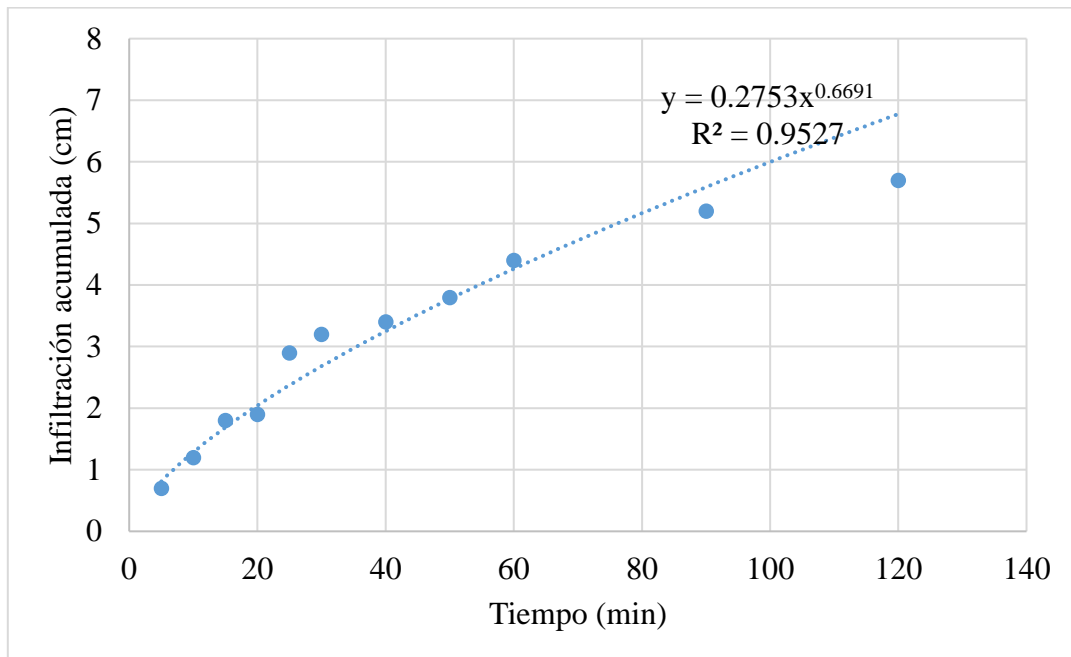
**Figura 36.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P4 en avenida*

Tabla 55

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P5 en avenida

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
24.5		0.5	5	5	0.1	6	0.5
24.1		0.4	5	10	0.1	4.8	0.9
23.6		0.5	5	15	0.1	6	1.4
23.2		0.4	5	20	0.1	4.8	1.3
22.8		0.4	5	25	0.1	4.8	2.2
22.5		0.3	5	30	0.1	3.6	2.5
22		0.5	10	40	0.1	3	3
21.8		0.2	10	50	0.0	1.2	3.2
21.6		0.2	10	60	0.0	1.2	3.4
21		0.6	30	90	0.0	1.2	4
20.8		0.2	30	120	0.0	0.4	4.2

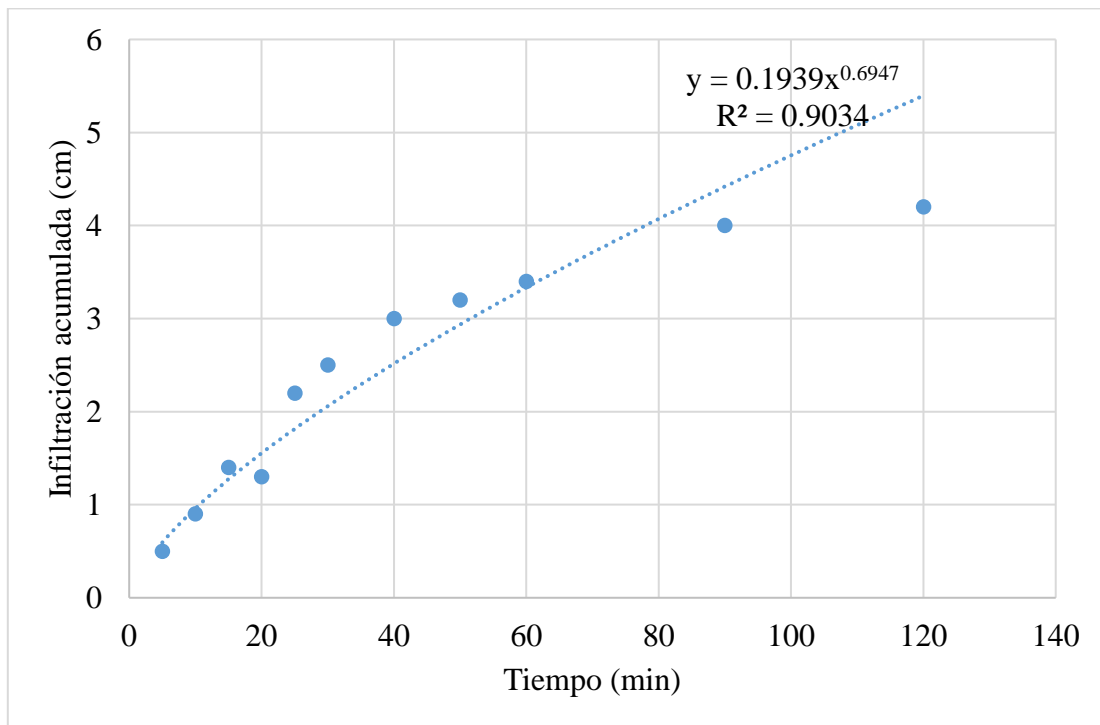


Figura 37. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P5 en avenida*

Tabla 56*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P6 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23		2	5	5	0.4	24	2
22.6		0.4	5	10	0.1	4.8	2.4
22		0.6	5	15	0.1	7.2	3
21.8		0.2	5	20	0.0	2.4	1.2
21.1		0.7	5	25	0.1	8.4	3.9
20.6		0.5	5	30	0.1	6	4.4
20		0.6	10	40	0.1	3.6	5
19.5		0.5	10	50	0.1	3	5.5
18.4		1.1	10	60	0.1	6.6	6.6
17		1.4	30	90	0.0	2.8	8
15.9		1.1	30	120	0.0	2.2	9.1

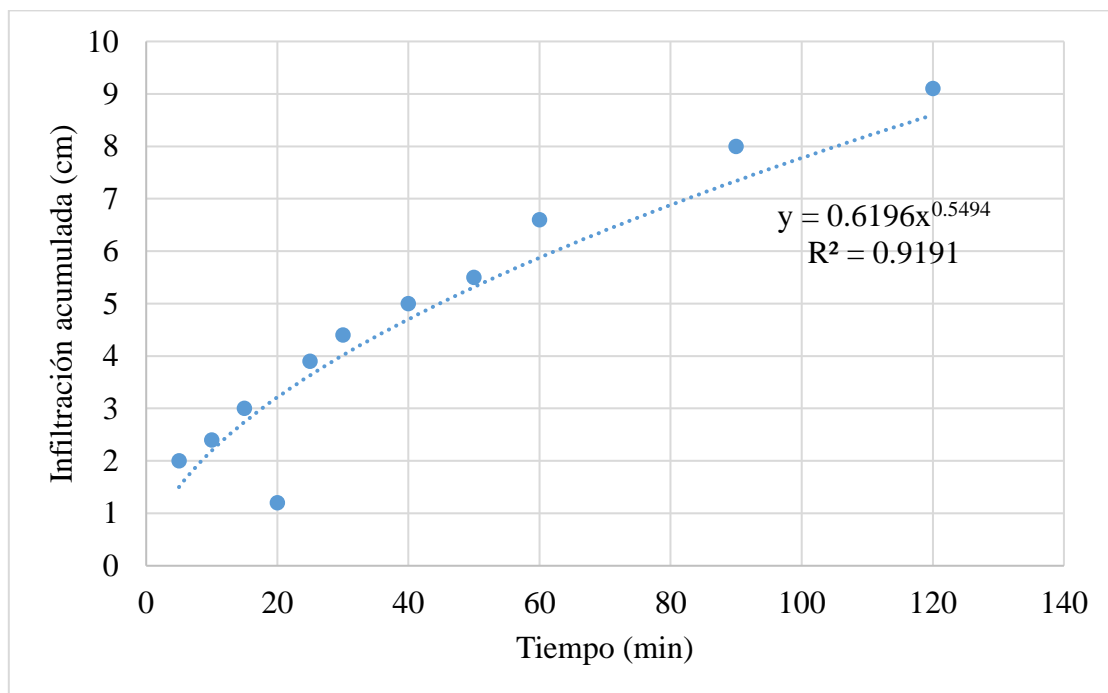
**Figura 38.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P6 en avenida*

Tabla 57

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P7 en avenida

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23.3		1.7	5	5	0.3	20.4	1.7
22.2		1.1	5	10	0.2	13.2	2.8
21.4		0.8	5	15	0.2	9.6	3.6
20.6		0.8	5	20	0.2	9.6	2.7
19.9		0.7	5	25	0.1	8.4	5.1
19.5		0.4	5	30	0.1	4.8	5.5
18		1.5	10	40	0.2	9	7
16.6		1.4	10	50	0.1	8.4	8.4
15.1	25	1.5	10	60	0.2	9	9.9
21.4		3.6	30	90	0.1	7.2	13.5
18.7		2.7	30	120	0.1	5.4	16.2

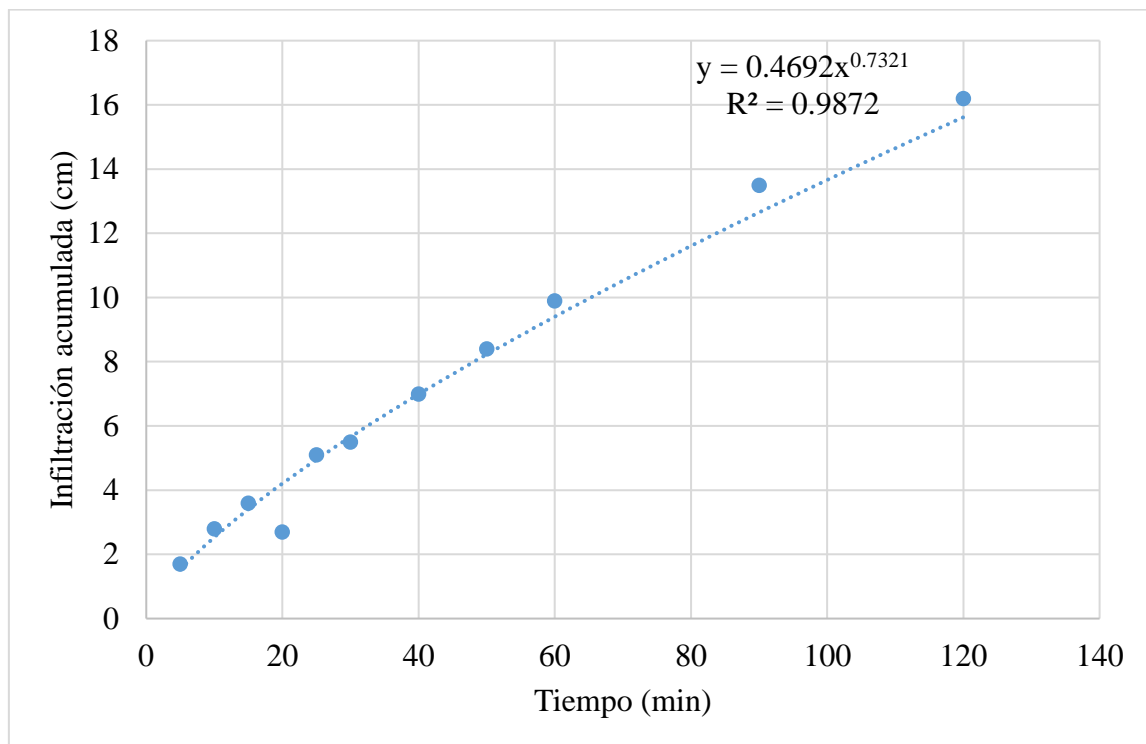


Figura 39. Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P7 en avenida

Tabla 58

Datos de infiltración y procesamiento del punto – P8 en avenida

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23.6		1.4	5	5	0.3	16.8	1.4
21.85		1.75	5	10	0.4	21	3.15
20.95		0.9	5	15	0.2	10.8	4.05
20.3		0.65	5	20	0.1	7.8	3.3
19.6		0.7	5	25	0.1	8.4	5.4
18.9		0.7	5	30	0.1	8.4	6.1
17.4		1.5	10	40	0.2	9	7.6
15		2.4	10	50	0.2	14.4	10
13.4	25	1.6	10	60	0.2	9.6	11.6
21.2		3.8	30	90	0.1	7.6	15.4
18.8		2.4	30	120	0.1	4.8	17.8

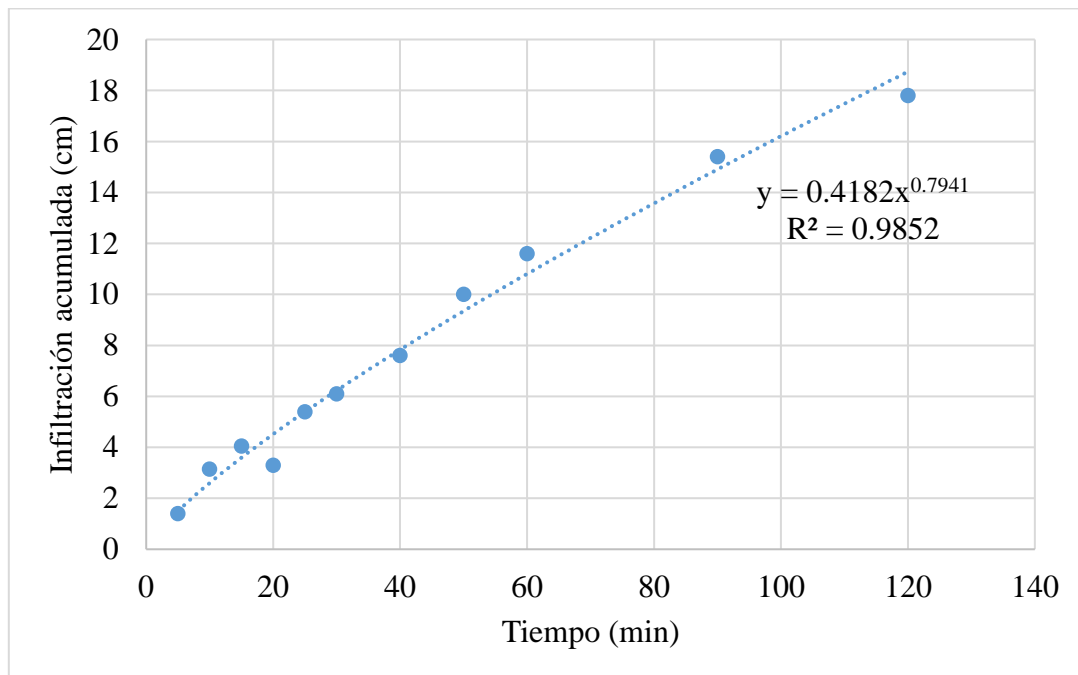


Figura 40. *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P8 en avenida*

Tabla 59*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P9 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
23.6		1.4	5	5	0.3	16.8	1.4
22.9		0.7	5	10	0.1	8.4	2.1
22.3		0.6	5	15	0.1	7.2	2.7
21.9		0.4	5	20	0.1	4.8	1.7
21.4		0.5	5	25	0.1	6	3.6
20.8		0.6	5	30	0.1	7.2	4.2
20		0.8	10	40	0.1	4.8	5
18.9		1.1	10	50	0.1	6.6	6.1
18.1		0.8	10	60	0.1	4.8	6.9
15.3		2.8	30	90	0.1	5.6	9.7
13.6		1.7	30	120	0.1	3.4	11.4

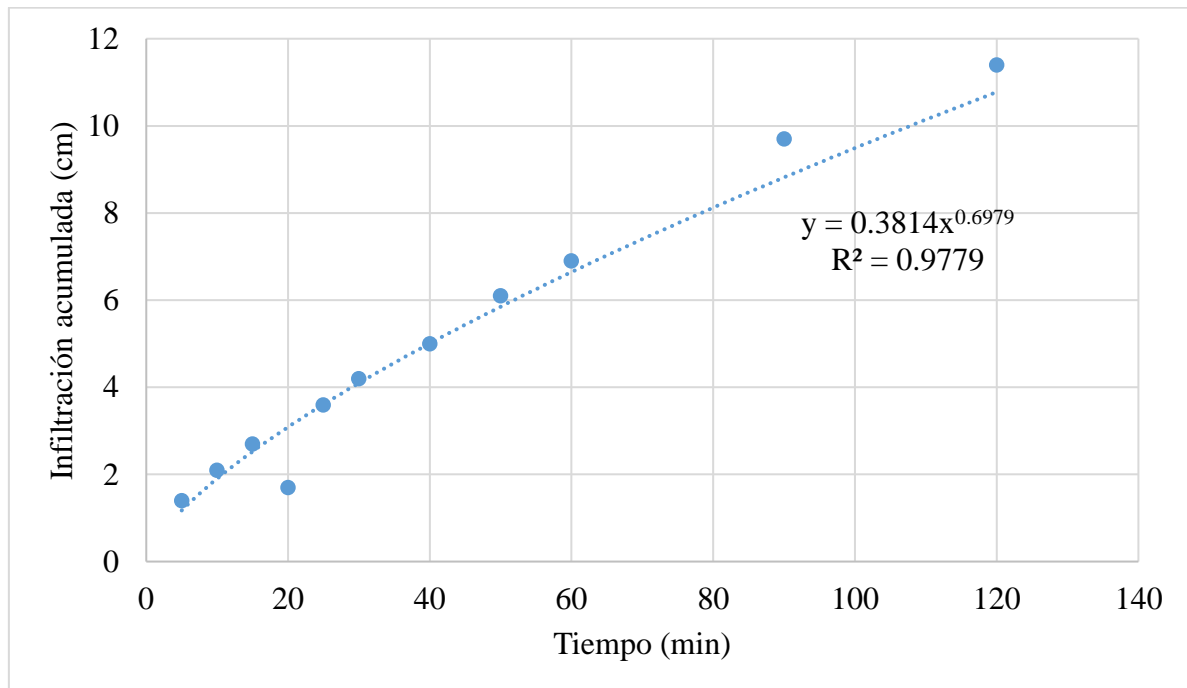
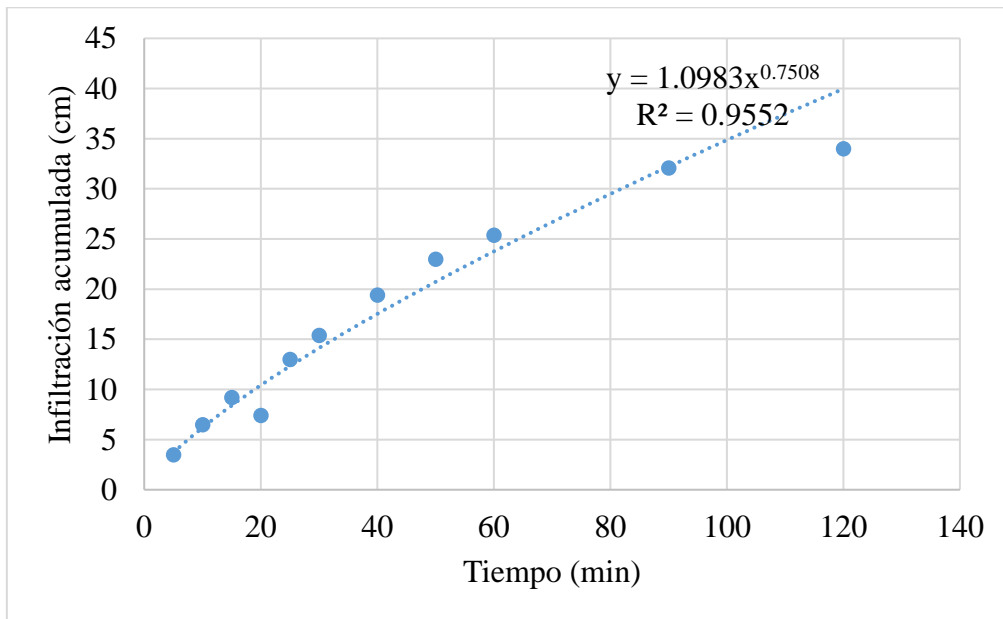
**Figura 41.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P9 en avenida*

Tabla 60*Datos de infiltración y procesamiento del punto – P10 en avenida*

Lectura (cm)	Relleno (cm)	Lámina parcial (cm)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración Instantánea (cm/min)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Lámina infiltrada Acumulada (cm)
25							
21.5		3.5	5	5	0.7	42	3.5
18.5		3	5	10	0.6	36	6.5
15.8		2.7	5	15	0.5	32.4	9.2
14.1		1.7	5	20	0.3	20.4	7.4
12	25	2.1	5	25	0.4	25.2	13
22.6		2.4	5	30	0.5	28.8	15.4
18.6		4	10	40	0.4	24	19.4
15		3.6	10	50	0.4	21.6	23
12.6		2.4	10	60	0.2	14.4	25.4
5.9	25	6.7	30	90	0.2	13.4	32.1
23.1		1.9	30	120	0.1	3.8	34

**Figura 42.** *Gráfico de la infiltración acumulada en el punto P10 en avenida*

UNW