

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**

“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y
CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
MICROCUENCA SAN IGNACIO, TIABAYA,
AREQUIPA 2024”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO GEOLOGO

Autores:

Nicolas Josein Rudas Diaz

Yampier Enrique Huaylla Valqui

Asesor:

Mg. Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez

<https://orcid.org/0000-0002-8033-2544>

Cajamarca - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	MIGUEL RICARDO PORTILLA CASTAÑEDA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	RICARDO JAVIER OCAS BOÑON
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	SHONEL MIGUEL CACERES PEREZ
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	11%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	www.doccity.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad de Almeria Trabajo del estudiante	<1%
6	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A mis hermanos y a mi madre que desde el cielo está guiando mi camino y sé que
está orgullosa de mis metas que estoy logrando alcanzar.

Yampier Huaylla

A mis padres, por su apoyo y sacrificio.

Nicolás Rudas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiar mi camino, a mis hermanos, en especial a mi hermana Jaky por guiarme, apoyarme y acompañarme en mi crecimiento profesional.

Yampier Huaylla

Agradezco a mis padres por todo su amor y por mostrarme el verdadero significado del trabajo, responsabilidad, y sacrificio.

Nicolás Rudas

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
Tabla de contenido.....	6
Índice de tablas.....	7
Índice de figuras.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. General.....	16
1.3.2. Específicos.....	16
1.4. Hipótesis.....	16
1.4.1. General.....	16
1.4.2. Específicas.....	17
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	18
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	29
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	40
Referencias.....	58
Anexos.....	65

Índice de tablas

Tabla 1 Resumen de zona de observación y RQD.....	34
Tabla 2 Resumen de datos generales de los piezómetros.	35
Tabla 3 Elementos traza que superan los ECA.....	55

Índice de figuras

Figura 1 Frasco de muestreo y rotulado de aguas subterráneas estandarizado por el laboratorio SGS.	25
Figura 2 Control de calidad de resultados de laboratorio CE vs TDS	26
Figura 3 EBI de muestras de aguas subterránea	27
Figura 4 Mapa de geología Regional.....	29
Figura 5 Geología local de la zona de estudio.	31
Figura 6 Litología en la zona de estudio.....	32
Figura 7 Condición y calidad representativa de las rocas superficiales encontradas.....	33
Figura 8 Resultados de análisis de la morfología y dinámica del flujo subterráneo.....	36
Figura 9 Sección longitudinal NW-SE	38
Figura 10 Resultados del RQD contrastados con el Índice de resistencia geológica (GSI).....	41
Figura 11 Comparación de la profundidad de la lectura de niveles freáticos.	43
Figura 12 Tipo de aguas según Piper.....	46
Figura 13 Calidad de aguas de uso agrícola según Wilcox	48
Figura 14 Valores de pH en los 20 piezómetros en el área de estudio período 2022- 2023.	49
Figura 15 Sólidos totales disueltos vs ECA.....	50
Figura 16 Gráfico de comparación de conductividad eléctrica vs cloruros.	51
Figura 17 Comparativa de temperatura del agua vs profundidad del nivel freático.	52
Figura 18 Comparativa sulfatos y calcio vs ECA.....	53
Figura 19 Sodio y Magnesio VS ECA.....	54

RESUMEN

En vista de que el agua es un recurso muy valioso, fácilmente contaminable y últimamente escaso, el estudio desarrollado en la microcuenca San Ignacio en el distrito de Tiabaya en Arequipa, tiene el objetivo hacer una caracterización hidrogeológica y evaluar la calidad de las aguas subterráneas. Se desarrolló un trabajo de campo con mapeo geológico - estructural y muestreo en piezómetros, se estudió el tipo de roca, condiciones estructurales, dinámica del agua y finalmente su calidad. Los resultados indican que la litología de la zona tiene influencia directa en la elevada concentración del ion sulfato debido a la ocurrencia de anhidrita y las condiciones de fracturamiento influyen en la permeabilidad, con respecto a la morfología y dinámica las isopiezas muestran que la superficie freática es concordante con la topografía, en cuanto a la caracterización química el diagrama de Piper indica que en general todas las muestras son de tipo sulfatada, mientras que Wilcox indica que en su mayoría las aguas son aceptables para uso agrícola, y según los ECA en su mayoría las muestras son aceptables para consumo humano, finalmente aunque las condiciones químicas son favorables la transmisión es algo limitada, sin embargo hay agua disponible y se podría provechar mediante pozos.

PALABRAS CLAVES: Caracterización hidrogeológica, aguas subterráneas, calidad de agua.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, así como la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

Referencias

Awad, A. H. M. E. D., Eldeeb, H. A. Z. E. M., & El-Rawy, M. U. S. T. A. F. A. (2020). *Assessment of surface and groundwater interaction using field measurements: A case study of Dairut City, Assuit, Egypt*. J. Eng. Sci. Technol, 15, 406-425.

https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20issue%201%20February%202020/15_1_31.pdf

Benítez, A, (1963). *Captación de aguas subterráneas: nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales*. Madrid: Dossat

Carpio F Jose, Quispe Y Baclimer, Peña L Fluquer, Sulca O Percy, (2022). *Hidrogeología de la cuenca del río Quilca - Vitor - Chili (132)*. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología N° 15

Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). *Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico*. Información tecnológica, 32(1), 47-56.

Custodio, E & Llamas, M (1976). *Hidrología subterránea*. Segunda edición. Barcelona, España: Omega, 2 tomos.

Chambers, L. A., Gooddy, D. C., & Binley, A. M. (2019). *Use and application of CFC-11, CFC-12, CFC-113 and SF6 as environmental tracers of groundwater residence time: A review*. Geoscience Frontiers, 10(5), 1643-1652.

Dohare, D., Deshpande, S., & Kotiya, A. (2014). *Analysis of ground water quality parameters: a Review*. Research Journal of Engineering Sciences ISSN, 2278, 9472.

<https://www.isca.in/IJES/Archive/v3/i5/3.ISCA-RJEngS-2014-24.pdf>

Deb, Pradipta Kumar (2014). *An introduction to mine hydrogeology*. Springer.

International Association of Hydrogeologists (2020). *Groundwater— more about the hidden resource*. <https://iah.org/education/general-public/groundwater-hidden-resource>

Duarte, Y. A., Bautista, F., Mendoza, M. E., & Delgado, C. (2013). *Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos*. Tropical and subtropical agroecosystems, 16(2), 243-263. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93928324001.pdf>

Fernández Rubio & Baquero Juan Carlos. (2007). *Hidrogeología minera y ambiental*. Departamento de Ingeniería Geológica (Hidrogeología). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

Fernández Rubio & Baquero Juan Carlos. (2005). *Introducción a la hidrogeología*. Departamento de Ingeniería Geológica (Hidrogeología). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

García Hidalgo, Yoandris, Balmaseda Espinosa, Carlos, & Vargas Rodríguez, Heriberto. (2012). *Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21(3), 29-34. Recuperado en 12 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542012000300005&lng=es&tlng=es.

García Rodolfo & Mariño Eduardo (2018). *Apuntes sobre aplicaciones ambientales de la Hidrogeoquímica*. Argentina. Universidad Nacional de la Pampa – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. <https://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>

Gutiérrez Ccama elmer A. (2020). *El derecho de propiedad y la ejecución de edificaciones y/o construcciones en zonas agrícolas y sus implicancias en el ordenamiento territorial urbano del distrito de Tiabaya, Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6cc40032-6d49-46f6-98d8-d56ec0490a33/content>

Hem JD (1989). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 3rd ed.*, US Geol. Surv. Water Supply Paper 2254.

Jurgens, B. C., Böhlke, J. K., Kauffman, L. J., Belitz, K., & Esser, B. K. (2016). A partial exponential lumped parameter model to evaluate groundwater age distributions and nitrate trends in long screened wells. *Journal of Hydrology*, 543, 109-126.

Ihemba, S & Esterhuyse S. (2020) *Assessing the sustainability of permitted irrigation from groundwater in the Grootfontein-Tsumeb-Otavi Subterranean Water Control Area in Namibia, Groundwater for Sustainable Development*, Volume 10, 100295, ISSN 2352-801X, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100295>

Jimenez Jumbo, L.D., Arias Ramírez, B.J., Arias Pastuna, M.A., & Reyes Cordova, Á.L. (2024). *Relación empírica entre sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica en las piscinas de cultivo piscícola del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica*. *Technology Rain Journal*.

DOI: [10.55204/trj.v3i1.e25](https://doi.org/10.55204/trj.v3i1.e25)

Kovks György (1981). Chapter 3.4 *Hydraulic conductivity and intrinsic permeability of fissured and fractured rocks*. *Developments in Water Science*, Elsevier, Volume 10, Pages 396-472, [https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(08\)70047-9](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70047-9).

Kumar Prashant, Baban K.S. Bansod, Sanjit K. Debnath, Praveen

Kumar Thakur, C. Ghanshyam (2015). *Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation*.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.02.001>

Li, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., & Srinivasamoorthy, K. (2021). *Sources and consequences of groundwater contamination*. Archives of environmental contamination and toxicology, 80, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>

Liu, P., Hoth, N., Drebenstedt, C., Sun, Y., & Xu, Z. (2017). *Hydro-geochemical paths of multi-layer groundwater system in coal mining regions — Using multivariate statistics and geochemical modeling approaches*. Science of The Total Environment, 601-602, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.146>.

Loh, Y.S.A.; Addai, M.O.; Fynn, O.F.; Manu, E. (2021). *Characterisation and quality assessment of surface and groundwater in and around Lake Bosumtwi impact craton (Ghana)*. Sustain. Water Resour. Manag. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40899-021-00563-3>

López-Loera, Héctor. (2014). *Geofísica para la localización de Agua Subterránea en Ambientes Volcánicos Áridos de la Mesa Central: Caso La Dulcita, Villa de Ramos, San Luis Potosí, México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66(1), 165-181.
Recuperado en 17 de febrero de 2024, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140533222014000100013&lng=es&tlng=es.

Orche García, E (2011). *Energía Geotérmica*. Madrid: E.T.S.I. Minas, Universidad Politécnica de Madrid.

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2022), *Las aguas subterráneas pueden ser la solución a las crisis hídricas si se gestionan correctamente*.

<https://news.un.org/es/story/2022/03/1505842>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNICEF], (2023). *Riesgo inminente de una crisis mundial del agua UNESCO/ONU-Agua*.

<https://www.unesco.org/es/articles/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

Panneerselvam, B.; Ravichandran, N.; Kaliyappan, S.P.; Karuppanan, S.; Bidorn, B. (2023) *Quality and Health Risk Assessment of Groundwater for Drinking and Irrigation Purpose in Semi-Arid Region of India Using Entropy Water Quality and Statistical Techniques*. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/3/601>

Pino V, Edwin, & Coarita A, Fátima. (2018). *Caracterización hidrogeológica para determinar el deterioro de la calidad del agua en el acuífero la yarada media*. Revista de Investigaciones Altoandinas, 20(4), 477-490.

<https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.424>

Piper, A.M. A (1944). *Graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 25, 914–928.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/TR025i006p00914>

Rezaei Ali, Hassani Hossein, Tziritis Evangelos, Seyedeh Belgheys Fard Mousavi, Jabbari (2020). *Hydrochemical characterization and evaluation of groundwater quality in Dalgan basin, SE Iran*, Groundwater for Sustainable Development. Volume 10, 100353, ISSN 2352-801X. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100353>.

Ramos V. Alonso (2018). *Caracterización hidroquímica y calidad del agua subterránea de la región sudoccidental de la región Arequipa, entre los meses de enero a diciembre*. Recuperado de

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3267829>

Sánchez-Sánchez, J. A., Álvarez-Legorreta, T., Pacheco-Ávila, J. G., González-Herrera, R. A., & Carrillo-Briebiezca, L. (2015). *Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México*. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(1), 62-76.

Singhal B.B.S & Gupta R.P (2010). *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Second Edition*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-8799-7>

Piper, A.M. A (1944). *Graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 25, 914–928.

<https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>

Pernía Llera, J. M., & Fornés Azcoiti, J. M. (2009). *Cambio climático y agua subterránea*.

Pérez, J., Cortés, A., Salas, M. R., Araguás-Araguás, L., Morales, P., & Carrillo, A. (2017). *Evidencias hidrogeoquímicas e isotópicas sobre el origen del agua subterránea en la cuenca hidrográfica Río Actopan, Estado de Veracruz*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34 (1), 25-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57250506003>

SÁNCHEZ, F. J. (2022). - *Hidrología Superficial y Subterránea*. 2ª ed. Kindle Direct Publishing., 440 pp. <https://hidrologia.usal.es/Libro.htm>

Sahuquillo herráiz, Andrés (2009). *La importancia de las aguas subterráneas*.
Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, ISSN 1137-2141,
Vol. 103, Nº 1, 2009

Sterrett Robert (2007). *Groundwater and Wells, 3rd edición*. New Brighton, MN.

Sanders L. Laura (1998). *A Manual of Field Hydrogeology*. La Universidad de Michigan.
Prentice Hall, 1998.

Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*
(2nd ed.). CRC Press.

Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F.,
Boone, A., & Polcher, J. (2020). *Challenges for drought assessment in the Mediterranean
region under future climate scenarios*. Earth-Science Reviews, 210, 103348.

United Nations International Children's Emergency Fund [UNICEF], (2020). *Water
scarcity*. <https://www.unicef.org/wash/water-scarcity>

Wilcox, L. (1955) *Classification and Use of Irrigation Waters*; Number 969; US
Department of Agriculture: Washington, DC, USA.

Yidana, S.M & Yidana, A (2010). *Assessing water quality using water quality index
and multivariate analysis*. *Environ. Earth Sci.*
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-009-0132-3>

Valls, R. A., P. Geo. (2023). *Ten Effective Ways to Visualize Geochemical Data*.
<https://doi.org/10.31219/osf.io/7ekxt>