



Mapeo geológico-estructural de cinco comunidades ubicadas entre los complejos volcánicos Momotombo y el Hoyo: La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos.

Bianka Castillo Treminio¹

Laboratorio de Hidrogeología, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN-Managua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

RESUMEN

El mapeo geológico-estructural es una herramienta básica para la comprensión de la geología, condiciones geoquímicas e hidrogeológicas del agua subterránea. El propósito de este estudio fue el de proporcionar información basada en el mapeo geológico-estructural de las comunidades La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos para evaluar la ocurrencia y dirección de los flujos de agua subterránea en la zona. Estas comunidades están ubicadas entre los complejos volcánicos Momotombo y el Hoyo donde hay anomalías térmicas y geofísicas que indican la existencia de fenómenos de alteración hidrotermal que explican las altas concentraciones de Arsénico encontradas. Se reconocieron en campo tres unidades geológicas representadas por depósitos de material volcánico reabajado, planicies aluvionales y lacustres y tobas de Malpaisillo. Los materiales influyentes pertenecen al cuaternario reciente y al Grupo

Las Sierras. También se confirmó que la zona de estudio está afectada por dos sistemas de fallas principales con tendencia de dirección Noreste-Suroeste (NE-SW) y Noroeste-Sureste (NW-SE) que controlan el movimiento del agua subterránea. Es posible que la parte NW de la comunidad La Fuente esté afectada por flujos hidrotermales del Volcán El Hoyo y Cerro Colorado siguiendo una orientación N65°W. Se concluye que el mapeo geológico-estructural ha proporcionado información preliminar importante para identificar dónde es más urgente realizar la caracterización geoquímica en la zona de estudio. Esto permitiría contribuir a la reducción de riesgos a la salud humana debido a la ingesta de agua contaminada por arsénico.

Palabras claves: Mapeo geológico, mediciones estructurales, dirección de flujo, riesgo por arsénico.

¹ Datos del Autor
Correo electrónico: bianka.castillo@cira.unan.edu.ni

Geological-structural mapping of five communities located between the volcanic complexes Momotombo and El Hoyo: La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos and Los Portillos.

ABSTRACT

Geological-structural mapping is a basic tool for understanding the geology, geochemical and hydrogeological conditions of groundwater. The aim of this study was to provide information based on a geological-structural mapping of the communities La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos and Los Portillos, to assess the occurrence and direction of groundwater flows in the area. These communities are located between the Momotombo and El Hoyo volcanic complexes, where there are thermal and geophysical anomalies indicating the existence of hydrothermal alteration phenomena; which explain high arsenic concentrations in groundwaters of the area. Three geological units represented by deposits of reworked volcanic material, alluvial and lacustrine plains and tuffs of Malpaisillo were recognized in the field. The

influential materials belong to the recent Quaternary and Las Sierras Group. It was also confirmed that the study area is affected by two main fault systems with a Northeast-Southwest (NE-SW) and Northwest-Southeast (NW-SE) direction trends that control groundwater movement. The NW part of La Fuente community may be affected by hydrothermal flows coming from El Hoyo Volcano and Cerro Colorado following a N65°W orientation. It is concluded that the geological-structural mapping has provided important preliminary information to identify hot spots to carry out the geochemical characterization in the study area. This would allow to contribute to diminish human health risks derived from arsenic contaminated water.

Keywords: Geological mapping, structural measurement, flow direction, arsenic risk.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos ubicadas en el municipio de La Paz Centro, León se caracterizan por ser zonas secas con poca precipitación donde el agua subterránea del acuífero de Malpaisillo es la única fuente de suministro de agua (INETER, 2012).

Estas comunidades se encuentran entre los complejos volcánicos Momotombo y el Hoyo donde hay anomalías térmicas y geofísicas que indican la existencia de intensos fenómenos de alteración hidrotermal (Comisión Nacional de Energía, 2001a, 2001b). Esta característica es la que justifica el hallazgo en la zona de concentraciones de Arsénico (As) por encima de los 10 µg/l recomendados como máximo admisible para consumo humano y hasta 100 µg/l. (Altamirano Espinoza, 2019; Gonzalez

Rodriguez, Rietveld, Longley, & van Halem, 2019; UNICEF, 2004).

La contaminación natural por arsénico de aguas superficiales y subterráneas de Nicaragua está asociada al volcanismo Terciario y Cuaternario de la Cordillera de los Marrabios, proceso que se muestra en flujos de lava, fumarolas, aguas termales y fenómenos geotérmicos relacionados con el volcanismo (Bundschuh, Litter, Nicolli, Hoinkis, & Bhattacharya, 2010).

El mapeo geológico es una herramienta básica para la comprensión de la geología, condiciones geoquímicas e hidrogeológicas del agua subterránea (Attwa & Henaish, 2018; McGrory et al., 2017). En consecuencia la caracterización geológica-estructural de las cinco comunidades de interés se hace necesaria para comprender y dimensionar la ocurrencia y dirección de los

flujos de agua subterránea en la zona por medio de los mapas geológico, estructural y de niveles freáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las comunidades La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos, se ubican al este del complejo volcánico Momotombo, con una extensión de 300 km², específicamente al Sureste del Municipio de La Paz Centro, Departamento de León (Fig.1).

Reconocimiento geológico

El mapeo geológico y estructural se basó en hallazgos realizados por estudios anteriores (Comisión Nacional de Energía, 2001b, 2001a; Kuan, Hogdson, & Willians, 1980; Servicio Geológico Checo, 2000),

complementados con observaciones y mediciones estructurales hechas in situ por el presente estudio para resaltar las características geológicas de los afloramientos presentes en las comunidades.

Determinación del comportamiento del flujo subterráneo

Con la finalidad de conocer la dirección del flujo subterráneo en las comunidades de estudio y para elaborar el mapa de niveles freáticos para la zona se realizó un inventario de pozos excavados y perforados que incluyó mediciones de elevación y nivel estático del agua. Los 40 pozos existentes en la zona de estudio fueron georeferenciados con el sistema de coordenadas UTM datum WGS 1984 (Tabla 1).

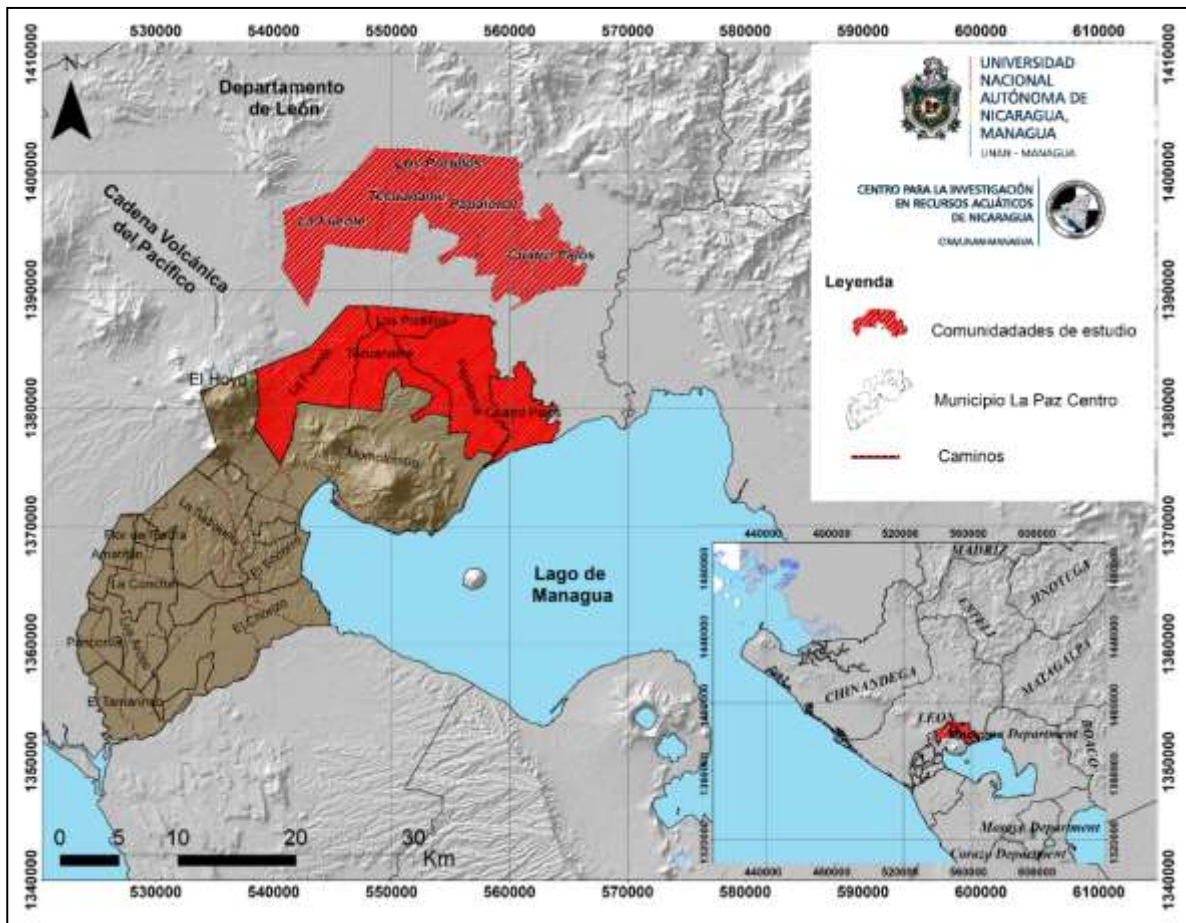


Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Comunidades La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos, Municipio La Paz Centro, León.

Tabla 1. Coordenadas geográficas, elevación y nivel estático del agua de pozos excavados y perforados (PP) de las comunidades en estudio La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos, La Paz Centro, León .

Coordenadas UTM WGS84		Elevación (m)	NEA (m.s.n.m)	Comunidad
Este	norte			
561288	1379457	17	9.90	Cuatro Palos
561657	1379491	15	10.43	PP comunitario Cuatro Palos
561246	1379408	18	11.15	Cuatro Palos
561126	1379389	19	11.68	Cuatro Palos
560627	1379322	22	15.65	Cuatro Palos
559928	1379225	27	17.26	Cuatro Palos
558048	1379584	45	39.88	Papalonal
556984	1379813	55	40.39	Papalonal-Comunitario
557502	1379687	48	41.07	Papalonal
556494	1379743	63	42.18	Papalonal
557940	1378705	44	43.38	Papalonal
556771	1380075	58	43.50	Papalonal
556679	1380044	59	43.80	Papalonal
556551	1380463	59	44.31	PP comunitario Papalonal
556631	1379896	60	44.33	Papalonal
541217	1376936	64	50.63	La Fuente
550699	1385913	112	56.06	Los Portillos
548646	1385422	90	56.03	Tecuaname
549787	1383871	120	60.62	Tecuaname
549385	1386618	90	60.87	Los Portillos
542018	1375264	61	61.00	Loma La Chistata
549586	1386414	100	61.11	Los Portillos
549984	1388079	80	61.48	Los Portillos
547869	1385968	90	62.80	Las Ramadas
543855	1384560	90	62.84	La Fuente
543338	1384414	94	63.12	La Fuente
542686	1382620	100	63.26	La Fuente
548915	1386001	90	64.05	Tecuaname
548746	1382977	140	64.55	Tecuaname
547271	1386098	90	65.03	La Fuente
549867	1387865	84	65.85	Los Portillos
549485	1387705	85	66.71	Los Portillos
549019	1387075	87	66.92	Los Portillos
542431	1375502	72	67.45	Loma La Chistata II
544073	1385274	93	67.60	La Fuente
545122	1385938	93	69.19	La Fuente
549120	1386401	90	69.73	Los Portillos
545454	1386218	99	72.08	La Fuente
549959	1388218	93	74.54	Los Portillos
545419	1386291	96	75.98	La Fuente

RESULTADOS

Entorno geológico

Las rocas que afloran en las comunidades de estudio corresponden a unidades litoestratigráficas del Grupo Las Sierras, la secuencia está constituida principalmente por rocas volcanoclásticas y flujos piroclásticos producto de erupciones sucesivas del volcanismo comprendidas entre Pleistoceno Holoceno al Cuaternario reciente, procedentes de los volcanes de la Cordillera Los Marrabios; volcán Momotombo y Volcán El Hoyo (Comisión Nacional de Energía, 2001b; Novák, 2006) (Fig. 2). También afloran materiales del Cuaternario correspondiendo a depósitos aluviales y suelos residuales.

Las unidades y depósitos geológicos mapeados se detallan a continuación:

Depósitos de material volcánico retrabajado: esta unidad ocupa la parte oeste de la comunidad de Tecuaname con una extensión de 22.28 km². Está representada

por una secuencia volcano-sedimentaria esencialmente por depósitos piroclásticos, con una secuencia de arcillas medianamente consolidadas con abundantes materiales piroclásticos (pómez) intercalados con las lavas volcánicas (Andesitas y Basaltos) que los subyacen.

Tobas Malpaisillo: esta unidad se concentra en las comunidades El Papalonal, Tecuaname y Los Portillos abarca aproximadamente 67.37 km². Estas rocas se encuentran meteorizadas constituidas por depósitos de caída, son de color gris, poseen clastos de pómez con un diámetro no mayor a 3-6 mm de pómez.

Planicies aluvionales: cubre la parte centro de la comunidad La Fuente y en su totalidad a la comunidad Cuatro Palos, con una extensión de 81.60 km², está constituida por sedimentos finos recientes, y rodados de rocas de diferentes tamaños; estos se encuentran subyaciendo a los flujos piroclásticos de pómez y a las unidades de coladas andesíticas.

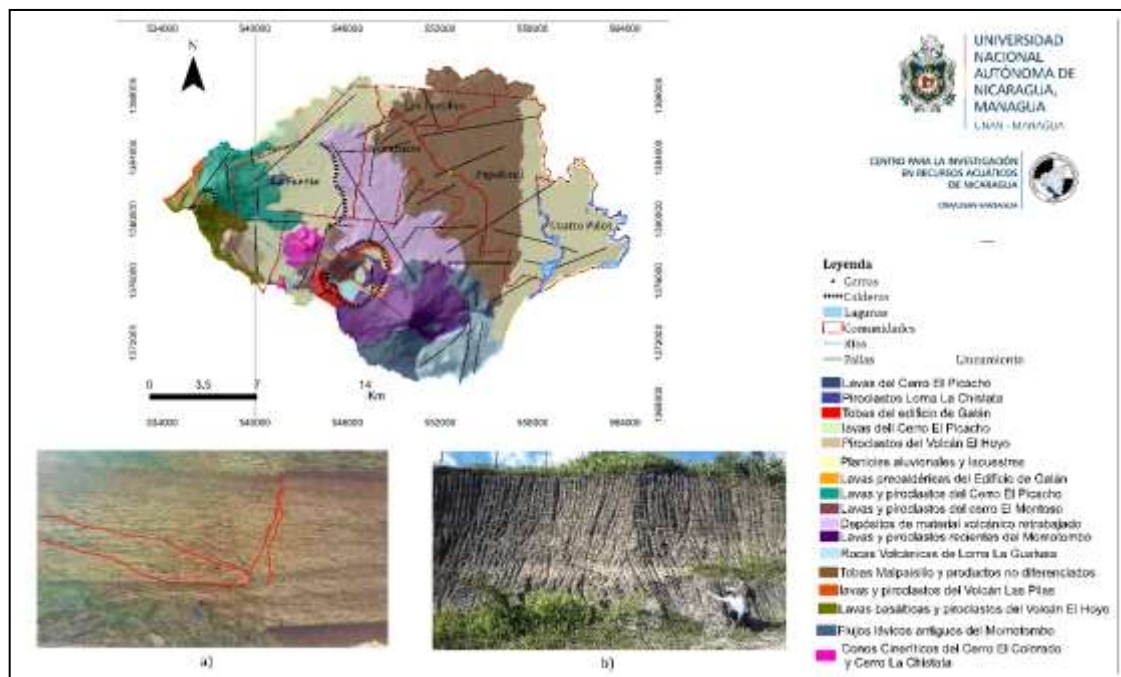


Fig. 2. Mapa geológico del área de estudio. a) Depósitos de caída piroclásticos (pómez) de la Caldera San Juan, Comunidad La Fuente con coordenadas 544281E 1385087N donde se observan indicadores cinemáticos (sigmoides y estructura en r y P) que indican el sentido de desplazamiento de la falla. b) Afloramiento de toba sobre el camino a Tecuaname-Papalonal, erosionado con clastos de pómez con coordenadas 552679E-1383042N.

Desde el punto de vista geotectónico la zona de estudio está afectada por dos sistemas de fallas principales con dirección noreste-suroeste y noroeste-sureste (Fig. 3). El sistema de falla Noreste-Suroeste es más antiguo que el Noroeste-Sureste, tiene una dirección preferencial N 60°E (Fig. 3a), las estructuras (fallas y fracturas) más representativas se concentran en la parte Noreste y Sureste del área en las

Comunidades de Tecuaname y Papalonal (Fig. 3c). El sistema de falla Noroeste-Sureste se encuentran paralelo a la Depresión de Nicaragua afectando rocas de composición andesítica y basáltica, abarca fallas de carácter regional. En la parte Suroeste del área se ubica la estructura lineal que abarca el volcán Momotombo seguido por los Cerros El Montoso, El Colorado y Los Palomos (Fig. 3b).

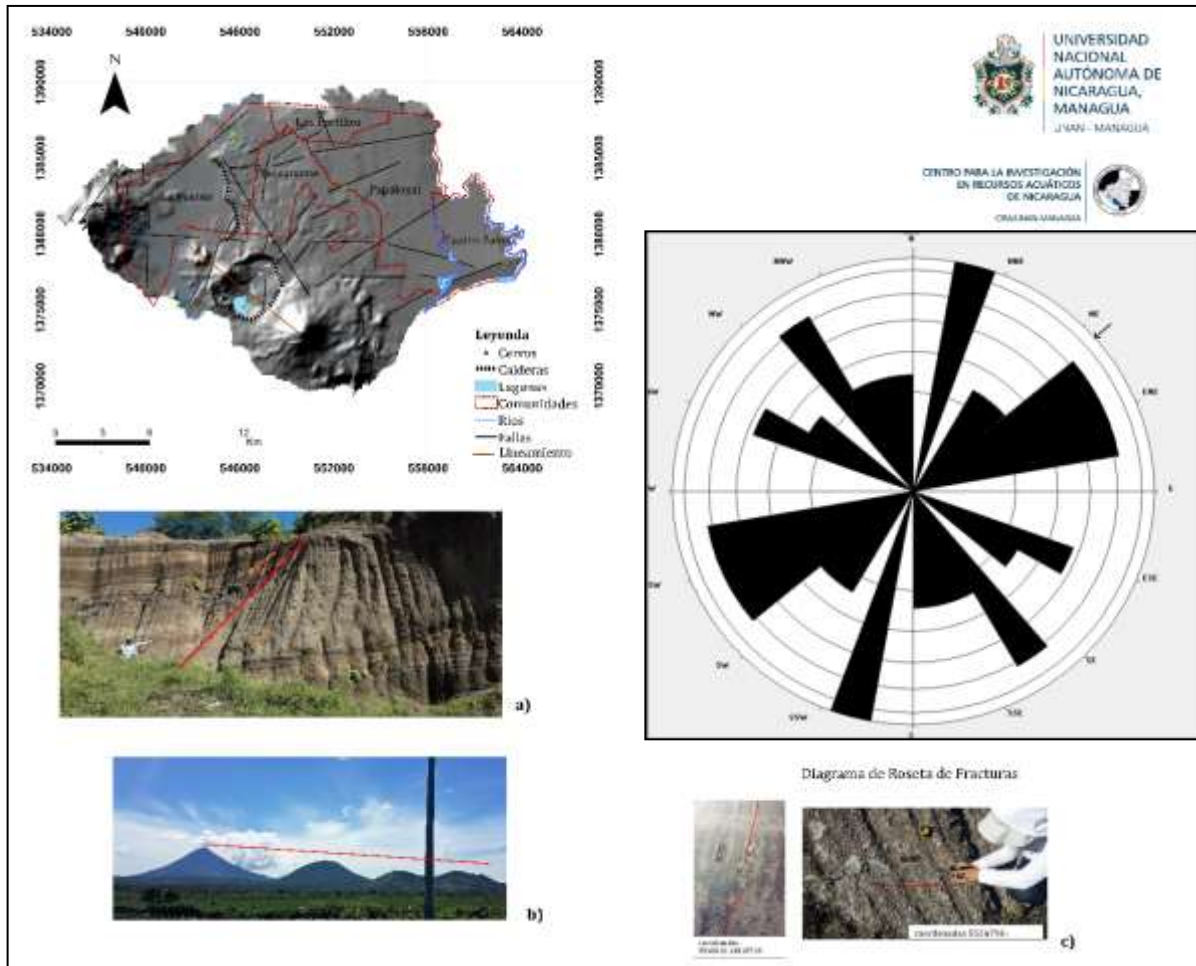


Fig. 3. Mapa estructural de la zona de estudio (izquierda). Diagrama de roseta mostrando el máximo esfuerzo en dirección noreste-suroeste que se obtuvo a partir de 44 mediciones en campo (derecha). a) Falla normal en depósitos piroclásticos que se encuentra desplazando los depósitos de caída con una dirección N60°E; Coordenadas 542482E-1375535N. b) Lineamiento de cerros, de izquierda a derecha el volcán Momotombo seguido de los Cerros El Montoso, Los Palomos y El Colorado. c) Fracturas con dirección Noreste medidas en las unidades de Tobas en cortes de la carretera a la Comunidad de Tecuaname y Papalonal.

Comportamiento del flujo subterráneo

En lo que se refiere al establecimiento de las condiciones de flujo en las comunidades, los datos de niveles freáticos en m.s.n.m, sugieren que el agua subterránea confluye hacia el Lago Xolotlán considerado como la zona de descarga (Fig. 4). El movimiento del agua subterránea está claramente influenciado por las direcciones de fallas en el entorno que se disponen en dirección

N65°W o N60°E. Esto se evidencia en la Comunidad La Fuente donde la dirección del agua subterránea se ve influenciada por fallas que la rodean obligandola a dirigirse hacia el río El Madroño y el Obraje. En cambio en las comunidades Los Portillos, Tecuaname, Papalonal y Cuatro Palos, el flujo subterráneo va dirigido hacia el río Papalonal-Santa Ana; el cual descarga al Lago Xolotlán.

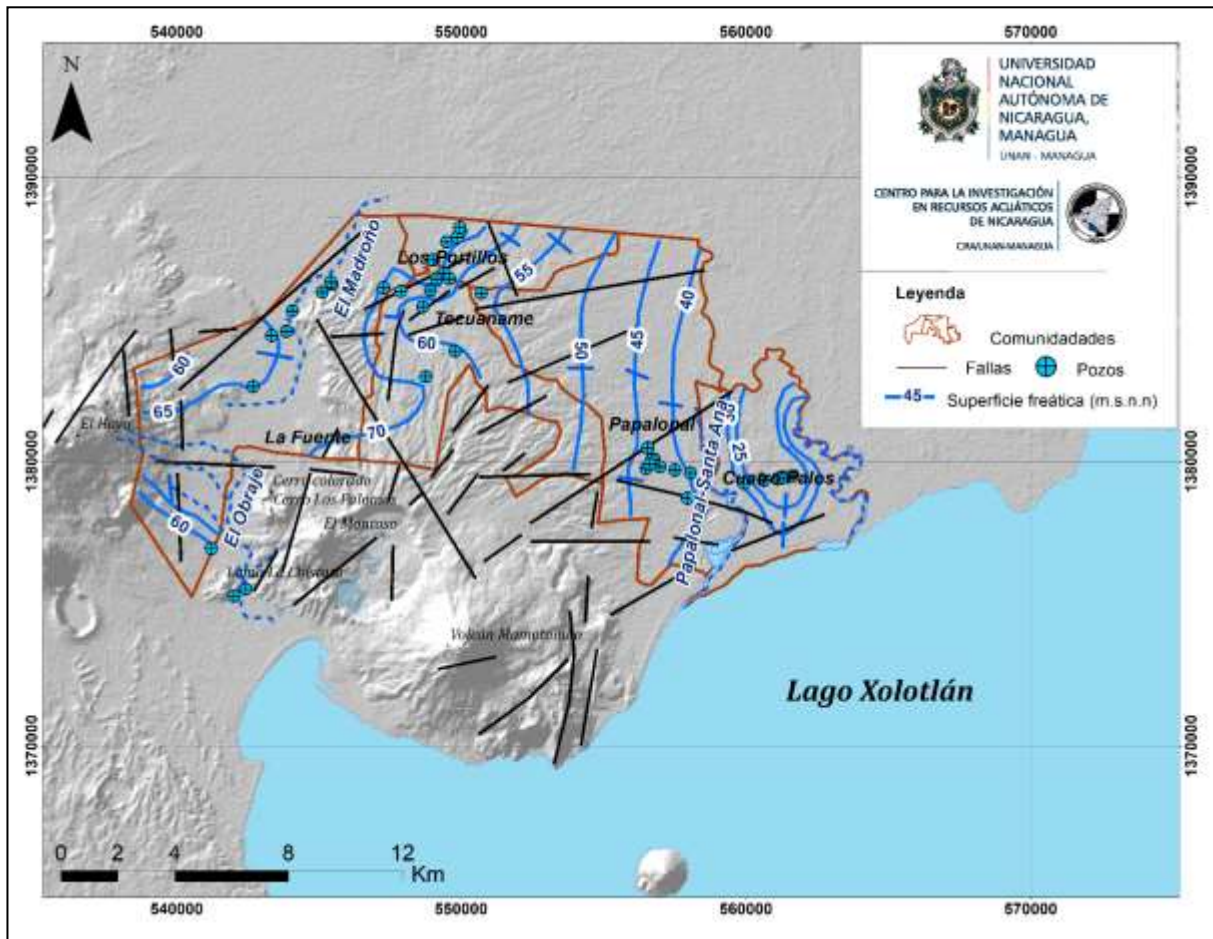


Fig. 4. Mapa de superficies freáticas de las cinco comunidades en estudio: La Fuente, Tecuaname, Papalonal, Cuatro Palos y Los Portillos, La Paz Centro, León.

DISCUSIÓN

Se realizó la integración de unidades y estructuras geológicas (lineamiento, fallas y discontinuidades) en la zona de estudio obtenidos de fuentes independientes de información, análisis del modelo digital de elevaciones y observaciones de campo. El análisis de la información publicada en forma

de mapas y reportes de trabajos de investigación (Kuan et al., 1980; Servicio Geológico Checo, 2000; Comisión Nacional de Energía, 2001a, 2001b; Novák, 2006;) permitió evidenciar que entre diferentes fuentes de información se documentan estructuras que por su cercanía espacial (distancias menores a 1 km) fueron

consideradas como una misma falla. Las mediciones de estructuras en campo confirman la existencia de las fallas trazadas y documentadas en los trabajos antes mencionados.

Considerando la ubicación de las comunidades entre dos complejos volcánicos Momotombo y el Hoyo, donde existen anomalías térmicas y geofísicas, específicamente en el sector NE del Volcán El Hoyo y en Cerro Colorado (Comisión Nacional de Energía, 2001a), es posible que la parte NW de la comunidad La Fuente este afectada por estos flujos geotérmicos siguiendo una orientación N65°W. Esto se comprueba con los resultados del estudio de aguas subterráneas realizado en la comunidad por Altamirano (2019) donde los pozos con las concentraciones más altas de arsénico y con mayores temperaturas tienden a agruparse a lo largo de la orientación de este sistema de falla (NW-SE). Cabe mencionar que los datos disponibles no permiten definir con precisión su efectiva ubicación y extensión.

CONCLUSIONES

Se reconocieron en campo tres unidades geológicas representadas por depósitos de material volcánico retrabajado, planicies aluvionales y lacustres y tobas de Malpaisillo. Los materiales influyentes pertenecen al cuaternario reciente y al Grupo Las Sierras.

Se definieron dos sistemas de fallas principales con dirección Noreste -Suroeste y Noroeste-Sureste en base a la interpretación de mapas y comprobación de campo.

El movimiento del agua subterránea está influenciado por las estructuras geológicas presentes en el área. En la comunidad La Fuente el flujo de agua subterránea va dirigido hacia el río El madroño y el Obraje. En las comunidades Los Portillos, Tecuaname, Papalonal y Cuatro Palos va

dirigido hacia el río Papalonal-Santa Ana, el cual descarga en el Lago Xolotlán.

Se concluye que el mapeo geológico-estructural ha proporcionado información preliminar importante para identificar dónde es más urgente realizar la caracterización geoquímica en la zona de estudio que permita contribuir a la reducción de riesgos a la salud humana por ingesta de agua contaminada por arsénico.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los Fondos para Proyectos de Investigación (FPI) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) por el financiamiento a través del proyecto N°15201604 y a la contraparte institucional del CIRA/UNAN-Managua para poder realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- Altamirano Espinoza, M. (2019). *Contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad rural "La Fuente", para sugerir y promover el uso de fuentes alternativas de agua segura municipio La Paz Centro, León, Nicaragua*. Managua.
- Attwa, M., & Henaish, A. (2018). Regional structural mapping using a combined geological and geophysical approach – A preliminary study at Cairo-Suez district, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 144, 104–121. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.04.010>
- Bundschuh, J., Litter, M. I., Nicolli, H. B., Hoinkis, J., & Bhattacharya, P. (2010). Identifying occurrences of groundwater arsenic in Latin America: A continent-wide problem and challenge. *Arsenic in Geosphere and Human Diseases, As 2010 - 3rd International Congress: Arsenic in the Environment*, 512–516.

- Comisión Nacional de Energía. (2001a). Evaluación del área de el Hoyo-MonteGalán. In *Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua* (p. volumen VI).
- Comisión Nacional de Energía. (2001b). Evaluación del área del Momotombo. In *Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua* (p. volumen VII).
- Gonzalez Rodriguez, B., Rietveld, L. C., Longley, A. J., & van Halem, D. (2019). Arsenic contamination of rural community wells in Nicaragua: A review of two decades of experience. *Science of the Total Environment*, 657, 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.168>
- INETER. (2012). *Mapa de Acuíferos del Pacífico de Nicaragua*.
- Kuan, J., Hogdson, G., & Willians, R. (1980). *Geología de las hojas topográficas 2853 I, 2853 II, 2953 IV, 2953 III, Escala 1:50000*.
- McGrory, E. R., Brown, C., Bargary, N., Williams, N. H., Mannix, A., Zhang, C., ... Morrison, L. (2017). Arsenic contamination of drinking water in Ireland: A spatial analysis of occurrence and potential risk. *Science of The Total Environment*, 579, 1863–1875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.171>
- Novák, Z. (2006). Kristalinikum. Contributions to the geology and petrology of crystalline complexes Arbeiten zu Problem Der Geologie Und Petrologie Von Kristallingebieten. *Krustalinikum*, 31, 25–46.
- Servicio Geológico Checo. (2000). *Estudio Geológico y Reconocimiento de la Amenaza Geológica en el área de León, La Paz Centro y Malpaisillo Nicaragua*. Retrieved from <https://webserver2.ineter.gob.ni/geol/checos/2000leon/resumen.htm>
- UNICEF. (2004). *Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua*. 1–36.