

Calidad fisicoquímica y bacteriológica del acuífero de Villanueva, Cortés, Honduras

Physicochemical and bacteriological quality of the Villanueva aquifer, Cortés, Honduras

Erick Noel Chávez Olvera ¹ 

¹ Centro de Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

Resumen / Introducción. Este estudio evaluó la calidad de las aguas subterráneas del acuífero de Villanueva para determinar si son aptas para consumo humano. **Métodos.** Se recolectaron muestras de agua en ocho (8) sitios en el mes de octubre de 2020 y febrero 2021 para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos en laboratorio. **Resultados.** Los resultados de las muestras analizadas en laboratorio señalan que los valores máximos y mínimos del pH se presentaron en la época lluviosa en rangos de 7.8 y 6.23. Las concentraciones de conductividad eléctrica más altas se presentaron en febrero con valor de 1328.1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y las concentraciones más bajas en octubre con 877 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Los valores de dureza más altos en el agua se presentaron en el mes de febrero con un máximo de 353.99 mg/L. En el mes de octubre el agua presentó el valor más elevado de alcalinidad de 379.76 mg/L. Los resultados de análisis bacteriológicos indicaron altos valores (816.4 UFC de coliformes totales y 160 UFC de coliformes fecales). **Conclusión.** La calidad fisicoquímica de agua para consumo humano del acuífero de Villanueva se ve alterado por la disolución de las rocas de caliza y la abundancia de minerales que arrastra el río Ulúa hasta su deposición en el valle. Asimismo, la presencia de organismos bacteriológicos en concentraciones altas hace que el agua del acuífero no sea apta para consumo humano.

Palabras Clave Calidad ambiental, Calidad de agua, Contaminación de agua, Pozos de agua

Abstract / Introduction. This study evaluated the groundwater quality of the Villanueva aquifer to determine its suitability for human consumption. **Methods.** Water samples were collected from eight sites in October 2020 and February 2021 for laboratory-based physicochemical and bacteriological analyses. **Results.** The laboratory results showed that pH values ranged from 6.23 to 7.8 during the rainy season. The highest electrical conductivity was recorded in February (1328.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$), while the lowest was observed in October (877 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Water hardness peaked in February, reaching 353.99 mg/L. In October, the water had the highest alkalinity value of 379.76 mg/L. The results of bacteriological analyses indicated high values (816.4 CFU of total coliforms and 160 CFU of fecal coliforms). **Conclusion.** The physicochemical quality of the water is influenced by the dissolution of limestone formations and the mineral load transported by the Ulúa River and deposited in the valley. Moreover, the high concentrations of bacteriological contaminants render the groundwater from the Villanueva aquifer unsuitable for human consumption.

Keywords Environmental quality, Groundwater Wells, Water contamination, Water quality



Este trabajo está bajo una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 BY, NC.

Recepción: 01 de octubre 2025 / Aceptación: 09 de diciembre 2025 / Publicación: 09 de diciembre 2025

Autor correspondal: chavezolvera10@gmail.com

Cita: Chávez Olvera E. N. (2025). Calidad fisicoquímica y bacteriológica del acuífero de Villanueva, Cortés, Honduras. *Innovare, Revista de Ciencia y Tecnología*, 14(2), 1-9. <https://doi.org/10.69845/innovare.v14i2.512>

INTRODUCCIÓN

El agua es un componente importante para el desarrollo y uno de los principales retos que enfrentan los países a nivel mundial es el abastecimiento de agua en cantidad y calidad adecuada para sus habitantes. Las Naciones Unidas (ONU) han declarado un derecho humano el acceso a fuentes seguras de agua potable para las poblaciones de todo el planeta; sin embargo, este derecho se ve postergado, sobre todo en países en vías de desarrollo (Huallpara et al., 2017).

El agua insalubre contaminada por fuentes naturales o humanas sigue causando disminución en la calidad del agua y por ende la vida de los seres vivos según reporta La

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2003), lo que genera la presencia de epidemias ocasionales, de enfermedades bacterianas y virales ocasionadas por agentes infecciosos transportados al ser humano mediante el consumo de agua potable, tales como el cólera, poliomielitis y otras enfermedades (Cox et al., 2022).

Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos como indicadores de calidad del agua, ofrecen múltiples ventajas según lo establecido por Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA-US, 2013), tales como: la presencia en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales, la naturaleza sedentaria de los organismos, la simplicidad metodológica y una alta confiabilidad, lo que hace de estos

métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria del estado ecológico en las aguas dulces; en este sentido se han desarrollado normas de calidad de aguas basadas en la determinación de concentraciones máximas permisibles de agentes químicos (Cox et al., 2022).

Para ello se ha propuesto el uso de herramientas en calidad de agua, que consisten en analizar los contenidos, fisicoquímicos y bacteriológicos (Córdova et al., 2009). La presente investigación evaluó la calidad del agua destinada para consumo humano basado en el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su “International Standards for Drinking Water” (1963) de dividir las características químicas, físicas y bacteriológicas a tener en cuenta y que afectan a la potabilidad del agua si excede su valor máximo permisible (Custodio & Llamas, 1983).

MÉTODOS

Área de estudio: la evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del Acuífero de Villanueva se realizó sobre pozos municipales del municipio de Villanueva, departamento de Cortés. La altitud con respecto al nivel del mar va desde los 7 hasta 999 msnm, la precipitación media anual es de 1045.20 mm/año y temperatura promedio de 26.75 °C.

Toma de muestras de agua: se realizó un reconocimiento general del área de muestreo para la identificación de fuentes de contaminación del área de estudio, así como los principales cultivos de la zona y actividades agroindustriales. Se tomaron muestras de ocho (8) sitios de muestreo distribuidos en el área urbana del municipio de Villanueva. Las muestras de agua subterránea fueron recolectadas en dos jornadas de muestreo, en el mes de octubre de 2020 y febrero de 2021 para el análisis evaluativo de calidad del agua en estas dos temporalidades. Se utilizó el procedimiento de recolección de muestras del standard Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017) para parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

El análisis de muestras se hizo en laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y se evaluaron 22 parámetros para determinar la calidad fisicoquímica, bacteriológica del agua y su composición química, tomando como referencia los parámetros de la Norma Técnica para la calidad del Agua Potable (1995) y Norma Regional CAPRE (1994).

Tipo hidrogeoquímico del agua: el tipo hidroquímico del agua se evaluó aplicando la metodología de Diagrama de Piper el cual está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos: En uno de los triángulos se representan los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ sumados) y en el otro los aniones principales (CO_3H^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), los iones están reducidos a porcentaje de miliequivalentes por litro (meq.l⁻¹). A cada

vértice de un triángulo le corresponde el 100% de un catión o un anión.

Parámetros in situ: se tomaron muestras de agua en los pozos municipales de monitoreo para estudiar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD) y potencial redox), tomando como referencia los procedimientos para recoleta y análisis de muestras descritos por el Standard Methods (2017) y Manual de Procedimientos HACH DR 2010.

Marco geológico.: el marco geológico local del área de estudio se realizó a través de visitas de campo coordinadas con base en la información geológica de estudios previos e itinerario de campo. El reconocimiento geológico de campo a manera de visualización estableció como objetivos:

- Determinar el tipo de roca en relación con su comportamiento hidráulico e hidroquímico y límites del acuífero.
- Reconocer en un corte geológico la presencia de estructuras, tipos de fallas, fracturas, rasgos estructurales, tipos de estratos y medición de parámetros de dirección de rumbo y buzamiento.
- Se tomaron muestras de mano en los sitios visitados en campo, haciendo uso de piqueta geológica y fotografías de reporte para su interpretación, donde se realizó descripción de estratos rocosos.

Tabla 1. Sitios de reconocimiento geológico visitados

Coordenadas UTM (WGS 84)		Sitio
Este	Norte	
394837	1687950	102. Río Ulúa
390777	1686879	103. El Ocote
388597	1687353	104. Pueblo Nuevo
393899	1698441	105. Zip- Buena Vista
397020	1690776	106. Pimienta
392257	1693282	107. Villanueva
392257	169328	107-1. Catatao
397920	1701804	108. La sabana
397749	1703174	109. El Milagro
399063	1696742	110. El Plan
398853	1699348	111. San Manuel

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Calidad de agua: parámetros fisicoquímicos

Las conductividades eléctricas en todas las muestras analizadas en ambas épocas se encuentran en concentraciones entre 887 y 1328.1 $\mu\text{S}/\text{cm}-1$, excediendo los valores guía para aguas destinadas para consumo humano. En dirección este del acuífero los aprovechamientos Guadalupe López (10.28 mg.l⁻¹) y Llanos de Canadá No.1 (10.8 mg.l⁻¹) sobrepasan el valor límite permisible de potasio (Tabla 2).

Tabla 2. Valores máximos admisibles estipulados en norma OMS para parámetros fisicoquímicos evaluados en el Acuífero de Villanueva

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Sitios de muestreo														Valor máximo Admisible
			Cañeras 1		Cañeras 3		Cañeras 6		Guadalupe López		La Gran Villa II		Llanos de Canadá No.1		Pozo Solis	Orquídea No.2	
			feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	feb-21	
Temperatura	°C	18 a 30	23.4	24.3	23.1	24.5	23.4	24.2	23.5	24.3	23.5	24.3	23.2	24.1	23.1	23.1	
pH	Valor	6.5 a 8.5 (a)	7.56	6.38	7.28	6.33	7.29	6.23	7.48	7.14	7.31	6.98	7.37	7.8	7.23	7.23	
Cloro Residual	mg.l ⁻¹	0.5 a 1.0 (b)															(c)
Cloruros	mg.l ⁻¹	25	28.66	39.35	49.07	19.43	26.23	20.89	51.92	69	33.52	27.78	46.15	29	51.01	33.52	250
Conductividad	μS/cm ⁻¹	400	1218.49	89	1089.3	899	1024.7	910	1201.3	890	997.87	877	1328.1	823.0	1230.6	1027.11	
Dureza	mg.l ⁻¹	400	353.99	366.16	362.18	295.3	322.1	295.5	263.9	196	244.79	256.4	257.53	251	294.84	313.95	
Sulfatos	mg.l ⁻¹	25	45.71		44.22		33.4		41.22		8.35		93.93		107.46	18.94	250
Aluminio	mg.l ⁻¹																0.2
Calcio	mg.l ⁻¹	100	95.6	88	83.4	61	74.3	72	65.2	55	72.2	60.75	66.7	56	81	77.7	
Cobre	mg.l ⁻¹	1	0.01	<0.015	0.02	<0.015	0.04	<0.015	0.02	<0.016	0.01	<0.015	0.01	<0.015	0.06	0.01	2
Magnesio	mg.l ⁻¹	30	26.8	25	29.3	24.9	19.9	19	16.5	14	14.4	15.08	17.5	27	21.4	27.1	50
Sodio	mg.l ⁻¹	25	47.45	43	47.66	42.8	47.48	42	82.52	130	40.7	79.48	113.54	85	71.86	42.65	200
Potasio	mg.l ⁻¹		4.85	3.4	4.2	3.7	3.78	3.3	8.26	10.28	6.9	9.37	10	10.8	5.37	5.6	10
Sólidos Disueltos Totales	mg.l ⁻¹		779.78	633	697.12	575	665.7	583	768.8	556	638.64	561	849.96	707.3	787.57	657.35	1000
Zinc	mg.l ⁻¹		0.09	0.01	0.06	<0.005	0.06	0.005	0.02	<0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.03	3

Iones mayoritarios

Dureza y alcalinidad del agua: basado en la clasificación de la O.M.S., el acuífero de Villanueva tiene aguas muy duras, los valores encontrados en los sitios de aprovechamiento de agua en ambas estaciones climáticas oscilan entre 196 y 366 mg.l⁻¹. En octubre de 2020 el valor mínimo de alcalinidad encontrado fue de 334.7 mg.l⁻¹; y el máximo de 379.7 mg.l⁻¹. Mientras que febrero presentó menores valores, 315.2 a 358.9 mg.l⁻¹.

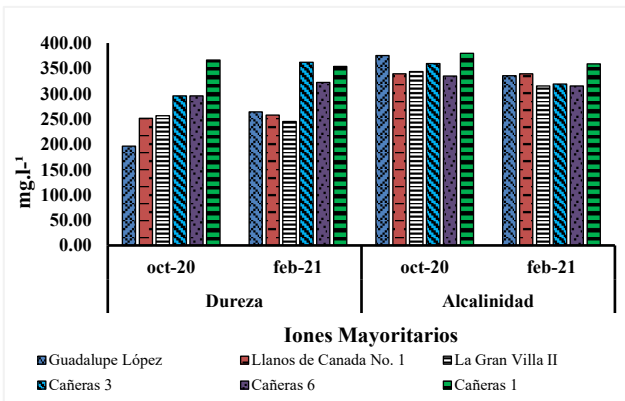


Figura 1. Concentraciones de dureza y alcalinidad total mg.l⁻¹ de pozos muestreados

Conductividad eléctrica del agua: los valores de conductividad eléctrica evaluados en los sitios de aprovechamiento para ambas épocas de muestreo exceden más del 100% del valor máximo permisible según norma CAPRE > 400 μS/cm⁻¹, alcanzando valores mayores a 1000 μS/cm⁻¹ en los pozos Llanos de Canadá No.1 (1328.06 μS/cm⁻¹) y Guadalupe López (1201.34 μS/cm⁻¹).

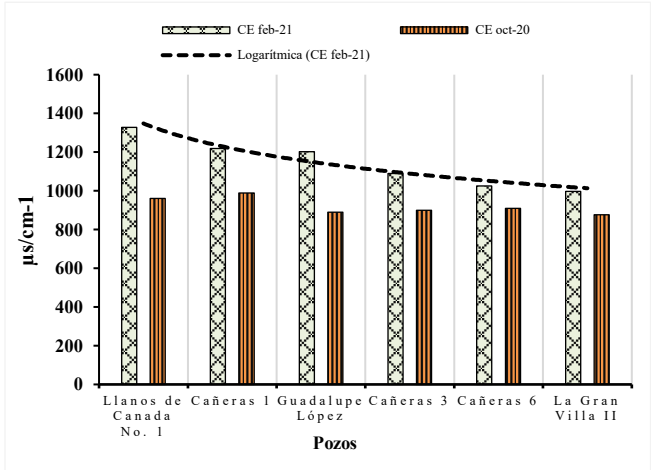


Figura 2. Conductividad eléctrica μS/cm⁻¹ de pozos muestreados

Metales evaluados en aguas subterráneas se observó que el hierro es el metal con las concentraciones más altas, seguido orden descendente por el zinc. El manganeso y el cobre no tienen un patrón definido respecto a los sitios evaluados. Las concentraciones de hierro en época de verano fueron de 0.05 a 0.83 mg.l⁻¹. En el zinc se encontraron concentraciones entre rangos de 0.01 y 0.9 mg.l⁻¹.

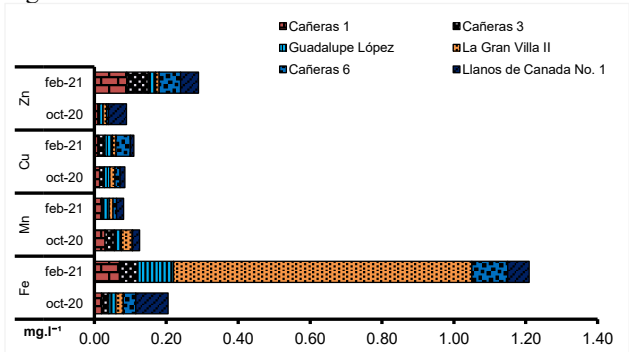


Figura 3. Prevalencia de metales en aguas subterráneas de Villanueva

Parámetros bacteriológicos

Tabla 3. Valores máximos admisibles estipulados en norma OMS para los parámetros bacteriológicos

Sitios de muestreo	Colif. T (oct-20)	Colif. T (feb-21)	Valor máximo admisible	Colif. F (oct-20)	Colif. F (feb-21)	Valor máximo admisible
Cañeras 1	<1	0.99	≤ 4	<1	0.99	Neg.
Guadalupe López	0	0.99	≤ 4	0	0.99	Neg.
La Gran Villa II	<1	0.99	≤ 4	<1	0.99	Neg.
Cañeras 6	<1	1	≤ 4	<1	0.99	Neg.
Cañeras 3	13	3.00	≤ 4	2	1.00	Neg.
Pozo Solís		4.1	≤ 4		0.99	Neg.
Orquídea No.2.		39.9	≤ 4		6	Neg.
Llanos de Canadá No.1	32	816.4	≤ 4	2	160	Neg.

Los coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se detectaron en altas concentraciones en las muestras recolectadas en el mes de febrero con 39.9 UFC/100 ml de CT y 6.0 UFC/100 ml de CF en el pozo Orquídea No.2.

Los mayores hallazgos de contaminación por contaminación fecal se detectaron en el pozo Llanos de Canadá No.1 con concentraciones de 816.4 UFC/100 ml de CT y 160 UFC/100 ml de CF.

Tipo hidrogeoquímico del agua

Las aguas subterráneas presentaron dos tipos de composición química y los tipos de agua más importantes presentan la siguiente distribución: Ca-Na- Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄ (75%) y Na- Ca-Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄ (15%).

Los resultados de los análisis en laboratorio para los cationes mayoritarios mostraron los siguientes rangos de concentraciones: sodio entre 40.7 y 113.54 mg.l⁻¹ (mediana: 47.57 mg.l⁻¹); calcio entre 65.2 y 95.6 mg.l⁻¹ (mediana: 76 mg.l⁻¹); magnesio 16.5 y 29.3 mg.l⁻¹ (mediana: 20.65 mg.l⁻¹) y potasio entre 3.78 y 10.0 mg.l⁻¹ (mediana: 5.48 mg.l⁻¹).

Con respecto a los aniones mayoritarios los rangos de concentraciones variaron de la siguiente manera: Bicarbonato entre 382.32 y 437.95 mg.l⁻¹ (mediana: 396.75 mg.l⁻¹); cloruro entre 28.66 y 51.92 mg.l⁻¹ (mediana: 39.84 mg.l⁻¹); Sulfatos entre 8.35 y 107.46 mg.l⁻¹ (mediana: 42.72 mg.l⁻¹). El anión predominante en el acuífero de Villanueva fue el bicarbonato con concentraciones de 382.32 en sitio Pozo Solís y hasta 437.95 mg.l⁻¹ en sitio pozo Cañeras 1.

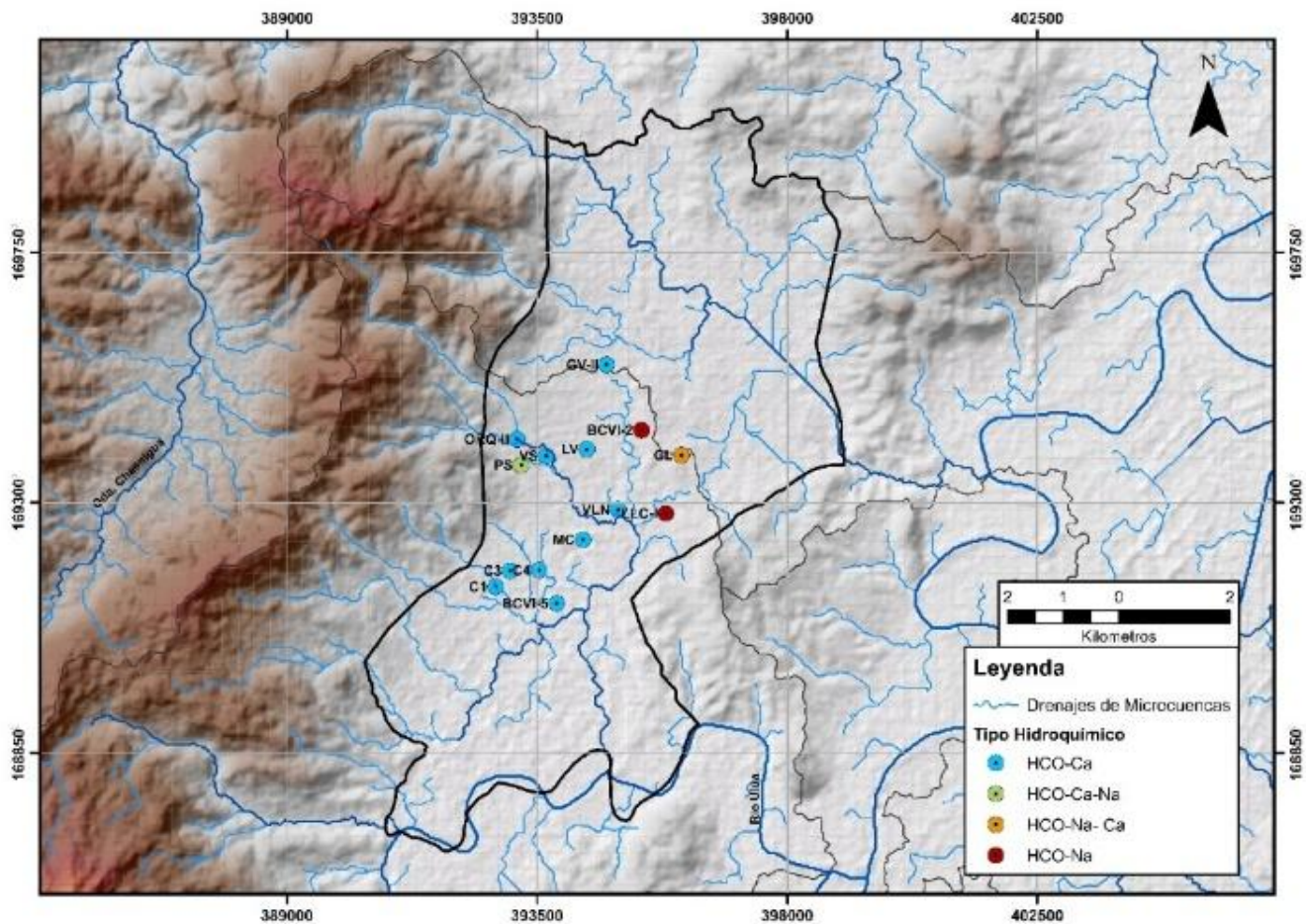


Figura 4. Mapa hidroquímico del acuífero de Villanueva

Tabla 4. Hidroquímica del agua del acuífero de Villanueva

Sitios de muestreo	Simbología	Época de muestreo	Tipo hidroquímico	Nombre hidroquímico
Cañeras 1	C1	Seca	HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada cálcica
Cañeras 3	C3	Seca	HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada cálcica
Cañeras 6	C6	Seca	HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada cálcica
Guadalupe López	GL	Seca	HCO ₃ -Na- Ca	Bicarbonatadas-sódicas-cálcicas
Pozo Solís	PS	Seca	HCO ₃ -Ca-Na	Bicarbonatada- cálcica-sódica
Orquídea No.2	ORQ-II	Seca	HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada cálcica
La Gran Villa II	GV-II	Seca	HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada cálcica
Llanos de Canadá No.1	LLC-I	Seca	HCO ₃ -Na- Ca	Bicarbonatadas-sódicas-cálcicas

Parámetros in situ

Los valores obtenidos de pH variaron entre 5.98 (sitio Cañeras 3) y 7.54 unidades de pH (sitio Terraplén II), con una media de 6.78 unidades de pH y una desviación estándar de 0.32. El promedio de conductividad eléctrica en el acuífero de Villanueva se reportó en 848.97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -1, variando entre 592 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -1 (sitio Cañeras 5) y 1220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -1 (sitio Llanos de Canadá) y una desviación estándar de 133.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -1, coincidiendo con los valores mínimos y máximos de pH en ambas zonas.

La temperatura del agua subterránea varió entre 28.10 °C (sitios Cañeras 3 y 5) y 35 °C (Sitio La Gran Villa I), con un promedio de 30.62 °C. Las concentraciones de oxígeno variaron entre 1.79 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (sitios Cañeras 5 y 6) y 5.37 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (sitios Terraplén II y La Gran Villa). Los valores de Eh variaron entre 103 mV (sitio Las Cañeras) y

472 mV (sitio Villasol y La Gran Villa), estableciendo una correlación positiva con los valores de oxígeno disuelto.

Por otra parte, los Pozos Cañeras 1, Cañeras 5 y Cañeras 6 presentaron las más bajas concentraciones de oxígeno disuelto de 2.6, 1.8 y 2.3 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ por debajo del límite o rango establecido de $> 4.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y $> 50.0 \%$ de saturación de oxígeno en comparación con los otros objetos hidrológicos.

Tabla 5. Estadísticos básicos de parámetros in situ de muestras tomadas en el Acuífero de Villanueva

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación
pH. [Und de pH]	5.98	7.54	6.78	0.32
CE. [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	592.00	1220.00	848.97	133.40
Temp. Agua [° C]	28.10	35.00	30.62	1.73
OD [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	1.79	5.37	3.59	1.01
Eh [mV]	103.00	472	316.45	86.32

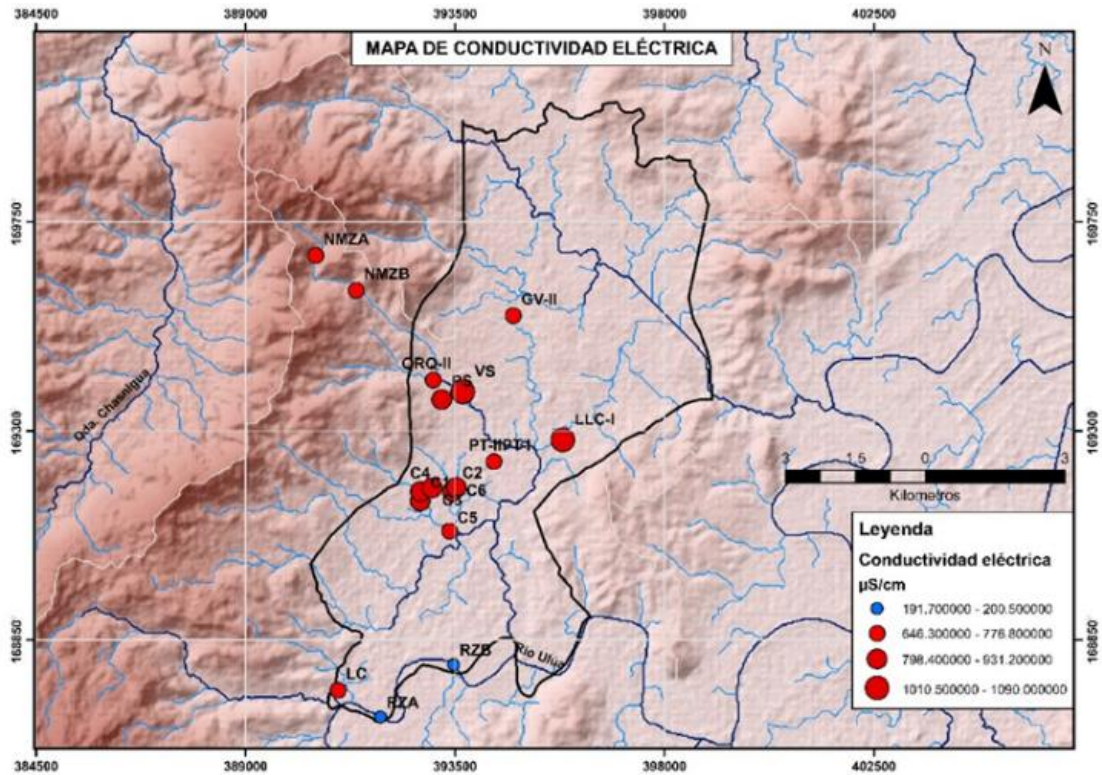


Figura 5. Ubicación de pozos donde se evaluó CE, pH, Temperatura, OD y Eh.

Medio geológico

Los sitios de la zona sur oeste del acuífero 102, 103, 104, 107 y 105 están formados por rocas volcánicas de la formación Matagalpa (Tm) y depósitos de roca calizas de la formación grupo Yojoa (Ky). El graben está delimitado por un sistema de fallas paralelas y orientadas a lo largo del valle de inundación. Se identificó un segundo sistema de fallas perpendiculares y/o diagonales al primer sistema.

Los sitios visitados hacia el nor-este 109, 108, 110, 111 y 106 lo conforman afloramientos aluviales, rocas de lavas

andesíticas fisuradas de la formación Matagalpa (Tm), afloramientos de rocas batolítico-granítico formados posteriormente a la formación Matagalpa (Kti) y posterior a la formación Matagalpa afueras del área del acuífero se identificaron rocas de la formación Cacaguapa (Pzm). El valle está compuesto por materiales aluviales (Qa) de formación de tipo reciente. La caracterización geológica, e identificación de tipo de rocas, fallas geológicas, identificación de rasgos estructurales se muestran en la Figura 6. y se describen en la Tabla 6.

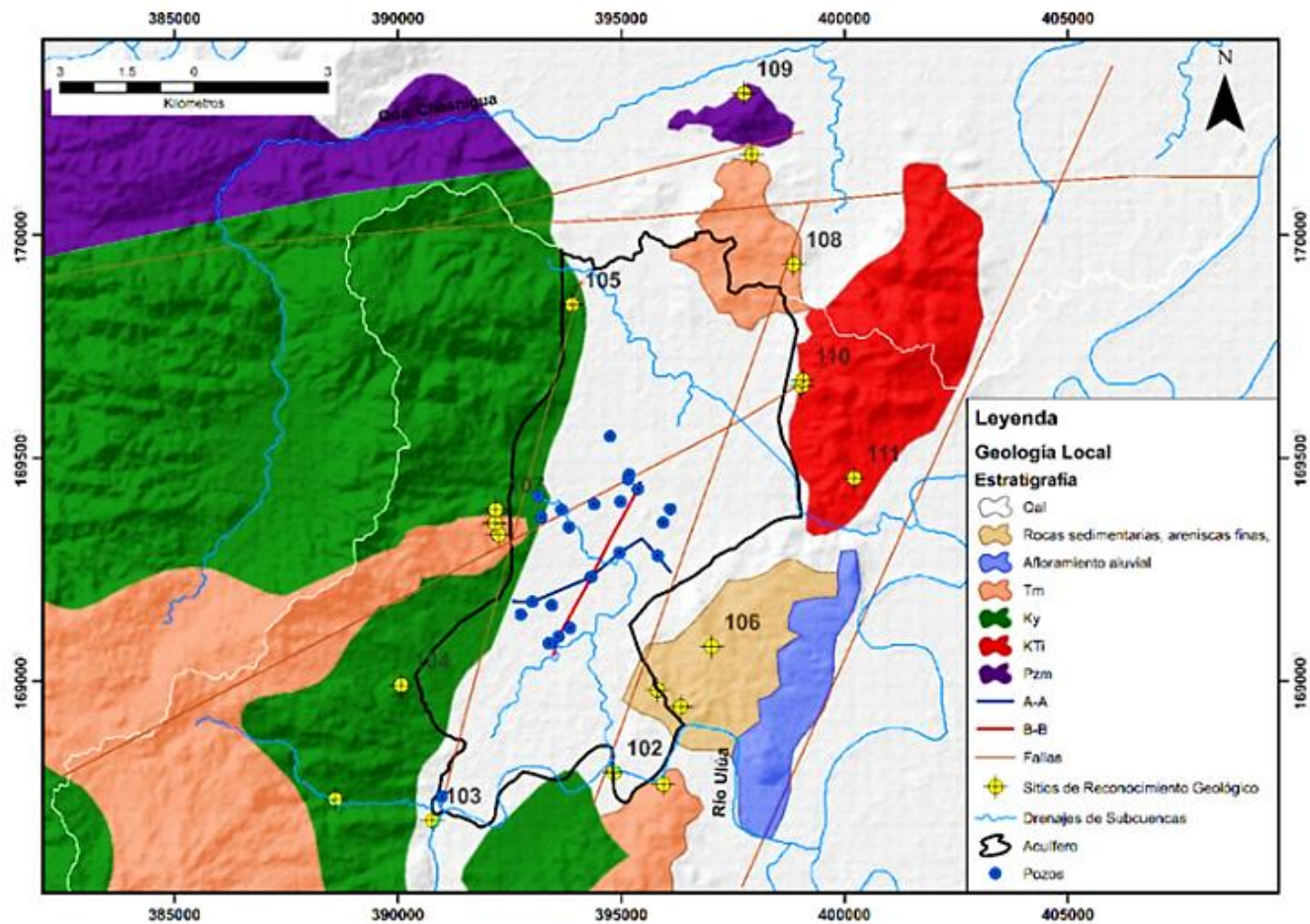


Figura 6. Estratigrafía del acuífero de Villanueva.

Tabla 6. Descripción geológica de los sitios de reconocimiento de la geología local

Sitio	Coordenadas UTM (WGS 84)		Reconocimiento de la geología
	Este	Norte	
102. Río Ulúa	394837	1687950	En este sitio se identificaron grietas de enfriamiento finas producto de la actividad volcánica de la formación Matagalpa. Falla vertical con 170° azimut de rumbo, paralela con el graben. En la parte sur del río Ulúa se identificó afloramientos aluviales formados por limos, areniscas finas, sedimentadas, conglomerados en dirección sureste. También se encontró materiales que han sido arrastrados por el río de la cuenca alta conformados por; materiales aluviales, pómez de basalto, lavas de la formación Matagalpa, tobas consolidadas, conglomerados antiguos, andesitas del grupo Padre Miguel, material piro clástico, alteraciones hidrotermales, coladas basálticas y rocas sedimentarias.

103. El Ocote	390777	1686879	Sobre este sitio predominan los escombros de calizas de color gris con espesores hasta de 60 m. Se identificaron rocas masivas de caliza con vetas de cuarzo incrustado y fisuras superficiales. Muchas de estas rocas fracturadas se encontraron selladas, debido que son rocas bastante solubles haciendo que el carbonato de calcio se recrystalizara y sellara las fracturas de las rocas.
104. Pueblo Nuevo	388597	1687353	Este sitio se encontró conformado por afloramientos de estratos masivos de caliza grises de tipo rocas lutitas calcáreas, calizas, margas, dolomitas de la formación Yojoa (Ky).
107. Villanueva	392257	1693282	En esta zona se identificó rocas ígneas plutónicas de la formación Matagalpa (Tm) formándose en las profundidades compuesta por cuarzo, feldespato, plagioclasas o intrusivo ácido. Se observó que estas rocas volcánicas fueron cortadas por la falla que se desplaza desde el sitio Catatao. Estas rocas se encontraron grietadas y fracturadas, creando fisuras y conductos de transmisión de agua.
107. Catatao	392257	169328	En este sitio se localizó la falla geológica de tipo tensional, lo que indica que se está abriendo constantemente, por tal razón provoca que se ensanche el valle, el rumbo de la falla tiene un azimut de 170° con buzamiento hacia el este y ángulo de buzamiento 66°. El relleno de la falla lo conforman las limolitas y hematitas (óxidos de hierro).
105. Zip-Buena Vista	393899	1698441	Se observó que los procesos de la formación de la cal fueron acelerados por la misma falla, permitiendo infiltración de agua que facilitó a oxidar más rápido la roca.
109. El Milagro	397749	1703174	En la parte norte, a las afueras del área del acuífero posterior a la formación Matagalpa se identificó la formación Cacaguapa (Pzm). Son rocas metamórficas de esquistos.
108. La sabana	397920	1701804	En este sitio se ubica La Loma San Carlos, este sitio lo conforman rocas de lavas andesíticas fisuradas de la formación Matagalpa (Tm).
110. El Plan	399063	1696742	Se identificaron afloramientos de Batolitos granítico – biotítico. Rocas de formación de tipo intrusivo ácido (Kti).
111. San Manuel	398853	1699348	Este sitio con ubicación en el municipio de San Manuel se identificaron afloramientos de rocas de tipo batolítico-granítico que se formaron posteriormente a la formación Matagalpa, dejando descubierto rocas graníticas sobre la superficie que contienen gran cantidad de micas. Estas son rocas de tipo intrusivo ácido (Kti).
106. Pimienta	397020	1690776	En el sector del sitio de reconocimiento se encontraron afloramientos aluviales antiguos de la misma composición de los sedimentos del río Ulúa, conglomerados mezclados con limo, arcilla como consecuencia de un bloque intermedio que subió y desplazo al río más hacia el sur.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica del agua se relacionan con los dos tipos hidroquímicos del agua encontrados en ambas zonas espaciales. En este caso se puede clasificar el comportamiento del curso del agua como una mineralización importante (valores de 800-1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) en la zona de composición bicarbonatada-cálcica, a medida que el flujo del agua hace su recorrido hacia la zona de descarga el agua adquiere una mineralización elevada por lo que cambia a tipo bicarbonatadas-sódicas-cálcicas ($>1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$) (Rodier et al., 2010).

Los altos valores de dureza total se relacionan con la composición mineralógica de la roca (basaltos, ricos en Ca^{2+} y Mg^{+2}) predominante en la zona del acuífero de Villanueva (Appelo & Postma, 2005). Las aguas duras a muy duras representan peligro para la salud, otros estudios han demostrado que el consumo de aguas con valores de dureza superior a 120 $\text{mg.l}^{-1} \text{CaCO}_3$ podría aumentar el

riesgo de padecer cálculo en las vías urinarias (Mora et al., 2015).

Las altas concentraciones de alcalinidad están relacionadas con la presencia del HCO_3^- , que es el anión predominante en las rocas basálticas, a valores de pH entre 6,0 y 8,5 unidades de pH (Appelo & Postma, 2005); que se corresponden con los valores de pH y las concentraciones de HCO_3^- encontrados en los sitios de aprovechamientos de agua muestreados. Por la heterogeneidad encontrada en los datos para ambas épocas de muestreo, el agua de Villanueva es altamente alcalina (valores de referencia $> 150 \text{ mg.l}^{-1}$ (Kevern, 1989).

La predominancia del hierro está asociada a la disolución de las rocas y minerales como el feldespato y cuarzo que en superficies muy alteradas producen liberación de óxidos de hierro. El hierro es muy utilizado en la industria, por lo que existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos.

Las elevadas concentraciones de iones disueltos en el agua pueden favorecer que el hierro no se oxide

rápidamente ya que la materia orgánica absorbe gran parte del oxígeno disuelto en el agua.

Grandes cantidades de hierro en el agua potable pueden darle un sabor metálico desagradable. (McFarland & Dozier, 2016). No es muy probable que el manganeso cause un riesgo para la salud en las cantidades que se encuentran en el agua cruda y potable; sin embargo, puede tener efectos como que el agua se torne turbia y se altere su sabor (Pradillo, 2016).

Las concentraciones de Coliformes Fecales encontradas en el pozo Orquídea No. 2 pueden estar influenciadas por la descarga directa de agua del Naciente La Mina, donde se desarrollan actividades recreativas como el senderismo y balneario que como consecuencia pueden producir fuentes dispersas de fecalismo a cielo abierto.

Por otro lado, las concentraciones identificadas en el sitio Llanos de Canadá No.1 se vinculan directamente por el vertido de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento. Estos desechos sanitarios probablemente migren a las zonas del acuífero poco profundo contaminando al agua subterránea con coliformes totales y fecales. Huallpara et al. (2017) determinó que las concentraciones de bacterias coliformes totales son utilizadas como indicador de la presencia de excrementos o desechos de alcantarillas como potencial fuente de contaminación por microorganismos patógenos entéricos en el agua.

Con respecto a la composición química del agua, el anión predominante en las muestras de agua fue el bicarbonato y se atribuye a la geología del área de estudio por la presencia masiva de rocas con carbonatos, lutitas calcáreas, calizas y dolomitas. Las aguas de tipo bicarbonatada-cálcica (Orquídea No.2, La Gran Villa II y Cañeras 1, 3 y 6) se consideraron aguas de recarga de las tierras altas de la formación Yojoa, las cuales han tenido mayor tiempo en su recorrido.

En los sitios Llanos de Canadá No.1 y Guadalupe López se observó la evolución del tipo de agua a bicarbonatadas-sódicas-cálcicas atribuyéndose a las diferentes reacciones que se producen a medida que el agua se desplaza a través de la roca, adquiriendo diferentes composiciones, debido a los minerales presentes en el terreno y el intercambio catiónico. Para el sitio Pozo Solís la composición química del agua es de tipo bicarbonatada-cálcica-sódica, interpretándose como agua que recibe importantes cantidades de sal contenida en las aguas residuales de la población.

CONCLUSIÓN

La calidad de agua para consumo humano del acuífero de Villanueva se ve alterada por la disolución de las rocas de caliza y la abundancia de minerales que arrastra el río Ulúa desde la parte alta de la cuenca hasta su deposición en el valle. La calidad bacteriológica del agua del acuífero no es apta para consumo humano, ya que se detectaron coliformes fecales en todos los sitios evaluados.

Se detectaron concentraciones de hierro que superan ligeramente la norma de agua potable y están asociadas a

la composición geológica de la zona y la disolución de rocas en superficies muy alteradas.

Conflictos de interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés. Todos los resultados y conclusiones presentados en este artículo son responsabilidad exclusiva del autor.

Reconocimiento

Especial agradecimiento a la MSc. Valeria Delgado por todo el apoyo logístico y préstamo de equipo hidrológico adquirido del Centro de Investigación de Recursos Acuáticos para el desarrollo de trabajo de campo. Al equipo de trabajo de la Municipalidad de Villanueva que acompañó el proceso de recolección de datos en campo. A la MSc. Yelba Flores por su asesoría técnica y metodológica en la investigación.

Financiamiento

Este proyecto de investigación fue financiado por el Servicio Alemán de Intercambio Académico DAAD, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, a través del Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (UNAN-Managua/CIRA) y la Municipalidad de Villanueva, Cortés, Honduras.

Uso de IA

No se utilizó.

REFERENCIAS.

- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). A. A. Balkema.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2024). *Plataforma Agua de Honduras*. <https://csi.maps.arcgis.com/home/item.html?id=4363b57fcc9b4c15a717cdcd4381a039>
- Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., & Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(2), 199–209. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue2-fulltext-7>
- Cox, M., Cohn, P. D., & Beger, P. S. (2022). Aspectos de la calidad del agua. En *Salud y estética* (pp. 47–130).
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (Vol. II, 2ª ed.). Omega.
- EPA-US. (2013). *Protocolos de bioevaluación rápida para su uso en arroyos y ríos vadeables: Perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces* (2ª ed.).
- Huallpara, L., Ormachea, M., & García, M. (2017). Evaluación de la calidad de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas residuales de la ciudad de La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 34(4), 104–111.
- Kevern, R. (1989). Alkalinity water, classification systems. McFarland, M. L., & Dozier, M. C. (2016). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Texas A&M University System.
- Mora, C., Portuguese, F., Alfaro, N., & Hernández, M. (2015). Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de Nicoya y otros distritos de Guanacaste. *Uniciencia*, 28(3), 3–10.
- Norma Regional CAPRE. (1994). *Normas de calidad del agua para consumo humano* (1ª ed.).

Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable. (1995). *Calidad del agua potable*.
Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). Pradillo, A. (2016). *Calidad del agua, contaminación y toxicidad*.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2010). *Análisis del agua* (Ed. Omega).
Standard methods for the examination of water and wastewater. (2017). (23rd ed.). American Public Health Association.
UNESCO. (2003). *Agua para todos: Agua para la vida*.