Revista de I+D TECNOLÓGICO

Portal de revistas: http://revistas.utp.ac.pa

Diagnóstico de acueductos rurales abastecidos de fuentes subterráneas: caso de estudio El Calabacito, Provincia de Herrera, Panamá

Diagnosis of rural aqueducts supplied from underground sources: El Calabacito case study, Herrera Province, Panama

Yarelis Melgar1, Euclides Manuel Deago[2*], Nathalia Tejedor-Flores[3]

[1]*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá*

[2]*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá*

[3]*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá*

***Autor de correspondencia**: euclides.deago@utp.ac.pa

RESUMEN– La calidad del agua está ligada a la salud y garantizarla supone el bienestar colectivo de la población; por lo tanto, los esfuerzos de las naciones deben ir orientados a suplir este derecho universal. En Panamá, la calidad del agua para el consumo y la seguridad alimentaria supone un gran desafío: el cumplimiento total del Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030. Esta investigación revela la influencia de aspectos técnicos y sociales en la calidad del agua de cuatro acueductos rurales en El Calabacito; sistemas que se abastecen de pozos de agua subterránea que no reciben tratamiento oportuno. En este sentido, se efectuaron análisis de laboratorio durante 2018-2019, como parte del estudio "Diagnóstico y mejoras al sistema de acueducto rural de las comunidades de Ojo de Agua, Las Lomas, La Canoa y El Calabacito", para conocer el estado fisicoquímico y microbiológico del agua en el área de estudio. Se encontró que la calidad fisicoquímica es aceptable para el consumo; no obstante, es necesario aplicar tratamiento para reducir las concentraciones de coliformes totales reportadas en los análisis. Considerando las características tecnológicas y socioeconómicas del área de estudio, se recomienda la desinfección del agua con cloro, para potenciar el beneficio/costo en el proceso de tratamiento previo. Es aconsejable, además, el monitoreo de parámetros como la turbiedad, alcalinidad, dureza y cloro residual de las fuentes; debido a concentraciones por encima de los valores máximos permitidos por los reglamentos técnicos DGNTI-COPANIT 23-395-99 y 21-2019.

Palabras clave– *Acueductos rurales, calidad de agua subterránea, GIRH, ODS.*

ABSTRACT– Water quality is linked to health and guaranteeing it supposes the collective well-being of the population; therefore, the efforts of the nations must be oriented to supply this universal right. In Panama, the quality of water for consumption and food safety is a great challenge: the total fulfillment of Goal 6 of the Sustainable Development Goals by 2030. This research reveals the influence of technical and social aspects on the quality of the water from four rural aqueducts in El Calabacito; systems that are supplied by groundwater wells that do not receive timely treatment. In this sense, laboratory analyzes were carried out during 2018-2019, as part of the study "Diagnosis and improvements to the rural aqueduct system of the communities of Ojo de Agua, Las Lomas, La Canoa and El Calabacito", to know the physicochemical status and microbiology of the water in the study area. The physicochemical quality was found to be acceptable for consumption; however, it is necessary to apply treatment to reduce the concentrations of total coliforms reported in the analyzes. Considering the technological and socioeconomic characteristics of the study area, it is recommended to disinfect the water with chlorine, to enhance the benefit / cost in the pre-treatment process. It is also advisable to monitor parameters such as turbidity, alkalinity, hardness and residual chlorine of the sources; due to concentrations above the maximum values allowed by the DGNTI-COPANIT technical regulations 23-395-99 and 21-2019.

Keywords– *Rural aqueducts, groundwater quality, IWRM, SDG.*

1. Introducción

Naciones Unidas establece que el ser humano tiene derecho a agua limpia de calidad y saneamiento [1]. Por su parte, el Objetivo 6 de la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [2], representa un compromiso de carácter mundial para garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua para consumo, y saneamiento para todos [3]; ya que tanto el bienestar social, como el desarrollo económico de las naciones no se sostienen sin un suministro de agua confiable y de buena calidad [4].

Como recurso de agua dulce, el agua subterránea juega un papel importante en la producción agrícola, el desarrollo económico y la vida misma de la población

Citación: Y. Melgar, E. Deago y N. Tejedor, "Diagnóstico de acueductos rurales abastecidos de fuentes subterráneas: caso de estudio El Calabacito, Provincia de Herrera, Panamá", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 17, no. 2, pp. (), 2021.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 26 de febrero de 2021. **Recibido con correcciones:** 14 de abril de 2021. **Aceptado:** 14 de mayo de 2021.

DOI.

Copyright: 2021 Y. Melgar, E. Deago y N. Tejedor. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

[5], aportando aproximadamente el 36% del agua utilizada en hogares a nivel mundial [6]. Las comunidades rurales no escapan de esta realidad, ya que dependen principalmente del agua subterránea que a menudo utilizan sin previo tratamiento [7]; lo que deja en evidencia que el conocimiento de la composición y variabilidad del agua subterránea, a fin de identificar los parámetros del agua que deben eliminarse o controlarse, es fundamental para garantizar la salud [8].

Áreas rurales presentan marcada negligencia en términos de infraestructura básica de agua potable e instalaciones de saneamiento, en los países en desarrollo; exponiendo a la población a una variedad de problemas relacionados con la salud y enfermedades de transmisión hídrica [4] como tifoidea, cólera, disentería, hepatitis, protozoos y otras [9]; además, enfrentan los desafíos del crecimiento de la población y la degradación de las estructuras hidráulicas existentes, a causa de la falta de mantenimiento [10]. Aunado a las malas prácticas de saneamiento, falta de educación y concienciación, ubicación geográfica de estas zonas e insuficiencia en la comunicación gubernamental; aumentando aún más estos desafíos [4]. Por esta razón, se afirma la existencia de brechas en la consistencia y la calidad del servicio de agua potable en las comunidades rurales, quienes cuentan relativamente con menos recursos económicos y tecnológicos que las áreas urbanas [11].

El monitoreo de la calidad del agua subterránea suele representar una alerta temprana si el recurso comienza a agotarse o deteriorarse, y permite evaluar si el agua es aceptable para consumo [4]. En Panamá, los principales problemas de la explotación de aguas subterráneas son la ausencia de monitoreo y que la información existente es muy limitada y reciente [12], [13]. La entidad encargada de velar por el monitoreo de estas aguas es el Ministerio de Salud (MINSA) [14], que pese a sus esfuerzos, no cuenta con personal y recursos necesarios para el monitoreo del total de los acueductos que funcionan a nivel nacional.

El objetivo de la investigación es evaluar la calidad del agua subterránea que abastecen las comunidades de El Calabacito. Además, conocer la influencia que tienen las características técnicas y el factor humano en la calidad de las aguas de estos sistemas rurales; con la finalidad de brindar un marco de referencia para estudios futuros en esta área.

2. Métodos y Materiales

2.1 Características generales

El Calabacito es un corregimiento perteneciente al distrito de Los Pozos, provincia de Herrera, en la República de Panamá (Figura 1). Presenta un clima tropical de sabana y tropical húmedo, con temperatura promedio anual entre 25°C y 34°C y precipitación promedio anual en rangos de 1,730 mm a 1,870 mm [15].

Figura 1. Ubicación geográfica de El Calabacito, Panamá. Escala 1:50,000 [15]

En esta investigación se consideran cuatro sistemas aislados de acueductos rurales, los cuales funcionan de manera similar. Cada acueducto se abastece de su respectivo pozo perforado con características específicas (tabla 1) y dirige sus aguas a un tanque de almacenamiento por sistema de bombeo. La red de distribución se alimenta directamente de este tanque de almacenamiento y distribuye agua a los hogares por gravedad.

Tabla 1. Características técnicas generales de los pozos

Características Técnicas	La Canoa	Ojo de Agua	El Calabacito	Las Lomas
Profundidad estimada (m)	37	41	30	19
Caudal estimado (l/s)	2.63	1.49	2.45	1.63
Tratamiento de aguas	No	No	No	No
Tipo de bomba	Sumergible	Sumergible	Sumergible	Sumergible
Bomba (hp)	5	5	5	1.5
Limpieza al pozo en los últimos 5 años	No	Sí	No	Sí
Estado	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno

2.1 Campañas de muestreo

Se efectuaron dos campañas de muestreo con el fin de verificar posibles cambios en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua subterránea en diferentes épocas. La primera campaña de muestreo se llevó a cabo a finales del mes de junio de 2018, mientras que la segunda campaña de muestreo se realizó a mediados de agosto 2019 (figura 2).

Figura 2. Recolección de muestras en diferentes pozos del área de estudio.

Los muestreos se llevaron a cabo conforme al procedimiento establecido en los reglamentos técnicos DGNTI-COPANIT 21-393-99 [16], 22-394-99 [17] y el Manual de Muestro de CATHALAC [18]. Estas campañas se realizaron en colaboración con los presidentes de las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAAR) y autoridades locales. Las muestras fueron almacenadas en envases plásticos esterilizados a una temperatura aproximada de 4°C, por un periodo no mayor a 4 horas, conforme se establece en la Tabla 1 del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-393-99 [16].

2.3 Caracterización de las aguas

El procedimiento de análisis en laboratorio aplicado a las muestras de ambas campañas corresponde al Método Estándar [19]. Los parámetros fisicoquímicos y los Valores Máximos Permisibles se presentan en la Tabla 2. De esta manera, se derivan dos tipos de análisis: diagnóstico general y por comparativa de parámetros 2018-2019.

Tabla 2. Valores máximos permitidos de los criterios de evaluación de los resultados

Parámetro	Valores máximos permitidos		
	DGNTI-COPANIT 23-395-99	DGNTI-COPANIT 21-2019	Guías OMS
Turbiedad (NTU)	1	1	4
pH (potencial de H)	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8
Cloro residual (mg/L)	0.8-1.5	0.3-0.8	0.2-0.5
Conductividad (µS/cm)	1,000	850	-
Sólidos totales disueltos (mg/L)	500	500	600
Dureza (mg/L)	100	200	200
Cloruros (mg/L)	250	250	250
Sulfatos (mg/L)	250	250	250
Alcalinidad (mg/L)	120	120	120
Coliformes totales (UFC/100mL)	0	0	0
Coliformes fecales (*E. coli*) (UFC/100mL)	0	0	0

2.4 Análisis estadístico

a. Parámetros fisicoquímicos

El análisis estadístico se aplica al diagnóstico por comparativa de parámetros 2018-2019 (turbiedad, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos), con la finalidad de verificar los resultados de laboratorio acerca de la calidad del agua en el área de estudio. Primeramente, se realizó un análisis descriptivo de los parámetros por medio de gráficas de barras; posteriormente, una prueba de T de Student. Para este último análisis se utilizó la herramienta "Análisis de datos" de Excel, específicamente, la función de "Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales"; donde se asumió que las variables dependientes tenían una distribución normal y se estableció un nivel de probabilidad de $p<0.05$. De esta manera se planteó la siguiente hipótesis:

Si $p > 0.05$, se acepta H_0, donde:

H_0 = No hay diferencias en el parámetro evaluado.

H_a = Sí hay diferencias en el parámetro evaluado

Para cada parámetro considerado se obtuvo la media de las variables, la varianza, y P(T<=t) dos colas.

b. Encuestas

Las encuestas se aplicaron a finales de 2018, a fin de conocer aspectos socioeconómicos, de composición familiar y la situación del agua según la impresión de los habitantes del área de estudio [15]. La aplicación de estas encuestas tuvo una duración de aproximadamente tres

días y el cálculo de la muestra se realizó en base a 241 viviendas, que corresponden al número total estimado de viviendas que se abastecen de los acueductos en estudio. La ecuación 1 se utilizó para el cálculo de la muestra.

$$n = \frac{z^2 pqN}{e^2(N-1) + z^2 pq} \quad (1)$$

Donde:
N = Población
n = Tamaño de la muestra
p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia
q = (1-p) = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio
e = Nivel de precisión
Z = Coeficiente de confiabilidad

Para un nivel de significancia de 95%, se utilizan los siguientes valores: $Z = 1.96,\ p = 0.95,\ q = 0.05,\ e = 0.05$; por lo tanto el número de muestras para las encuestas corresponde a $n = 56\ viviendas$.

Durante el proceso de aplicación de encuestas, 6/56 propietarios de viviendas seleccionadas decidieron no participar o no se encontraban en el domicilio al momento de la visita; por lo tanto, el número final de encuestas aplicadas corresponde a 50.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis de calidad de agua de las cuatro fuentes subterráneas de abastecen las comunidades de Las Lomas, Ojo de Agua, La Canoa y El Calabacito para los años 2018-2019, en términos generales revelan concentraciones por debajo de los VMP para pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), cloruros y sulfatos (Tabla 3).

El pH en rangos de 6.57 a 7.92 unidades, es favorable para la formación de cloro residual libre, ya que el cloro reacciona con el agua a un pH entre 5 y 10 unidades [9]. La CE de 302 a 454 µS/cm, sugiere la presencia de baja a moderada de iones metálicos y sales disueltas [9], que pueden generar afectación en la calidad del agua, debido a la alteración del gusto [10], [20]. Los STD de 151 a 226 mg/L, son favorables, ya que niveles altos pueden provocar problemas de incrustaciones en las tuberías y cambios en el sabor del agua, así como provocar algunos problemas gastrointestinales potenciales [21], [22]. Los cloruros de 74 a 90 mg/L, sugieren una buena condición y ubicación de las fuentes de agua subterránea en el área de estudio, ya que varios autores afirman que la alta concentración de Cl^- en el agua subterránea proviene de la meteorización de minerales como la halita, y otras fuentes como efluentes domésticos, fertilizantes, fosas sépticas, sal de carreteras y fugas de vertederos [23]. El sulfato de 0 a 77 mg/L es un parámetro que se debe monitorear constantemente debido a que, las actividades agrícolas que se realizan en el área de estudio [15], pueden elevar sus concentraciones por encima de las normas, esencialmente por el uso de fertilizantes. En cuanto a sus afectaciones, el consumo de agua rica en sulfatos puede ocasionar problemas como catarsis, efecto laxante, problemas gastrointestinales y de deshidratación [21], [24].

Tabla 3. Resumen de resultados fisicoquímicos y microbiológicos para pruebas de laboratorio 2018-2019

Muestreo	Las Lomas		El Calabacito		La Canoa		Ojo De Agua	
Fecha	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Turbiedad (NTU)	-	0.9	0.9	0.43	4.4	0.77	1.3	0.61
pH (potencial de H)	7.03	7.53	6.93	7.65	6.57	7.66	7.45	7.92
Cloro Residual (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	309	328	302	344	389	454	324	364
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	154	164	151	171	195	226	162	180
Dureza (mg/L)	-	89	-	100	-	140	-	104
Alcalinidad (mg/L)	-	138	-	134	-	172	-	152
Cloruros (mg/L)	-	90	-	74	-	80	-	78
Sulfatos (mg/L)	9	5	9	9	77	29	0	0
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Coliformes fecales (E. coli) (UFC/100 mL)	No	No	No	No	No	No	No	No

3.1 Parámetros por encima de los VMP

Las concentraciones de turbiedad de 4.4 NTU en La Canoa y 1.3 NTU en Ojo de Agua, para pruebas del 2018, exceden el límite permitido en la norma panameña de 1.0 NTU [25], [26]; no obstante, la fuente de Ojo de Agua cumple si se consideran las Guías de OMS que establece un VMP hasta 4 NTU [24]. Se considera que la turbiedad representa un indicador de contaminación en el agua [9] y sus niveles altos se deben posiblemente a la influencia de las lluvias en los recursos hídricos [27] y a las

actividades de abono y la escorrentía agrícola [9] propias del área de estudio. En cuanto a afectaciones, no se ha demostrado la influencia de la turbiedad en la salud humana, sin embargo, altos niveles conllevan a la saturación del sistema de tratamiento del agua y ocasionar el ingreso de agentes patógenos al sistema de distribución [24].

El grado de dureza del agua potable es considerable en aspectos de aceptabilidad estética, como la palatabilidad, el olor, la apariencia y el color [28]. En el caso de la dureza con rango de 89 a 140 mg/L, se presentaron concentraciones que estuvo por encima del VMP en el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. Sin embargo, si se compara con el VMP de 200 mg/L [24], [26], se tienen rangos aceptables para el consumo. El agua dura puede causar problemas en el campo industria, como el lavado y las tuberías de circulación de agua en las calderas [9] y reducir la eficacia de los productos químicos de limpieza [7]. Estudios recientes resaltan que el exceso en el consumo de agua dura provoca problemas de salud como urolitiasis, trastornos cardiovasculares, problemas renales e incluso cáncer [29].

La alcalinidad, en rango de 134 a 172 mg/L, incumple para todos los VMP. Como situación aislada, esto mejora aplicando un proceso simple de ablandamiento [15] o un proceso de filtros de carbón activado [12]. La OMS no establece riesgos a la salud por concentraciones de alcalinidad en las aguas para el consumo [24]. En tanto, los parámetros de cloro residual y coliformes totales incumplen con los VMP, que establecen que no debe existir presencia de coliformes en el agua destinada al consumo humano, ya que representan riesgos a la salud [24]–[26]. Esta situación en todas las fuentes analizadas puede relacionarse a la falta de tratamiento [15].

El cloro residual es de importancia en los sistemas de abastecimiento de agua potable porque se introduce en el agua antes de ingresar al sistema de distribución para desinfectar cualquier bacteria que prospere en la pared de la tubería en forma de biopelícula [30]. En un estudio reciente se determinó que el cloro genera formación de subproductos derivados de la desinfección como los Trihalometanos Totales (TTHM´s) en contacto con materia orgánica; incremento que se atribuye a altas concentraciones de pH, CE, cloro residual, STD y el tiempo de contacto [31]. En este sentido la OMS declara que en efecto, el uso de productos químicos para el tratamiento del agua genera subproductos; sin embargo, los riesgos a la salud resultan extremadamente pequeños si se compara con el riesgo que provoca una desinfección nula o insuficiente [24].

Por su parte, la presencia de coliformes generalmente sugiere contaminación por aguas subterráneas a través de la filtración de aguas residuales y/o materia fecal de origen animal [7], y numerosos estudios epidemiológicos en diferentes ambientes acuáticos han mostrado una relación entre el conteo de coliformes y la aparición de enfermedades infecciosas en humanos [32]. Una solución sencilla, consiste en aplicar un método simple de desinfección química como la cloración [15], debido a su costo asequible frente a la efectividad de desinfección de las aguas crudas. Sin embargo, utilizar cloro como método de desinfección supone un temor común en las poblaciones servidas, por sus posibles riesgos a la salud.

3.2. Diagnóstico por comparativa 2018-2019

Se evaluaron los resultados 2018-2019 comparando la turbiedad, pH, CE y STD del área de estudio, donde solamente la turbiedad sobrepasa el VMP de 1.0 NTU [25], [26] en las pruebas de 2018, para los acueductos de La Canoa y Ojo de Agua (figura 3). La figura 4 muestra el comportamiento del resto de los parámetros evaluados.

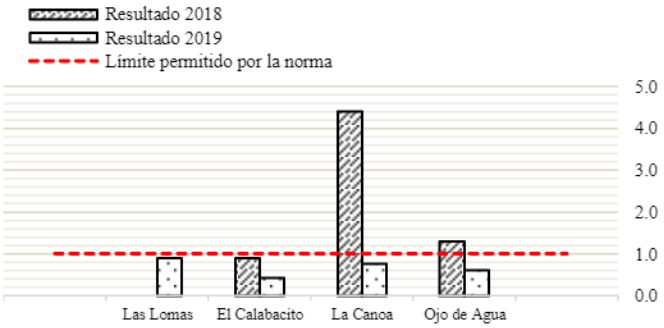


Figura 3. Turbiedad (NTU). Comparación de los resultados de turbiedad de las pruebas de 2018-2019 de los acueductos en estudio, se incluye el límite permitido por el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99

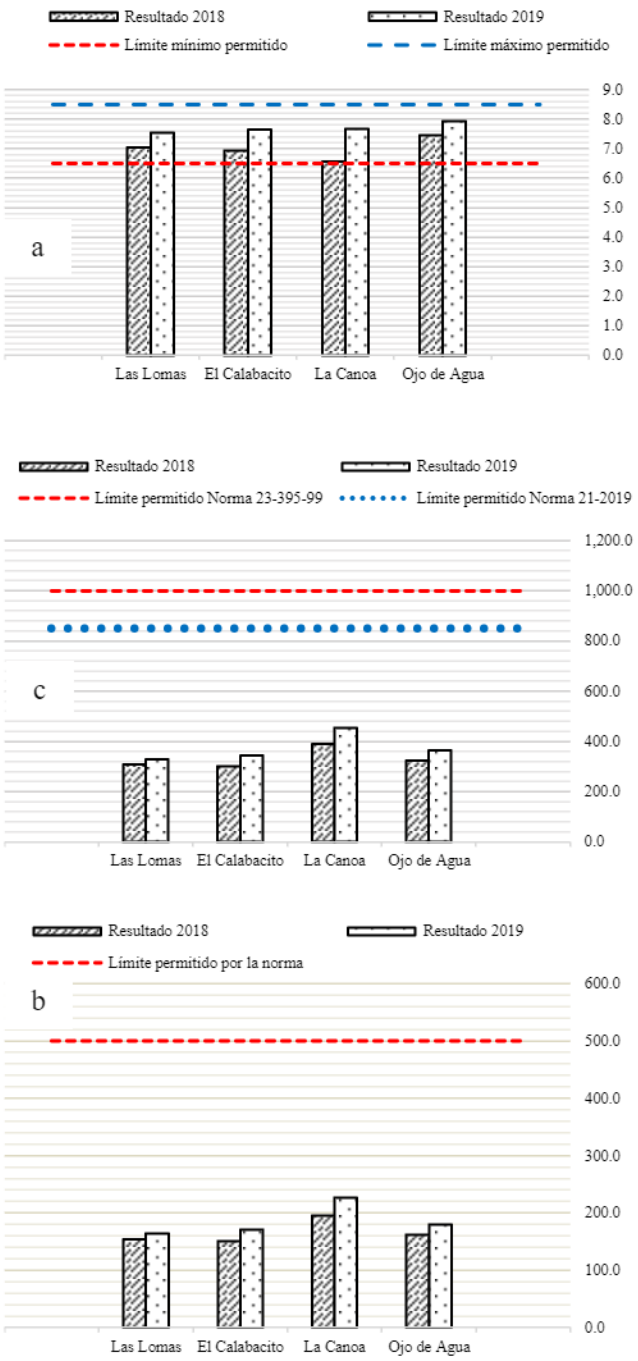


Figura 4. Comparación de los resultados de las pruebas de 2018-2019 de los acueductos en estudio, se incluye el límite permitido por el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. a) pH. b) Conductividad eléctrica (µS/cm). c) Sólidos totales disueltos (mg/L).

3.3 Análisis estadístico

Considerando la cercanía de los puntos de muestreo (Figura 5) y los resultados 2018-2019 de los parámetros de turbiedad, pH, CE y STD se procedió a realizar una prueba estadística T de Student, con el fin de conocer si existía diferencia significativa en la calidad de las aguas del área de estudio según estos cuatro parámetros.

Debido a la inexistencia de estudios previos similares para el área, se partió de las muestras extraídas en las fuentes de abastecimiento durante el desarrollo de esta investigación, es decir, los resultados 2018-2019, para los cuales se aplicó una prueba T de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales. De esta manera se lograron obtener los siguientes resultados (tabla 4):

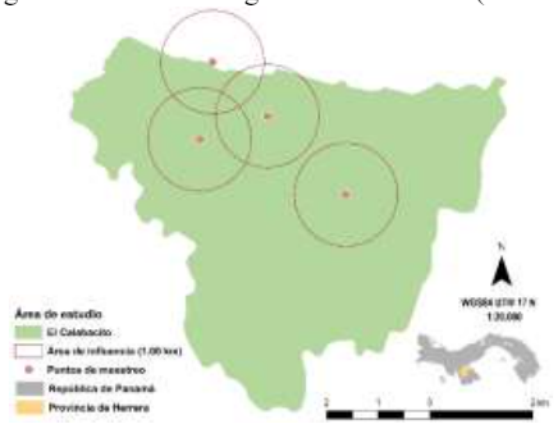


Figura 5. Cercanía de los puntos de muestreo donde las circunferencias rojas corresponden a radios de 1.00 km de distancia

Tabla 4. Resumen de resultados para los parámetros media, varianza y valor p para análisis T de Student

Parámetro	Media		Varianza		p
	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Para dos colas
Turbiedad	2.20	0.60	3.67	0.03	0.22
pH	7.00	7.69	0.13	0.03	0.01
Conductividad	331.00	372.50	1,579.33	3,169.00	0.27
Sólidos totales disueltos	165.50	185.25	408.33	780.92	0.30

Para los parámetros de turbiedad, CE y STD se obtuvo un p-valor > 0.05, con valores de 0.22, 0.27 y 0.30, respectivamente; por lo cual se acepta la hipótesis nula H_0 con un nivel de confianza de 95% y no se encuentran diferencias significativas para turbiedad, CE y STD en las muestras colectadas en el 2018 con respecto al 2019.

En el caso particular del pH se obtuvo un p-valor de 0.01, donde $p < 0.05$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula H_0 con un nivel de confianza de 95% y se demuestran diferencias significativas de pH en las muestras colectadas en el 2018 con respecto al 2019.

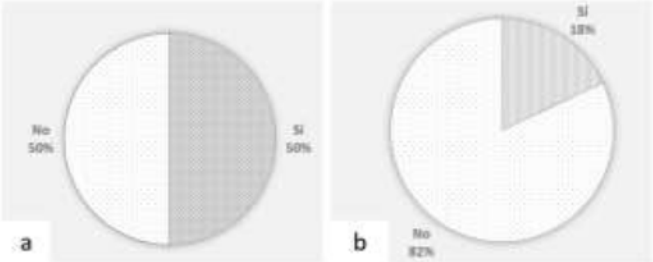
Conforme con los resultados del análisis anterior, donde el 75 % de los parámetros no presentan variaciones significativas de un año a otro, y considerando la cercanía de los pozos, se sugiere que estos pozos se abastecen de un mismo acuífero. En futuros estudios se recomienda profundizar en este tema.

3.4 Factor humano en la calidad del agua rural

Poco se ha estudiado la influencia del factor humano en el tratamiento del agua cruda que abastece las áreas rurales. Existen comunidades rurales que consumen el agua sin tratamiento por considerarla de buena calidad; esto se debe posiblemente usuarios de acueductos rurales basan su percepción de la calidad del agua casi siempre en el sabor y la apariencia [4].

De las encuestas realizadas a 50 viviendas a finales del año 2018 se obtuvo información para conocer aspectos socioeconómicos, de composición familiar y la situación del agua según la impresión de los habitantes del área de estudio [15]. Para efectos del estudio se analizaron las respuestas de las preguntas 6 y 7 del apartado "Situación del suministro de agua potable en la vivienda" de la encuesta (ver anexo 1).

Se encontró que el 50% de los hogares encuestados tenían conocimiento de las enfermedades de origen hídrico, por la falta de tratamiento de agua para el consumo; mientras que solo 18% de los hogares encuestados respondieron haber recibido información y/o capacitación por parte de las autoridades responsables de vigilar la calidad de las aguas en Panamá, referente a las enfermedades transmitidas por el agua contaminada, (figura 6). Este último porcentaje sugiere más docencia por parte del Estado, instituciones y organizaciones pertinentes de velar por el recurso hídrico, hacia usuarios de sistemas de acueductos rurales y zonas apartadas.



Conocimiento de enfermedades	Número de hogares encuestados				
	La Canoa	Ojo de Agua	El Calabacito	Las Lomas	Total
SÍ	7	5	6	7	25
NO	10	7	6	2	25

Capacitación acerca de enfermedades	Número de hogares encuestados				
	La Canoa	Ojo de Agua	El Calabacito	Las Lomas	Total
SÍ	6	0	3	0	9
NO	11	12	9	9	41

Figura 6. Resultados de encuestas referentes a la situación del agua según la impresión de los habitantes del área de estudio, como parte del proyecto "Diagnóstico y mejoras al sistema de acueducto rural de las comunidades de Ojo de Agua, Las Lomas, La Canoa y El Calabacito" [15]. a) Conocimiento de enfermedades de origen hídrico propagadas por la falta de tratamiento de agua para el consumo. b) Capacitación referente a las enfermedades de origen hídrico propagadas por la falta de tratamiento de agua para el consumo.

El cambio en el sabor del agua puede influir en la respuesta de una comunidad ante el tratamiento de agua a base de cloro; por lo tanto, las percepciones de sabor deben estudiarse junto con la implementación de un sistema de tratamiento [33]. Si bien es cierto, el cloro en forma sólida es popular debido a su disponibilidad, efectividad, costo y relativa facilidad de transporte y uso [34], se deben considerar alternativas de tratamiento del agua como el ozono o la irradiación UV, que junto al monitoreo atento del sistema de distribución pueden reducir o eliminar las preocupaciones sobre el sabor de las prácticas de desinfección a base de cloro [33]. Se requiere que el monitoreo de la calidad de aguas sea recurrente, ya que de no contar con un programa apropiado de monitoreo, la calidad podría convertirse en una limitación para el futuro desarrollo económico rural [4].

3.5 Deficiencias de diseño, operación y mantenimiento en la calidad del agua

La composición fisicoquímica y microbiológica del agua juega un rol determinante en la calidad del agua entregada; sin embargo, factores externos como

deficiencias de diseño, operación y mantenimiento de los acueductos rurales, también pueden afectar la calidad.

En Panamá, el ente más básico responsable de garantizar el acceso al agua y saneamiento a usuarios de áreas rurales son las JAAR [35]. A pesar de que las JAAR cuentan con una ley que define claramente los roles y obligaciones tanto de administradores como de los usuarios [36], presentan limitaciones, entre las cuales figuran: prácticas empíricas aplicadas al manejo de los sistemas y la insuficiencia del recurso económico para satisfacer las necesidades de operación y mantenimiento de estos sistemas, consecuencia de la mora en el pago del servicio por parte de los usuarios y las bajas tarifas impuestas [15]. Al respecto, estudios recientes en la Zona Huetar Norte (Costa Rica), sugieren que entre los factores que generan vulnerabilidad en los sistemas de acueducto rural están precisamente la falta de tratamiento básico, el mal manejo del agua por parte de los usuarios y alto nivel de deterioro por antigüedad o por falta de mantenimiento [37].

Los acueductos rurales del área de estudio no cuentan con sistemas de tratamiento, una situación que pone en riesgo la calidad del agua; comparable con un caso de estudio en la zona de rural de Turrialba (Costa Rica), donde se demostró que existe alto riesgo de contaminación debido a que el 75% de las gestoras de agua no realizan desinfección, y/o presentan tienen fallas técnicas en el proceso [38]. Aunado a esto, los miembros de la JAAR de los acueductos en estudio operan y brindan mantenimiento a sus sistemas mediante prácticas empíricas y en la mayoría de los casos, sin sustento técnico [15].

Por otra parte, estos sistemas cuentan con al menos 30 años de funcionamiento continuo desde su construcción y con mantenimiento correctivo; donde componentes como bombas, tanques de almacenamiento, tuberías, accesorios de la red de distribución, solo se renuevan en caso de daño permanente. Esta situación, junto a la falta de tratamiento, puede generar foco de contaminación de las aguas debido a infiltración de agentes patógenos en el sistema, ocasionados por daños no detectados en estos componentes deteriorados.

Para mitigar estas deficiencias, desde la perspectiva operacional de los acueductos, se sugiere a las JAAR y autoridades vigilantes de la calidad del servicio de agua rural como el Ministerio de Salud, apostar por prácticas de dosificación, las cuales deben apuntar a residuos máximos de cloro entre 1.0 y 2.0 mg/L, pero favoreciendo niveles muy por debajo de 2.0 mg/L para minimizar las preocupaciones de la comunidad en cuanto el sabor del cloro [33]. De manera consecuente, se sugiere realizar un monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar si existen variaciones significativas o mejoras en cuanto a la aceptabilidad del agua para el consumo, con respecto al agua sin tratamiento.

En el ámbito social, se requieren políticas psicosociales y prácticas de docencia y capacitación de usuarios en zonas apartadas, con el fin de que estos se conviertan en gestores de sus propias instalaciones de agua; considerando que la participación pública se ha aceptado e implementado ampliamente en la gestión moderna del agua [39], [40], [41]. Estas políticas proporcionan un marco exploratorio para examinar y conceptualizar el comportamiento del consumidor y lograr cambios sostenibles [41]. De esta manera se puede conseguir, por ejemplo, el pago oportuno en las tarifas por el servicio de agua, un mejor manejo del recurso y la protección del entorno a fin de disminuir las causas externas de contaminación de las fuentes de abastecimiento.

4. Conclusiones

Esta investigación permitió conocer la calidad del agua subterránea de El Calabacito, una región poco estudiada, pese a que pertenece a la cuenca del Río La Villa, una de las cuencas mejor documentadas de Panamá. Se encontró que la calidad de las aguas del área de estudio es aceptable en términos de pH, CE, STD, alcalinidad, cloruros y sulfatos. Para concentraciones por encima de los VMP: turbiedad, dureza, cloro residual y coliformes totales, se debe brindar una especial atención para garantizar mejoras en la calidad de las aguas del área de estudio.

Se requiere con prontitud un sistema auxiliar de tratamiento de aguas. Se recomienda la cloración por su relación beneficio/costo en el tratamiento; sin embargo, si se presenta un rechazo colectivo a este método, los tomadores de decisión deben evaluar alternativas como la desinfección UV, ozono, etc.

Finalmente, la falta de estudios previos similares a esta investigación para El Calabacito sugiere que en estudios futuros se monitoree, como mínimo dos veces al año, la influencia de fenómenos como la precipitación, escorrentía y/o infiltración en las concentraciones de

turbiedad, dureza y coliformes totales en el agua subterránea del área de estudio.

5. Agradecimientos

Se reconoce el apoyo de la Dirección Regional de Los Santos y el Laboratorio de Calidad de Las Aguas (Ministerio de Salud), especialmente al Lic. Alexis de la Cruz, por su apoyo en los análisis de calidad de agua. Agradecemos a los miembros de cada JAAR por el apoyo en la obtención de las muestras y al H. R. Roberto Bultrón (2014-2019) y la Lic. Vilma Coronado por el acercamiento a la comunidad. Al trabajo voluntario de los jóvenes Jessenia Melgar, Alvis López y Luis Chávez, en la logística y desarrollo de las jornadas de muestreo.

6. Referencias

[1] ONU, "Resolución 64/292. El derecho humano al agua y al saneamiento," in *Asamblea General de las Naciones Unidas*, 2010, vol. 660, pp. 9–11, [Online]. Available: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S.

[2] Secretaría Técnica del Gabinete Social, "II Informe Nacional Voluntario de los ODS. Panamá: Libre de pobreza y desigualdas, la sexta frontera," Panamá, República de Panamá, 2020. [Online]. Available: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26427Panama_Informe_Voluntario_Reducido_1_reduced.pdf.

[3] ONU-Agua, "Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos," *ONU*, 2021. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/.

[4] E. Lewis and T. Claasen, "Monitoring groundwater quality in a Namibian rural settlement," *Water Pract. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 312–320, 2018, doi: 10.2166/wpt.2018.040.

[5] M. Li, C. Xiao, X. Liang, Y. Cao, and S. Hu, "Hydrogeochemical evolution under a changing environment: A case study in Jilin, China," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 20, no. 5, pp. 1653–1663, 2020, doi: 10.2166/ws.2020.072.

[6] A. R. Vinturini, R. de C. Feroni, and E. S. Galvão, "Perception of the citizens in the city of São Mateus, Brazil, on water supply and the implications in its use," *Water Supply*, pp. 1–9, 2020, doi: 10.2166/ws.2020.357.

[7] F. J. Saavedra, E. Yus, and F. J. Diéguez, "Microbial wash water quality on dairy farms from Galicia (NW Spain)," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 19, no. 8, pp. 2214–2221, 2019, doi: 10.2166/ws.2019.101.

[8] M. Antonelli, A. Azzellino, E. Ficara, A. Piazzoli, and G. Saccani, "Knowledge-based planning of groundwater treatment trains for an efficient drinking water supply system in urban areas," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 17, no. 4, pp. 1133–1139, 2017, doi: 10.2166/ws.2017.011.

[9] P. Bhandari, M. R. Banjara, A. Singh, S. Kandel, D. S. Rawal, and B. R. Pant, "Water quality status of groundwater and municipal water supply (tap water) from Bagmati river basin in Kathmandu valley, Nepal," *J. Water, Sanit. Hyg. Dev.*, vol. 11, no. 1, pp. 102–111, 2021, doi: 10.2166/washdev.2020.190.

[10] H. Adamou, B. Ibrahim, S. Salack, R. Adamou, S. Sanfo, and S. Liersch, "Physico-chemical and bacteriological quality of groundwater in a rural area of Western Niger: A case study of Bonkoukou," *J. Water Health*, vol. 18, no. 1, pp. 77–90, 2020, doi: 10.2166/wh.2020.082.

[11] C. E. Marcillo, G. G. Prado, N. Copeland, and L. H. Krometis, "Drinking water quality and consumer perceptions at the point-of-use in san rafael las flores, guatemala," *Water Pract. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 374–385, 2020, doi: 10.2166/wpt.2020.025.

[12] ANAM, *Las aguas subterráneas de la región del Arco Seco y la importancia de su conservación*. Panamá, República de Panamá, 2013.

[13] ANAM, "Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá 2010-2030," Panamá, República de Panamá, 2011. [Online]. Available: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/pan118989anx.pdf.

[14] C. de Gabinete, "Decreto Ley No. 2 de 7 de enero de 1997," Panamá, República de Panamá, 1997.

[15] Y. Melgar and A. Vergara, "Diagnóstico y mejoras al sistema de acueducto rural de las comunidades de Ojo de Agua, Las Lomas, La Canoa y El Calabacito," Universidad Tecnológica de Panamá, 2020.

[16] MICI, "Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-393-99," Panamá, República de Panamá, 1999. [Online]. Available: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_21-393.pdf.

[17] MICI, "Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT-22-394-99. 'Calidad del Agua,'" Panamá, República de Panamá, 1999. [Online]. Available: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_22-394.pdf.

[18] T. Maure, "Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples," Panamá, República de Panamá, 2011. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/377370927/protocolo-de-muestreo-cathalac-pdf.

[19] American Public Health Association; American Water Works Association; Water Enrironment Federation., "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 2018. https://www.standardmethods.org/.

[20] CEAEQ, "Détermination de la conductivité : méthode électrométrique," *Ministère du Développement durable, l'Environnement la Lutte contre les Chang. Clim.*, vol. 08, no. révision 1, pp. 1–9, 2015, [Online]. Available: http://142.213.133.56/methodes/pdf/MA115Cond11.pdf.

[21] V. Wagh, S. Mukate, A. Muley, A. Kadam, D. Panaskar, and A. Varade, "Study of groundwater contamination and drinking suitability in basaltic terrain of Maharashtra, India

through PIG and multivariate statistical techniques," *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 69, no. 4, pp. 398–414, Feb. 2020, doi: 10.2166/aqua.2020.108.

[22] S. Mukate, V. Wagh, D. Panaskar, J. Jacobs, and A. Sawant, "Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water," *Ecol. Indic.*, vol. 101, pp. 348–354, 2019, [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.034.

[23] M. Chitsazan, N. Aghazadeh, Y. Mirzaee, Y. Golestan, and S. Mosavi, "Hydrochemical characteristics and quality assessment of urban groundwater in Urmia City, NW Iran," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 17, no. 5, pp. 1410–1425, 2017, doi: 10.2166/ws.2017.039.

[24] OMS, "Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta edición. Incorpora la primera adenda.," Ginebra, 2018. [Online]. Available: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[25] MICI, "Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99," Panamá, 1999. [Online]. Available: https://www.mici.gob.pa/uploads/media_ficheros/2019/07/2/normas-y-tecnologia-industrial/rt/rt-dgnti-copanit-23-395-1999.pdf.

[26] MICI, "Resolución N° 35 de 6 de mayo de 2019," 2019. [Online]. Available: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28090_A/GacetaNo_28090a_20160805.pdf.

[27] A. G. Yehia, K. M. Fahmy, M. A. S. Mehany, and G. G. Mohamed, "Impact of extreme climate events on water supply sustainability in Egypt: Case studies in Alexandria region and upper Egypt," *J. Water Clim. Chang.*, vol. 8, no. 3, pp. 484–494, 2017, doi: 10.2166/wcc.2017.111.

[28] A. A. G. D. Amarasooriya and T. Kawakami, "Removal of fluoride, hardness and alkalinity from groundwater by electrolysis," *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 9, p. 100231, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.gsd.2019.100231.

[29] R. A. Konale, N. K. Mahale, and S. T. Ingle, "Nano-zeolite-graphene oxide composite for calcium hardness removal: Isotherm and kinetic study," *Water Pract. Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 1011–1031, 2020, doi: 10.2166/wpt.2020.079.

[30] D. C. Pilarski and B. D. Barkdoll, "Sensitivity of contaminant spread to decay rate in water distribution systems with implications for the spread of emerging contaminants," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 20, no. 8, pp. 3242–3250, 2020, doi: 10.2166/ws.2020.212.

[31] E. Nuñez, "Determinación de la presencia de Trihalometanos totales (TTHM's), en agua para consumo humano proveniente de aguas subterráneas de la ciudad de Guatemala," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020.

[32] J. L. Lugo, E. R. Lugo, and M. de la Puente, "A systematic review of microorganisms as indicators of recreational water quality in natural and drinking water systems," *J. Water Health*, pp. 20–28, 2020, doi: 10.2166/wh.2020.179.

[33] J. Stout, D. J. Tellinghuisen, D. B. Wunder, C. D. Tatko, and B. V. Rydbeck, "Variations in sensitivity to chlorine in Ecuador and US consumers: Implications for community water systems," *J. Water Health*, vol. 17, no. 3, pp. 428–441, 2019, doi: 10.2166/wh.2019.297.

[34] M. Neff and B. D. Barkdoll, "Pipe enlargement to satisfy concentration-time product for in-system disinfection in a water distribution system," *J. Water Sanit. Hyg. Dev.*, vol. 9, no. 4, pp. 601–607, 2019, doi: 10.2166/washdev.2019.197.

[35] M. A. Alvarez Zaldívar and N. Barranco Pilides, "Modelo de gestión de la junta administradora de acueducto rural, para desinfección de agua con tecnología sostenible en Ipetí Emberá, Panamá," *I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. 49–58, 2019, doi: 10.33412/idt.v15.1.2097.

[36] MINSA, "Decreto Ejecutivo N°. 1839 de 5 de diciembre de 2014," Panamá, República de Panamá, 2014. [Online]. Available: https://www.asamblea.gob.pa/APPS/LEGISPAN/PDF_NORMAS/2010/2014/2014_614_3441.pdf.

[37] A. Navarro-Garro, F. Araya-Rodríguez, D. Pérez-Murillo, C. Moreira-Segura, and M. Estrada-Ugalde, "Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 26, no. 3, p. 62, 2013, doi: 10.18845/tm.v26i3.1518.

[38] L. Gaviria-Montoya, M. Pino-Gómez, and S. M. Soto-Córdoba, "Risk associated with the water infrastructure in rural water suppliers in Turrialba Cartago, Costa Rica," *Sustain. Water Resour. Manag.*, vol. 6, no. 4, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1007/s40899-020-00410-x.

[39] A. Lozano, M. J. Rodríguez, J. A. Mancebo, and D. Leante, "Evaluación de sistemas aislados de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua," *Tecnol. y ciencias del agua*, vol. 10, no. 1, pp. 122–145, 2019, doi: 10.24850/j-tyca-2019-01-05.

[40] H. Pan and M. Guo, "Can participatory water management improve residents' subjective life quality? A case study from China," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 19, no. 5, pp. 1547–1554, 2019, doi: 10.2166/ws.2019.023.

[41] V. Aliabadi, S. Gholamrezai, and P. Ataei, "Rural people's intention to adopt sustainable water management by rainwater harvesting practices: Application of TPB and HBM models," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 20, no. 5, pp. 1847–1861, 2020, doi: 10.2166/ws.2020.094.

ANEXOS
Modelo de encuestas utilizado

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TESIS

TEMA: DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO RURAL DE LA POBLACIÓN DE EL CALABACITO
FORMULARIO DE ENCUESTAS - COMUNIDAD DE EL CALABACITO, LOS POZOS, HERRERA

TESISTAS: YARELIS MELGAR
ALEXIS VERGARA

ENCUESTA No. _____ HOJA DE CONTROL No. _____

LÉASE EN VOZ ALTA: Hola, mi nombre es _____. Somos estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá, estamos realizando una encuesta como parte del desarrollo de un tema de tesis que busca realizar un diagnóstico y optimización del sistema de acueducto rural para la población de su comunidad, El Calabacito. Quisiera hacerle algunas preguntas sobre su familia y actividades que realiza referentes al consumo de agua. La encuesta durará de 10 a 15 minutos y es anónima, lo que significa que su nombre y su dirección no se registrarán. Si usted participa, puede decidir no responder una pregunta o interrumpir la entrevista en cualquier momento. ¿Está de acuerdo en participar? ____ Si ____ No

CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA

Léase en voz alta: **Quisiera empezar la entrevista haciendo algunas preguntas sobre su familia.**

1. ¿Cuántas familias viven en su casa? ☐
2. ¿Cuántas personas viven en su casa? ☐
3. En la familia hay niños en edad escolar (primaria/secundaria) ☐ Si ☐ No Especificar Número: ☐
4. Hay un miembro de familia de 65 años de edad o más ☐ Si ☐ No Especificar Número: ☐
5. Hay algún miembro de la familia con discapacidades físicas o mentales ☐ Si ☐ No Especificar Número: ☐
6. ¿Cómo es la composición de los adultos en su casa? ☐ Hombres y mujeres ☐ Mujer sola ☐ Hombre solo
7. ¿Cual es el nivel de instrucción/educación más alto que ha completado algún miembro de la familia? ☐ Ninguno ☐ Primaria ☐ Secundaria ☐ Superior

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

1. Su vivienda cuenta con:
   - ☐ Suministro Eléctrico
   - ☐ Suministro de Agua potable
   - ☐ Recolección de aguas servidas
   - ☐ Baño dentro o afuera de la casa (incluyendo letrina)
   - ☐ Tanque séptico

   Especificar número ☐1 ☐2 ☐3
2. De las siguientes declaraciones, ¿cuál describe mejor su residencia? ☐ Propia con título ☐ Propia en Trámite ☐ Alquilada ☐ Otra

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

Realiza usted algún tipo de siembra en su casa: ☐ Si ☐ No

Si la respuesta es "Si" **¿Cuáles?**

1. Granos	2. Verduras	3. Frutas
☐ Arroz	☐ Ñame	☐ Tomate
☐ Maíz	☐ Otoe	☐ Ají
☐ Lentejas	☐ Yuca	☐ Naranja
☐ Porotos	☐ Otros: _____	☐ Papaya
☐ Arveja	_____	☐ Limón
☐ Guandú	_____	☐ Mango
☐ Otros: _____		☐ Marañón
_____		☐ Otros: _____

4. ¿Cuántos miembros de su familia trabajan la siembra para otra persona? ☐
5. ¿Cuántos miembros de su familia trabajan la siembra para la subsistencia? O sea, para su propia alimentación. ☐

1. ¿Cría animales en su casa? ☐ Si ☐ No

   Si la respuesta es "Si" **¿Cuáles?**
   ☐ Pollo ☐ Res ☐ Puerco ☐ Otros: _____
2. ¿Cuántos miembros de su familia trabajan la cría de animales para otra persona? ☐
3. ¿Cuántos miembros de su familia trabajan la cría de animales para la subsistencia? O sea, para su propia alimentación. ☐

SITUACIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA VIVIENDA:

1. Hora desde la que se cuenta con el suministro de agua: ☐ a.m. ☐ p.m.
   ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9 ☐10 ☐11 ☐12
2. Hora en que se deja de contar con el suministro de agua: ☐ a.m. ☐ p.m.
   ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9 ☐10 ☐11 ☐12
3. Tipo de Almacenamiento de agua para la vivienda
   - ☐ Tanque plástico ☐ Con Tapa ☐ Sin Tapa
   - ☐ Envase de vidrio ☐ Con Tapa ☐ Sin Tapa
   - ☐ Otros Especificar: _____
4. Tratamiento del agua almacenada
   - ☐ Uso diario (se cambia cada día)
   - ☐ El agua se hierve
   - ☐ El agua se clora
   - ☐ Otro Especificar: _____
5. Considera usted que el agua tiene:
   - ☐ Problemas de olor
   - ☐ Mal Sabor
   - ☐ Problemas de "lama" (algas)
   - ☐ Otro tipo de suciedad Especificar: _____
6. ¿Tiene usted conocimiento de las enfermedades que se contraen por no darle tratamiento al agua que consume? ☐ Si ☐ No
7. ¿Ha recibido usted alguna capacitación referente a las enfermedades que se contraen por no darle tratamiento al agua que consume? ☐ Si ☐ No

LÉASE EN VOZ ALTA: Así termina la entrevista. Muchas gracias por tomarse el tiempo de hablar con nosotros y contribuir con nuestra investigación. Antes de marcharnos, ¿tiene alguna pregunta sobre la encuesta que yo pueda responderle?