

Fugas de agua no visibles en los sistemas de abastecimiento hídrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)

Not visible water leaks in the water supply systems of the Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)

David Carrera-Villacrés¹: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y Universidad Central, Ecuador.
dvcarrera@espe.edu.ec

Andrés Martínez-Molina: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador.
camartinez16@espe.edu.ec

Wilter Montero-Yancha: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador.
wfmontero@espe.edu.ec

Fecha de Recepción: 15/06/2024

Fecha de Aceptación: 18/07/2024

Fecha de Publicación: 23/07/2024

Cómo citar el artículo (APA 7^a):

Carrera-Villacrés, D., Martínez-Molina, A. y Montero-Yancha, W. (2024). Fugas de agua no visibles en los sistemas de abastecimiento hídrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) [Not visible water leaks in the water supply systems of the Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-20.
<https://doi.org/10.31637/epsir-2024-326>

Resumen:

Introducción: Los sistemas de abastecimiento de agua potable son esenciales para garantizar un suministro adecuado y en óptimas condiciones. Esta investigación se centró en identificar zonas con fugas de agua no visibles en las redes de distribución, utilizando un geófono para implementar un mapa de calor y aplicar medidas correctivas según normativas vigentes. **Metodología:** Se realizó un estudio de campo con el geófono AquaTest T10, recolectando datos de niveles de ruido para crear un mapa de calor con un código de colores. Las mediciones se llevaron a cabo en diversas ubicaciones para detectar incrementos en los niveles de ruido que indicaran posibles fugas de agua. **Resultados:** El mapa de calor mostró incrementos significativos en el nivel de ruido en el baño de mujeres del primer piso y en la caja de válvulas del cuarto piso, sugiriendo posibles fugas de agua en estas áreas. Se encontró que la dificultad para localizar una fuga aumenta a medida que su tamaño disminuye. **Discusión:** La

¹ David Carrera-Villacrés: U. de las Fuerzas Armadas-ESPE y U. Central, Ecuador.

interpretación de los datos reveló una relación entre el nivel de ruido y la presencia de fugas. La metodología utilizada demostró ser efectiva para identificar áreas problemáticas, aunque las fugas más pequeñas fueron más difíciles de detectar, subrayando la necesidad de tecnologías precisas y mediciones exhaustivas. **Conclusiones:** El uso del geófono AquaTest T10 para la detección de fugas de agua no visibles es crucial para mejorar la eficiencia de los sistemas de distribución de agua potable. La correlación entre el tamaño de la fuga y su dificultad de detección resalta la importancia de técnicas avanzadas y monitoreo constante.

Palabras clave: geófono; fugas de agua; redes de distribución; mapa de calor; isometría; medidas correctivas; normativas vigentes; niveles de ruido.

Abstract:

Introduction: Potable water supply systems are essential to ensure adequate and optimal water supply conditions. This research focused on identifying areas with non-visible water leaks in distribution networks, using a geophone to implement a heat map and apply corrective measures according to current regulations. **Methodology:** A field study was conducted using the AquaTest T10 geophone, collecting noise level data to create a heat map with a color code. Measurements were carried out in various locations to detect increases in noise levels that would indicate possible water leaks. **Results:** The heat map showed significant increases in noise levels in the women's bathroom on the first floor and the valve box on the fourth floor, suggesting possible water leaks in these areas. It was found that the difficulty of locating a leak increases as its size decreases. **Discussion:** The interpretation of the data revealed a relationship between noise levels and the presence of leaks. The methodology used proved effective in identifying problematic areas, although smaller leaks were more difficult to detect, highlighting the need for precise technologies and exhaustive measurements. **Conclusions:** The use of the AquaTest T10 geophone for detecting non-visible water leaks is crucial for improving the efficiency of potable water distribution systems. The correlation between leak size and detection difficulty underscores the importance of advanced techniques and constant monitoring.

Keywords: geophone; water leaks; distribution networks; heat map; isometry; corrective actions; regulations in force; noise levels.

1. Introducción

El agua es un elemento natural indispensable para la vida, la salud, el clima y la biodiversidad en el planeta (Fundación Aquae, 2020). La Organización de las Naciones Unidas reconoce el acceso al agua como un derecho humano (Naciones Unidas, 2021), mencionado en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (Organización Mundial de la salud, 2020), el cual garantiza la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Sin embargo, el agua es un recurso natural escaso y vulnerable, que se ve afectado por el cambio climático, la contaminación, la sobreexplotación y la mala gestión (UNESCO, 2020).

En el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE el uso del agua es fundamental para la población estudiantil, tiene diversos usos que se convierten en esenciales en el día a día, sin embargo, las tuberías presentes en el campus pueden presentar problemas como deterioro y fugas, lo cual ocasiona pérdidas del recurso hídrico.

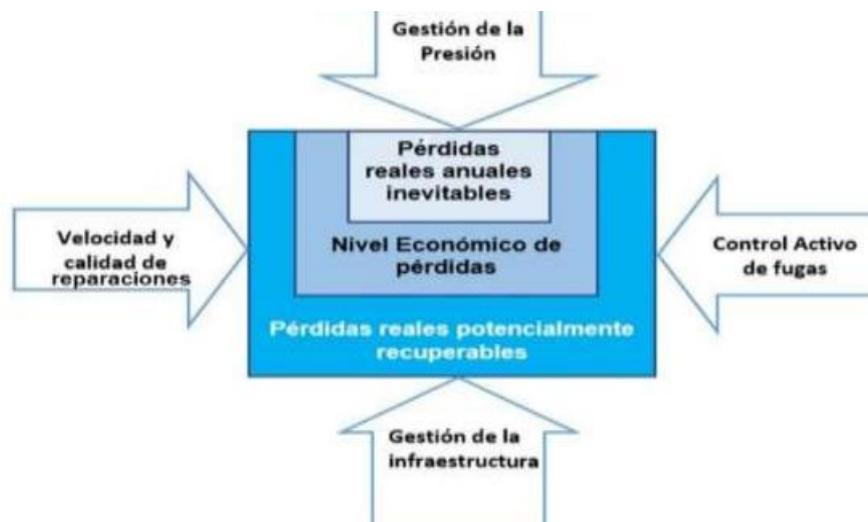
1.1. Pérdidas en un sistema de agua potable

El sistema de suministro de agua proporciona uno de los servicios más esenciales para las comunidades (Fan et al., 2021). Las fugas de agua constituyen un tema importante en la gestión de los sistemas de distribución de agua porque causan pérdidas económicas, daños al suelo y a las infraestructuras circundantes (Mashhadi et al., 2021).

En la mayoría de las redes de distribución un gran volumen de agua se pierde a través de las tuberías, por ende, se han desarrollado estrategias para reducirlas (Nejaz Muñoz, 2023). Estas estrategias se presentan en la Figura 1.

Figura 1.

Estrategias para disminuir las pérdidas de agua en las redes de distribución



Fuente: Cedeño, Molina y Perero (2021).

1.2. Fugas de agua no visibles en redes de distribución a nivel global

Las tuberías antiguas y pobremente construidas, el inadecuado control de la corrosión, el mantenimiento pobre de válvulas y el daño mecánico son algunos de los factores contribuyentes a las fugas. Un efecto de la fuga de agua, aparte de la pérdida de los recursos de agua, es la reducción de la presión en los sistemas de abastecimiento (Lynchburg, 2023). Esto generaría un impacto negativo sobre el medioambiente.

La pérdida por fugas en los sistemas de distribución es uno de los principales problemas al gestionar el agua potable en los núcleos urbanos. El porcentaje de agua químicamente tratada que se pierde en las tuberías antes de llegar a los consumidores finales ronda el 30 % a nivel mundial, y en algunas ciudades de México supera el 60% (Santos, 2020).

A nivel global, se estima que el volumen de agua no contabilizada cada día alcanza los 45 millones de metros cúbicos, debido a fugas o a fraudes y mediciones imprecisas (Benavides Holger, 2019). Un uso eficiente del agua implica modificar prácticas de algunos usuarios del agua y poder aprovechar la infraestructura existente (Levario, 2021).

La diferencia entre la cantidad de agua que sale de una planta de tratamiento al sistema de distribución y el agua que es registrada por los sistemas de medición en los usuarios es conocida como pérdidas de agua (Jaramillo, 2021). Además, muchos sistemas viejos en mal

estado hacen que sea necesario tratar gran cantidad de agua, siendo muy poca la que finalmente es utilizada por el usuario final. El impacto económico y ambiental que tienen estas pérdidas ha obligado la imposición de penalizaciones y regulaciones por parte de las autoridades competentes para el control de las mismas.

En la Figura 2, se presenta las fallas por rotura en una tubería, incluso pequeñas, generan la pérdida de grandes volúmenes de agua cuando se mantienen sin reparar durante mucho tiempo, por lo que es necesario detectarlas en un corto plazo y localizarlas con una exactitud que permita su rápida reparación.

Figura 2.

Fallas por rotura en una tubería



Fuente: <https://bit.ly/4bEvFQm>

Existen diferentes tipos de fugas, incluyendo fugas del servicio en línea y escapes de válvulas, pero en la mayoría de los casos, la porción más grande de agua inexplicable es pérdida a través de fugas en las tuberías principales.

El material, composición, edad, y métodos de ensamblaje de los componentes del sistema de distribución pueden influenciar la ocurrencia de las fugas. Otro factor relacionado, es la calidad de la instalación inicial de los componentes del sistema de distribución (Lynchburg, 2023). Las condiciones del agua son incluso un factor, incluyendo temperatura, agresividad, y presión. Condiciones externas, tales como, corriente eléctrica perdida; contacto con otras estructuras; y tensión por vibraciones del tráfico, cargas heladas, y tierra congelada alrededor de las tuberías pueden también contribuir a las fugas.

1.3. Importancia del geófono para fugas de agua no visible

Las fugas de agua no visibles no son fáciles de detectar a simple vista, por lo que es necesario recurrir al uso de equipos técnicos de nueva generación como el geófono (Chávez, 2022). A mayor fisura interna, menor es el ruido que se emite (Orna y Zumba, 2023). Una meta importante de la detección de fugas es el encontrar exactamente dónde está localizada la fuga.

Típicamente, a mayor sonido, menor la distancia que se encuentra la fuga. Las fugas pequeñas a elevadas presiones usualmente emiten mayor ruido que las fugas más grandes bajo presiones mínimas. En efecto, la mayoría de fugas grandes casi no emiten algún tipo de sonido. En la Figura 3 se muestra el ejemplo de la detección de fugas con geófono.

Figura 3.

Vibraciones de las fugas empleando el método acústico



Fuente: <https://bit.ly/44ZtO5Y>

Los geófonos representan un activo fundamental para la reducción de fugas de agua, facilitando la ubicación exacta de la fuga, reduciendo el tiempo de ubicación y cualquier costo incurrido (Daniel *et al.*, 2021; Quesada, 2020). Localizar una fuga de agua no visible mediante esta tecnología es de gran ayuda para evitar cualquier desabastecimiento de agua en el futuro (Quispe *et al.*, 2022; Rodríguez *et al.*, 2022). Las vibraciones harán que se detecte fácilmente las fugas (Izaguirre, 2023).

1.4. Frecuencia de vibración del geófono de acuerdo al material

Es importante tener en cuenta que de acuerdo al material de las tuberías el sonido va a variar (Serna, 2020). En la Tabla 1 se muestra la variación de frecuencias.

Tabla 1. *Frecuencia de vibración de acuerdo al material*

Material	Frecuencia de vibración
Acero	Buena propagación de ruido
Hierro y cobre	Alta frecuencia
Asbesto, cemento/concreto	Frecuencia Normal
PVC y plomo	Baja frecuencia
Polietileno	Mala propagación de ruido

Fuente: Elaboración propia (2024).

Para que la localización de la fuga sea efectiva, se debe realizar en horas del día o la noche en los cuales el sonido de fondo sea el menor posible (Lu *et al.*, 2023). Así mismo, hay factores que afectan la detección de la fuga de agua (Bakhtawar y Za-yed, 2023; Sebastian *et al.*, 2021), tales como:

- Material de la tubería; más dura es mejor.
- Diámetro de la tubería; más pequeño es mejor.
- Presión; más alta es mejor
- Sonido de fondo; tráfico, válvulas y aire.

1.5. Beneficios de la detección de fugas de agua no visible y su reparación

Los beneficios potenciales de la detección de fugas y su reparación que son difíciles de cuantificar (Sanz, 2022), incluyen:

- **Ahorro de dinero en facturas de agua:** Al detectar las fugas a tiempo, se puede tomar medidas para repararlas de inmediato y evitar que tu factura de agua se dispare. Con solo un pequeño ajuste en su consumo de agua, se puede ahorrar cientos de dólares al año.
- **Prevención de daños estructurales:** Las filtraciones pueden debilitar las paredes, los pisos y el techo, lo que eventualmente podría llevar a costosas reparaciones. Al utilizar un detector de fugas de agua, se puede evitar estos daños y mantener la integridad del hogar durante mucho tiempo.
- **Conservación del medio ambiente:** El uso excesivo de agua es una preocupación importante en la actualidad. Al detectar y reparar las fugas de agua, no solo se está ayudando al bolsillo, sino también al medio ambiente. Al reducir el desperdicio de agua, se contribuye a la conservación de este valioso recurso para las futuras generaciones.
- **Tranquilidad y comodidad en el hogar:** No se tendrá que preocupar por posibles daños a largo plazo causados por fugas no detectadas, lo que te permitirá disfrutar del hogar de manera segura y cómoda.
- **Detección temprana de fugas invisibles:** Algunas fugas de agua pueden ser difíciles de detectar a simple vista, ya que pueden ocurrir detrás de las paredes o debajo del suelo. Un detector de fugas de agua utiliza tecnología especializada para identificar estas fugas invisibles. De esta manera, se puede tomar medidas antes de que se conviertan en un problema mayor y potencialmente costoso.
- **Ahorro de tiempo y esfuerzo:** Buscar una fuga de agua puede llevar mucho tiempo y esfuerzo, especialmente si no se está seguro de dónde se encuentra exactamente. Un detector de fugas de agua simplifica este proceso al proporcionarte información precisa y detallada sobre la ubicación de la fuga. Se ahorrará tiempo y se podrá resolver el problema de manera más rápida y eficiente.

1.6. Normativas de Recursos Hídricos

El Ecuador cuenta con diversas normativas que regulan el uso y gestión del agua, tanto para fines domésticos como productivos. Entre ellas se destacan la Ley Orgánica de Recursos Hídricos y su Reglamento, que establecen los principios y competencias para la gestión integral del agua en las cuencas hidrográficas; las Regulaciones de la ARCSA (ARCSA, 2021), que definen los criterios y parámetros para el control de la calidad y la tarifa del agua potable y el saneamiento.

La SENAGUA (SENAGUA, 2008), que es la entidad encargada de conducir y regir los procesos de gestión de los recursos hídricos nacionales; y las normas CO 10-7.602 (Control del Agua, 2022) y CO 10-7.601 (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2022), que se enfocan en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición sanitaria, respectivamente. Además, el Ecuador aplica la NEC-11 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011) para regular la contabilidad del agua en entidades financieras. A continuación, en la Tabla 2 se muestran las Normativas Ecuatorianas Vigentes de Agua Potable.

Tabla 2.
Normativas Ecuatorianas Vigentes

Normativa Vigente	Año	País	Contenido
SENAGUA7	2008	Ecuador	Es la Secretaría Nacional del Agua, que tiene la finalidad de conducir y regir los procesos de gestión de los recursos hídricos nacionales de una manera integrada y sustentable (SENAGUA, 2008).
NORMA CO 10.7-602	2004	Ecuador	Es una norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural (Control del Agua, 2022).
NORMA CO 10.07-601	2004	Ecuador	Es una norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2022).
NEC 11	2011	Ecuador	Es una norma de contabilidad que regula la cuantificación y presentación de los inventarios en los estados financieros de las entidades (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011).

Fuente: Elaboración propia (2024).

Es necesario señalar que no todas las normativas son válidas para todos los centros educativos, ya que se deben tomar en cuenta las diferentes características de cada establecimiento como el consumo, la eficiencia, la calidad, el diseño, la gestión y el control del agua, entre otras.

Los objetivos de este estudio fueron encontrar zonas en donde se presentan fugas de agua no visibles en las redes de distribución internas y externas del Bloque A de la ESPE, mediante el uso de un geófono, para la implementación de un mapa de calor y la aplicación de medidas correctivas en base a normativas vigentes durante el periodo académico 2023-24, comprendido entre noviembre 2023 a marzo 2024.

2. Metodología

2.1. Historia de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE tiene su origen cuando el 16 de junio de 1922 se crea la "Escuela de Oficiales de Ingenieros" (ESPE, 2024). Al ampliar su pensum académico y nivelarlo con las demás universidades ecuatorianas, en 1948 se la denominó Escuela Técnica de Ingenieros. Ante la crisis universitaria del país y las necesidades de las Fuerzas Armadas, en 1972 el Gral. Guillermo Rodríguez Lara, Presidente de la República abre las puertas para que ingresen estudiantes civiles (ESPE, 2024).

Debido al crecimiento de la población estudiantil se crean facultades, institutos y centros para atender las necesidades del país; por lo que en 1977 se transforma en Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) (ESPE, 2024).

Al entrar en vigencia la constitución aprobada por el pueblo ecuatoriano en el año 2008, la Asamblea Nacional dicta una nueva Ley de Educación Superior en la que se establece la transformación de la Escuela Politécnica del Ejército ESPE en Universidad Politécnica de Fuerzas Armadas “ESPE” (ESPE, 2024).

En el 2010 es evaluada por el CONEA y se le otorga el Certificado de Acreditación Institucional reconociéndola en la categoría “A”. En el 2016, el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES), determina ubicarle en la Categoría “A” (ESPE, 2024).

En la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE se forman profesionales de calidad, en donde se cumplen estándares y criterios establecidos en el modelo de evaluación, lo cual garantiza una educación de calidad para los estudiantes que se forman en la universidad.

El Campus Matriz de la ESPE dispone de amplias áreas verdes, en donde los estudiantes pueden recrearse y/o hacer deporte. En la Figura 4 se muestra parte del Campus, en donde se puede observar el Edificio Administrativo, la Biblioteca, los Bloques A y B, Laboratorios de Ciencias de la Energía y Mecánica, Edificio de Posgrados y los Laboratorios de Mecánica de Materiales.

Figura 4.

Campus Matriz ESPE



Fuente: <https://bit.ly/4bW0mA9>

2.2. Localización de estudio

La localización de este artículo de investigación adquiere una relevancia crucial, pues garantiza que se maximicen las oportunidades y se minimicen los riesgos asociados. Además, es una decisión estratégica fundamental que puede determinar su éxito a largo plazo.

El área de estudio corresponde al Bloque A del campus Sangolquí de la Universidad de Fuerzas Armadas – ESPE, ubicado en la cabecera cantonal Sangolquí del cantón Rumiñahui provincia de Pichincha en Ecuador. En la Figura 4, se muestra el mapa de ubicación con las respectivas coordenadas.

Figura 5.

Mapa de ubicación de la ESPE.

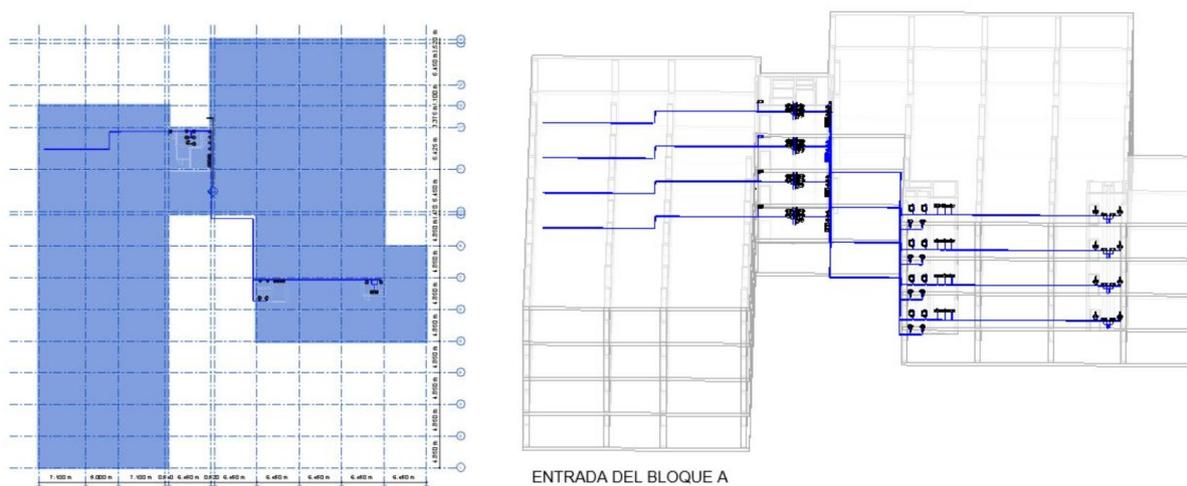


Fuente: Elaboración propia (2024).

El área de Desarrollo Físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE facilitó la entrega de uno de los planos en isometría del año 1985 del Bloque A, el cual fue digitalizado en el software Revit con licencia académica, en la Figura 5 se muestra el diseño de la red de tuberías.

Figura 6.

Digitalización de la isometría de la Red de Agua Potable del Bloque A en Revit.



Fuente: Elaboración propia (2024).

2.3. Geófono

Un geófono es una tecnología de amplificación acústica, diseñado para amplificar el ruido que generan las tuberías en situaciones de fuga y de esta manera localizar la ubicación de la misma (Tonatiuh y Ortiz, 2019).

Para realizar este análisis de fugas se necesitó la utilización de un geófono, el cual detectó de forma manual las ondas de sonido generadas por las fugas (Ferreira et al., 2019).

El geófono utilizado (Figura 7) tiene las siguientes especificaciones (Sewerin, 2023):

Marca:	Modelo:	Serie:	Color:
SEWERIN	AquaTest T10	EZ1300102	Naranja

Figura 7.

Geófono AquaTest T10



Fuente: <https://bit.ly/3x4aB6x>

2.4. Mapas de calor para fugas de agua no visible

El mapa de calor muestra una representación visual basada en un código de colores de fácil lectura e interpretación (Peña y Trujillo, 2019). Los mapas de calor se realizaron con la intención de identificar de manera gráfica un mayor número de sistemas alternativos y poder contar con propuestas para involucrar la red de agua (López y López, 2021). Con la información debidamente normalizada y almacenada en la base de datos, se realiza la salida de las gráficas detallando los colores (Camacho y Henao, 2020).

2.5. Colores del mapa de calor

Los colores cálidos, como el rojo y el naranja, suelen utilizarse para mostrar áreas de alta concentración, mientras que los colores fríos, como el azul o el verde, se utilizan para áreas de baja concentración de fugas de agua (ITC, 2023). En la Figura 8, se muestra la franja de colores para un mapa de calor.

Figura 8.

Codificación de colores para un mapa de calor



Fuente: <https://bit.ly/4aBVj6N>

3. Resultados

3.1. Reporte de datos del geófono AquaTest T10

Las mediciones del nivel de ruido fueron tomadas el día 22 de febrero del 2024 en el horario de 18:00 a 20:00 horas. En la Figura 9 se observa el reporte de uno de los datos del nivel de ruido arrojado por el geófono AquaTest T10 en el edificio del Bloque A, de manera similar se realizó para cada una de las ubicaciones analizadas.

Figura 9.

Medición del nivel de ruido con el geófono AquaTest T10



Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 3, se muestran los valores del nivel de ruido en cada una de las tuberías de cada piso del Bloque A. Se utilizó el color azul y verde para resaltar aquellas tuberías con niveles bajos de ruido, mientras que el color naranja fue utilizado para niveles de alto ruido. Las tablas mencionadas fueron divididas para baños de estudiantes y baños de los departamentos de las carreras que se encuentran en el Bloque A.

Tabla 3.

Procesamiento de datos del nivel de ruido del geófono en el piso 1, 2, 3 y 4.

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4
			N. RUIDO	N. RUIDO	N. RUIDO	N. RUIDO
BAÑOS HOMBRES	INODORO	1	285	285	395	345
		2	255	300	275	225
		3	325	315	255	250
		4	235	290	0	0
	ORINARIO	1	310	480	325	CAJA DE VÁLVULAS 740
		2	405	420	315	270
		3	385	480	345	250
		4	225	490	0	240
	LAVAMANOS	1	325	425	320	355
		2	375	495	365	290
		3	390	455	355	280
		4	175	385	345	260
BAÑOS MUJERES	INODORO	1	430	265	355	310
		2	540	250	320	270
	LAVAMANOS	1	140	270	285	250
		2	315	320	345	215
BAÑOS DISCAPACIDAD	INODORO	1	315	400	355	285
	LAVAMANOS	1	140	425	395	185
BAÑOS HOMBRES	INODORO	1	135	130	73	64
	ORINARIO	1	180	250	58	250
	LAVAMANOS	1	110	180	305	130
BAÑOS MUJERES	INODORO	1	195	0	307	255
		2	150	0	309	130
	LAVAMANOS	1	40	0	235	265
		2	55	0	210	230

Fuente: **Elaboración propia (2024).**

En el piso 1 en el baño de mujeres se presentó un valor en el rango de nivel de ruido alto, esto puede denotar una posible fuga de agua en el lugar o una presión alta, debido a que las mediciones fueron realizadas en horario de clase de los estudiantes.

En el piso 4 en la caja de válvulas del baño de hombres se presentó un valor en el rango de nivel de ruido alto, esto se debe al aumento de presiones que existen en ese punto, además se realizó la medición directamente a la tubería, esto quiere decir que no se encontraba detrás de una pared, por lo cual arroja un nivel de ruido alto.

El geófono AquaTest T10 reporta el nivel de ruido a lo largo de la tubería cubierta por distintos materiales. Sin embargo, realizando una comparación a nivel mundial con otro instrumento, como lo es el geófono LD-7 Fuji, el cual tiene un sensor de tierra muy sensible. Con la varilla

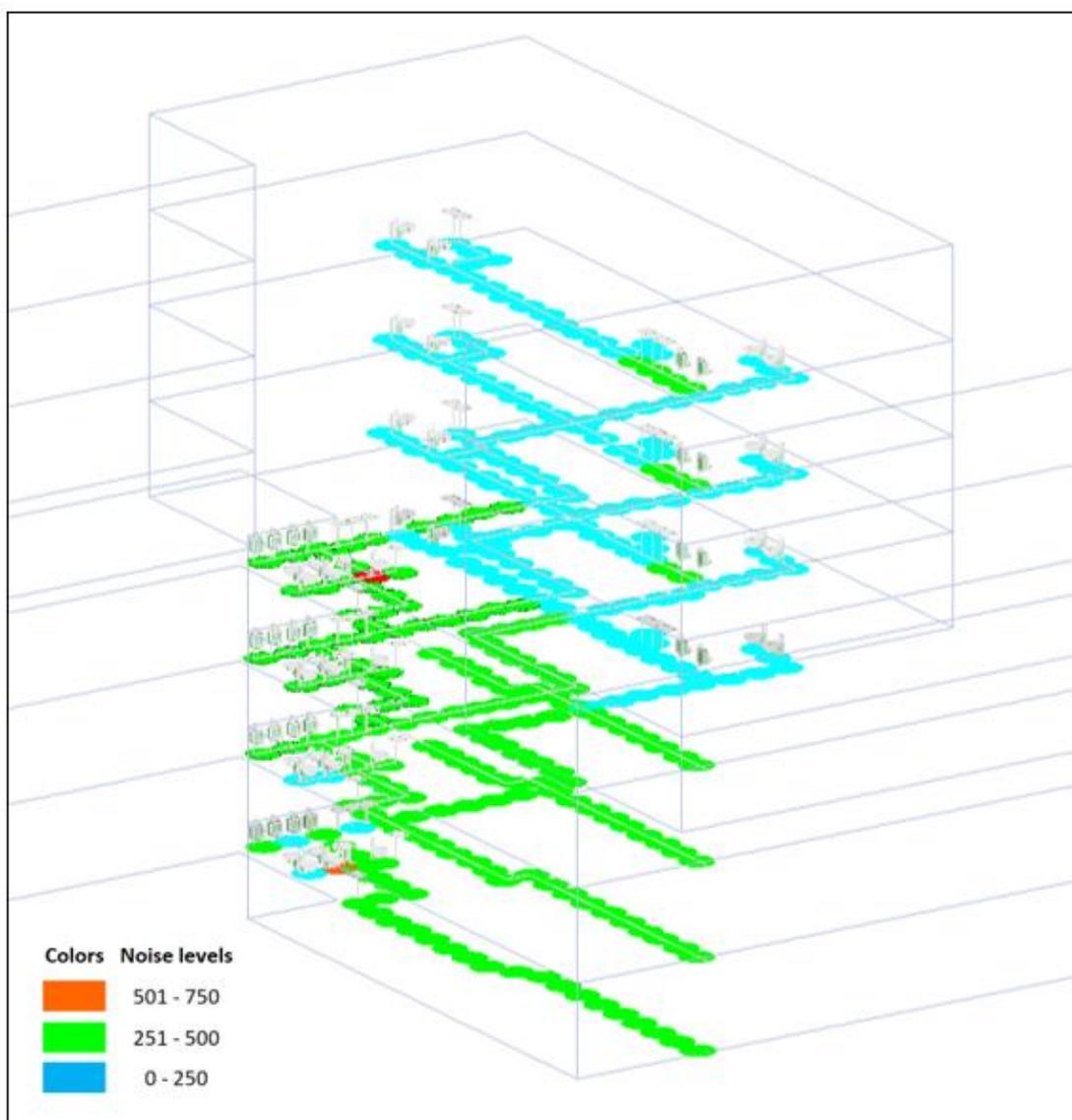
de escucha conectada al sensor de tierra, reporta los sonidos de las fugas de agua transmitidos a grifos, medidores y válvulas (Detection Solutions, 2017). Por ende, el mapa de calor se esquematizó basándonos en la fuente del geófono LD-7 Fuji.

3.2. Mapa de calor con el geófono AquaTest T10

En la Figura 10 se muestra el mapa de calor de fugas de agua en isometría del edificio del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE de acuerdo al nivel de ruido presentado por el geófono AquaTest T10. El mapa de calor fue realizado con la licencia académica del *software* Revit.

Figura 10.

Mapa de calor de fugas de agua con geófono AquaTest T10.



Fuente: Elaboración propia (2024).

En las coordenadas que se presenta en la Tabla 4 se registró una elevación inusual en las mediciones del nivel de ruido con el geófono. Este fenómeno se atribuye a la presión excesiva del agua en la caja de válvulas del cuarto piso y en el baño de mujeres del primer piso. Como resultado, en estos puntos de color naranja hay una posibilidad de fuga de agua no visible, lo que se sugiere una necesidad inmediata de mantenimiento o ajuste en el sistema hidráulico para mitigar el impacto.

Tabla 4.

Coordenadas de puntos críticos del nivel de ruido del Bloque A

Coordenadas de Puntos Críticos			
Piso 1		Piso 2	
Coordenadas		Coordenadas	
Lat. Long	-0.3141215, -78.4454895	Lat. Long	-0.31415, -78.4453744
UTM	784343.666E 9965245.364N 17M	UTM	784356.485E 9965242.207N 17M
Elevación	2522.7m	Elevación	2531.2m

Fuente: Elaboración propia (2024).

Existe una correlación entre el tamaño de la fuga y la dificultad para encontrarla, es decir que cuanto más pequeña sea la fuga, más difícil será su localización y viceversa (Rodríguez Noé et al., 2022). Un estudio realizado con geófono reveló que los métodos sonoros para detectar fugas de agua podrían ser más eficaces al emplear filtros de ruido que puedan ser ajustados con precisión y al medir las señales de fugas con sensores de vibración altamente sensibles, por lo que el apoyo conjunto con métodos no acústicos como la termografía podrían complementar la detección de fugas con alta precisión (Hunaidi et al., 2000).

4. Discusión

Existe una necesidad por optimizar la utilización y el transporte del recurso del agua, puesto que de continuar con el desperdicio de este recurso podría causar una crisis de desabasto (Tonatiuh y Ortiz, 2019), para las ciudades del Ecuador y para el mundo en general.

A pesar de que existen avances en la tecnología para controlar la utilización y cuidado del recurso hídrico, muchas de las veces no se le da la importancia necesaria. En esta investigación se pudo demostrar que al aplicar la tecnología correcta se puede crear conciencia sobre el cuidado del agua en establecimientos educativos, los cuales son puntos críticos de gran demanda del agua en las ciudades.

Al reducir el desperdicio de agua y minimizar las excavaciones y reparaciones extensivas, el uso de geófonos contribuye a la conservación de los recursos naturales y a la protección del medio ambiente. La detección y reparación rápida de fugas ayuda a evitar la pérdida de agua, un recurso cada vez más valioso y escaso en muchas regiones.

El geófono es esencial para la detección de fugas de agua debido a su precisión, eficiencia, y capacidad para minimizar costos y daños estructurales. Su uso no solo mejora la gestión y mantenimiento de los sistemas de tuberías, sino que también contribuye a la conservación de recursos y la protección del medio ambiente.

Los resultados que se obtuvieron después de la toma de mediciones del nivel de ruido dan a notar que existen posibles fugas de agua en el baño de mujeres del primer piso y en la caja de

válvulas del cuarto piso. Las mediciones fueron analizadas una por una, con el fin de que cada una de ellas esté colocada en el rango correcto del nivel de ruido para posteriormente ubicarlas en la colorimetría del mapa calor.

Al haber colocado cada medición en el rango y color correcto se pudo observar de manera clara en donde se ubicaban los puntos de nivel de ruido crítico, por lo que inmediatamente se acudió a verificar si se trataba o no de una fuga de agua no visible. Se realizaron inspecciones visuales en donde se analizó si el lugar presentaba humedad, sin embargo, después de realizar las pruebas pertinentes se constató que se trataba de un aumento de presión en las tuberías del sector.

El aumento de las presiones en los puntos críticos del nivel de ruido fue ocasionado por el uso de los servicios higiénicos, los cuales causaban un aumento de las presiones en las tuberías del lugar. Las mediciones de datos con geófono fueron tomadas entre las 18:00 y 20:00 horas, horario en el cual los baños eran utilizados por los estudiantes del campus universitario.

La investigación se vio afectada y limitada a este tipo de eventos, los cuales intervinieron en el análisis de los resultados, ocasionando niveles de ruido altos y falsas alarmas de fugas de agua no visibles en las redes de distribución.

Se sugiere que la toma de datos se lo haga en un edificio de menos afluencia de personas o cuando la comunidad universitaria no se encuentre en el campus, con lo cual se puedan tomar mediciones sin problema y con menos error ocasionado.

5. Conclusiones

Con la utilización de un equipo que percibe niveles de ruido en las tuberías de agua potable, geófono, se logró detectar de una manera precisa, dos fugas de agua no visibles que permitieron reparar y corregir el desperdicio de agua en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, evitando dañar la mampostería y rotura de losas de hormigón por donde pasa la red de agua. Las pruebas realizadas con el equipo no son invasivas, no generan impactos ambientales negativos y tampoco detiene las jornadas laborales normales de trabajo en la Universidad.

Lo más pernicioso en el abastecimiento de agua potable en el planeta son las pérdidas de agua físicas y aparentes, por rotura de tuberías y fallas en los accesorios, en promedio se estiman en un 50%, este trabajo contribuyó a generar una metodología para que se descubran las pérdidas de agua, garantizando el uso sustentable del recurso hídrico cada vez más escaso. Por consiguiente, es inherente la reducción económica en la operación y mantenimiento del sistema de agua.

6. Referencias

- Agencia de Regulación y Control del Agua. (2022). NORMA CO 10.7 – 602. Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural. <https://studylib.es/doc/8042451/norma-co-10>
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. (2021). Resolución ARCSA-DE 2021. La Dirección Ejecutiva de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. <https://bit.ly/3xqRST2>
- Bakhtawar, B. y Zayed, T. (2023). State-of-the-art review of leak diagnostic experiments: Toward a smart water network. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 10(5), e1667. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1667>
- García-Espinosa, J. C. y Benavides-Muñoz, H. (2019). Valor de ajuste del índice de fugas de agua en infraestructuras. *Revista DYNA*, 86(208), 316-320. <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.67230>
- Camacho Acuña, C. A. y Henao Zuluaga, D. A. (2020). *Sistema de información geográfica aplicada a la localización y análisis de fugas de agua potable en las redes de los usuarios de la empresa Ibal en la ciudad de Ibagué*. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/4179>
- Chávez, J. A. (2022). *Estimación del Agua Potable no Facturada en el Sistema de Distribución de las urbanizaciones Cajamarca y Ramón Castilla, Cajamarca 2021* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://bit.ly/4czgacy>
- Daniel, P., Reyes, R., Luis, J., Duy, A., Carlos, J., Torres, C., Narváez, T., Contreras, C., Pintado, J., Rocío, D. Del, Parra, U., Sebastián, J., Noboa, M., Mario, L. y Sánchez, A. (2021). Microzonification of Floor with Sliding in Nulti Parish. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1203/3/032126>
- Aquacheck Engineering LTD. (2019). *LD-7 Fuji Water Leak Detectors. Detection Solutions*. <https://aqua-check.co.uk/ld-7-fuji-water-leak-detector.html>
- ESPE. (2024). *Historia | ESPE*. <https://www.espe.edu.ec/historia/>
- Fan, X., Zhang, X. y Yu, X. B. (2021). Machine learning model and strategy for fast and accurate detection of leaks in water supply network. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 2(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/S43065-021-00021-6>
- Ferreira, A. M., Asesor, G., Andrés, C. y Ballesteros, S. (2019). *Alcance del efecto de flujo transiente en redes de distribución de agua potable de distintas topologías para la detección de fugas*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/45657>
- Aquae Fundación. (2021). *La importancia del agua en los seres vivos*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/>

- Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A. y Guan, W. (2000). Detecting leaks in plastic pipes. *Journal AWWA*, 92(2), 82-94. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2000.tb08819.x>
- ITC. (2023). *Mapas de calor y su aplicación en análisis de datos*. <https://itcformacionyconsultoria.com/>
- Izaguirre, P. V. (2023). *Detección de Fugas en Redes de Agua Potable mediante GPR, en la Ciudad de Chihuahua* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua]. Repositorio Institucional UACH. <https://bit.ly/3KUeqP7>
- Jaramillo, L. J. M. (2021). Efecto de la presión sobre las fugas de agua en un sistema de tubería simple. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*. <https://bit.ly/3VUCvdV>
- Ocaña, S. J. (2020). *Análisis, caracterización y modelación 3D de fugas de agua en sistemas de abastecimiento de agua mediante imágenes de GPR* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://bit.ly/3zfp14I>
- López Pérez, T. I. y López Pérez, T. I. (2021). *Estudio de impacto urbano*. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/27350>
- Lu, X., Wang, W., Luo, C., Wu, M., Yang, C., Liao, X., Liu, L. y Fu, Z. (2023). A rapid detection method of towed array seismic surface wave for leakage passage of dyke-dam. *Journal of Applied Geophysics*, 217, 105189. <https://doi.org/10.1016/J.JAPPGEO.2023.105189>
- Mashhadi, N., Shahrour, I., Attoue, N., El Khattabi, J. y Aljer, A. (2021). Use of Machine Learning for Leak Detection and Localization in Water Distribution Systems. *Smart Cities*, 4(4), 1293-1315. <https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES4040069>
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición Especial*. <https://n9.cl/qdhbl>
- Nejaz, E. N. (2023). *Optimización de presiones en redes de agua potable* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional UCHILE. <https://bit.ly/3KQFiQ6>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). NEC-11 Capítulo 16 - Norma Hidrosanitaria NHE Agua. <https://bit.ly/3RG8tt0>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Orna Gamboa, K. P. y Zumba Pila, C. P. (2023). *Incidencia de fugas en redes de abastecimiento de agua potable en el cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10941>
- Peña González, Z. y Trujillo Casañola, Y. (2019). Mapas de calor en sitios web. *Serie Científica de La Universidad de Las Ciencias Informáticas*, 12(9), 97-111. <https://bit.ly/4eykhXW>

- Santos-Ruíz, I., López-Estrada, F., cPuig, V., Blesa, J. y Javadiha, M. (2019). Localización de fugas en redes de distribución de agua potable. *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático*, 2, 370-375. <http://hdl.handle.net/10261/194472>
- Sanz, G. y Pérez, R. (2022). *Aislamiento de fugas en una red de distribución de agua en función de la calibración de las demandas*. ReseachGate. <https://bit.ly/3xBmHEr>
- SENAGUA. (2008). *Secretaría del Agua | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios*. <https://www.gob.ec/senagua>
- Sewerin. (2023). *AquaTest T10*. <https://www.sewerin.com/pt/produtos/agua/detecao-acustica-de-fugas-de-agua/aquatest-t10>
- Tonatiuh, S. y Ortiz, O. (2019). *Propuesta metodológica para la comercialización de servicio de detección de fugas de agua no visibles*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/912>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: Montero Yancha, Wilter Fernando; **Software:** Lima Burga, Lisbeth Estefanía; **Análisis formal:** Falcones Tufiño, Jordy Steven; **Curación de datos:** Llanos Sáenz, Joselyn Angie; **Redacción-Preparación del borrador original:** Martínez Molina, César Andrés **Redacción-Re- visión y Edición:** Montero Yancha, Wilter Fernando; Martínez Molina, César Andrés; **Supervisión:** Carrera Villacrés, David Vinicio.

Financiación: Esta investigación fue desarrollada con fondos del gobierno del Ecuador a través de convocatorias de proyectos de investigación y vinculación que organiza cada año la universidad.

Agradecimientos: A los tesisistas de la carrera de Ingeniería Civil que empezaron el levantamiento de información en el campus matriz como: Rodney Alberto Garcés, Dylan Vaca, Daniel Narváez, Capt. Fabricio Montaña y Mishell Quintuña. Finalmente, a la Unidad de Desarrollo Físico de la ESPE que siempre colaboraron con los trabajos realizados.

Conflicto de intereses: No existen conflictos de intereses

AUTOR/ES:**David Vinicio Carrera-Villacrés**

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Civil. Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental GICA. Ingeniero Civil graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, especializándose en la parte ambiental e hidrosanitaria con 21 años de experiencia profesional. A la fecha ha publicado 37 artículos indexados a Scopus, 2 a Science Direct y 58 artículos a Latindex en congresos en Ecuador y en el Exterior. En el año 2017 y 2022 publicó el libro Fuentes Termales del Ecuador y Ciencia del Suelo, caracterización y conservación respectivamente. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Berna en Suiza y la Federal de Ceará en Brasil. Actualmente, es Coordinador del Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA), Profesor Titular Principal Nivel 1 de la ESPE y Profesor Titular Agregado Nivel 3 de UCE.

dvcarrera@espe.edu.ec

Índice H: 11

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7648-5356>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56074515600>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=tRIQUmMAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/David-Carrera-Villacres>

Academia.edu: <https://espe.academia.edu/DavidCarreraVillacr%C3%A9s>

César Andrés Martínez-Molina

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Civil. Bachiller en Ciencias Generales en el año 2018 en el Colegio Juan Pío Montúfar de la ciudad de Quito - Ecuador. Hoy en día trabajando en el proyecto de integración curricular previo a la obtención del título de ingeniero civil denominado Evaluación de parámetros de demanda ingenieril ante vibraciones de una edificación de uso crítico a través de un sistema de monitoreo de salud estructural, en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. En 2023 y 2024 trabajó en el proyecto Actualización de la revista construcción CAMICON-edición mayo-junio 2024, estudio de costos a nivel nacional y elaboración de guía para restauración de cascos históricos, en la cámara de la industria de la construcción – CAMICON.

camartinez16@espe.edu.ec

Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?view_op=new_profile&hl=es

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Andres-Martinez-126>

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/Andr%C3%A9sMart%C3%ADnez362>

Wilter Fernando Montero-Yancha

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Civil. Bachiller en Ciencias Generales en 2018. El GAD de Lago Agrio - Ecuador, le otorgó una beca para seguir sus estudios de tercer nivel. Expositor en el VI congreso de estructuras de hormigón y acero del Dr. Roberto Aguiar en la ESPE en 2024. Ayudante en el Consorcio Amazon Group del proyecto de construcción de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales de los barrios lucha de los pobres, el

porvenir, Jaime Hurtado, Nuevo Israel, San Diego y las Orquideas de la ciudad de Nueva Loja, Cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos - Ecuador. Participante del curso de *Revit Workshop* Dictado Por Eeri - Espe Student Chapter.

wfmontero@espe.edu.ec

Google Scholar: <https://scholar.google.com.ec/citations?user=Csavm2wAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Wilter-Montero-Yancha>

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/MONTEROYANCHAWILTERFERNANDO>