



Eficacia de barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido producido por vehículos de carga pesada

Efficacy of acoustic barriers with ecobricks in the reduction of noise produced by heavy load vehicles

Fernandez-Mamani, Rigina Guadalupe^{1*}

Carranza-Sánchez, Elmer Segundo¹

Lozano-Sulca, Yimi Tom¹

¹Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú

Recibido: 19 Sep. 2023 | **Aceptado:** 18 Dic. 2023 | **Publicado:** 10 Ene. 2024

Autor de correspondencia*: fernandezguadalupe500@gmail.com

Como citar este artículo: Fernandez-Mamani, R. G., Carranza-Sánchez, E. S. & Lozano-Sulca, Y. T. (2024). Eficacia de barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido producido por vehículos de carga pesada. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(1), e618. <https://doi.org/10.51252/reacae.v3i1.e618>

RESUMEN

La contaminación sonora es una dificultad que se ha incrementado en los últimos años, no solamente en Perú, sino también a nivel mundial. La calidad del entorno urbano, la viabilidad de las ciudades y la productividad de los ciudadanos se ven impactadas negativamente por la contaminación acústica. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia de las barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido producido por vehículos de carga pesada en áreas urbanas de Moquegua, Perú. Se realizó la fabricación de los ecoladrillos con material reciclable, específicamente botellas de polietileno tereftalato, rellenas con elementos plásticos usados, limpios y secos. Se construyó dos diseños de barreras, diseño 1: sin techo y sin puerta, que atenúo el ruido ambiental en 15,87%, diseño 2: con techo y con puerta, que atenúo el ruido ambiental en 27,96%. Estos resultados indican que el diseño 2 fue más efectivo en la atenuación del ruido producido por vehículos de carga pesada en las avenidas seleccionadas. Se concluyó que, al realizar las mediciones con las barreras acústicas, se logró la atenuación del ruido, lo que beneficiará a la población para una mayor tranquilidad y bienestar en su salud.

Palabras clave: contaminación; efectividad; monitoreo; nivel de ruido; polietileno tereftalato; ruido ambiental

ABSTRACT

Noise pollution is a difficulty that has increased in recent years, not only in Peru, but also worldwide. The quality of the urban environment, the viability of cities and the productivity of citizens are negatively impacted by noise pollution. The objective of the research was to evaluate the effectiveness of acoustic barriers with ecobricks in reducing the noise produced by heavy load vehicles in urban areas of Moquegua, Peru. The ecobricks were manufactured with recyclable material, specifically polyethylene terephthalate bottles, filled with used, clean and dry plastic elements. Two barrier designs were built, design 1: without roof and door, which attenuated environmental noise by 15.87%, design 2: with roof and door, which attenuated environmental noise by 27.96%. These results indicate that design 2 was more effective in attenuating the noise produced by heavy load vehicles in the selected avenues. It was concluded that, by performing the measurements with the acoustic barriers, noise attenuation was achieved, which will benefit the population for greater tranquility and health well-being.

Keywords: pollution; effectiveness; effectiveness; monitoring; noise level; polyethylene terephthalate; environmental noise



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación sonora es una dificultad que se ha incrementado en la época actual (último siglo), no solamente en el Perú, sino también en el planeta. Esta es la señal de que perturba la mejora en las actividades diarias, por lo que es ineludible estar al tanto y en educarse a alertar. La calidad del entorno urbano, la viabilidad de las ciudades y la productividad de los ciudadanos se ven impactadas negativamente por la contaminación acústica (Robles et al., 2019).

La polución acústica es un problema ambiental, pero su gravedad no recibe una vigilancia adecuada. Este tipo de contaminación acontece cuando se producen ruidos que consiguen ser penetrantes, superando el nivel de fondo aceptable, de forma que el sonido formado ocasiona malestar en las personas y en animales (Massa-Palacios et al., 2021).

El ruido generado por los vehículos representa un contaminante ambiental que puede tener repercusiones tanto en la salud física como mental de las personas expuestas de manera constante. Este fenómeno impacta de manera significativa a los residentes urbanos, especialmente a aquellos que residen en proximidad a vías con alto volumen de tráfico vehicular (Zamorano-González et al., 2019).

En la ciudad de Matamoros, ubicada en el estado de Tamaulipas, México, es claro que los niveles de ruido vehicular exceden límites máximos permisibles (LMP) determinados por los órganos mundiales de bullas ambientales. La exposición al ruido puede afectar negativamente a diversos elementos de peligro para la salud, como la presión arterial, lo que podría causar que una proporción relativamente pequeña de la población desarrolle síntomas clínicos, por ejemplo, de insomnio o enfermedad cardiovascular. Como consecuencia, el riesgo de mortalidad aumenta entre los individuos con tales presentaciones clínicas (Jensen et al., 2018).

La población también adquiere un papel importante, pues necesita estar sensibilizada ante este factor de riesgo y las consecuencias de la exposición al ruido, la manera de protegerse, pero principalmente, la manera de evitar la generación de ruidos altos, por lo que se requieren programas de información y concientización (Zamorano-González et al., 2019).

Escasas son las ciudades en las que se han iniciado cruzadas para minimizar y atenuar las secuelas provocadas por sonidos desagradables. En la actualidad, las industrias, las urbanizaciones y los trajines diario ocasiona gran polución en la audición en los lugares de las urbes. El transporte, las construcciones, el rápido incremento de la población, entre otros muchos más, son las principales causas de sonido en las urbanizaciones. Se podría aseverar que todos estos accionares rompan los comedimientos naturales y ocasionen angustia, puesto que los bullicios son todos aquellos sonidos peligrosos los cuales perturban y afectan a las personas. Hoy en día, el sonido es uno de los importantes orígenes de polución en las grandiosas ciudades y urbanizaciones (Alfie Cohen & Salinas Castillo, 2017).

Según Olague-Caballero et al. (2016), la contaminación por ruido es un problema de continua preocupación pública, por lo que se dedican esfuerzos importantes para controlarlo. La manera más efectiva de medir el sonido o la presión acústica en un momento específico es a través de la unidad denominada decibelios, representada simbólicamente como dB. El dispositivo utilizado para realizar estas mediciones se conoce como sonómetro. La contaminación acústica, cuando no se monitorea adecuadamente, interrumpe diversas actividades colectivas al obstaculizar la comunicación verbal, un pilar fundamental en la armonía humana. Además, afecta el descanso, el sueño y la relajación, dificultando la concentración y el proceso de aprendizaje. De manera más preocupante, puede dar lugar a estados de fatiga y tensión que pueden desencadenar trastornos de índole nerviosa y cardiovascular (Mendoza et al., 2018).

La bulla producida por los vehículos genera categorías ascendentes de 90 dB en rutas urbanizadas de transporte de carros altos que van desde 80 y 90 dB en rutas urbanizadas con tráfico de transporte

mediano. Relacionar la intensidad del ruido con la percepción de disgusto entre los individuos, los estudios indican que alrededor del 20% al 25% de los habitantes de Europa experimentan angustia debido a esta problemática. Este malestar ha llevado a establecer umbrales de molestia, con el propósito de evaluar el nivel de ruido en diversas ciudades en función de su intensidad sonora. Es crucial emprender acciones para evaluar y abordar esta situación, considerando el bienestar y la salud mental de la población afectada por el ruido, y así trabajar hacia entornos urbanos más saludables y sostenibles (Andrade et al., 2018).

En el área urbana es común observar la circulación de automóviles ligeros, vehículos de carga mediana y vehículos de carga pesada. A una velocidad de 50 km/h y a una distancia de 15 m, los niveles de presión sonora en decibeles ponderados (dBA) para vehículos livianos se registran en 62 dBA, para vehículos de carga media, la cifra asciende a 75 dBA y para vehículos de carga pesada, alcanza los 89 dBA. Entonces quiere decir que los carros de carga pesada son totalmente los que realizan el mayor contagio auditivo. Según la norma internacional publicada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), se estimó unos 65 dB a modo de límites superiores deseable para las personas.

Según el Ministerio de Ambiente (MINAM) en el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (2023) Existen cuatro áreas de estudio de las ECA's relacionadas con el sonido, abarcando áreas de resguardos especiales, zonas residenciales, sectores comerciales y áreas industriales. En virtud de esto, se establecen límites específicos para los niveles de ruido durante las horas matutinas, así como para otros periodos durante la noche.

En diferentes países, con el objetivo de reducir la contaminación acústica, se contruyeron muros acústicos para mitigar el ruido. Sin embargo, estas infraestructuras de reducción de sonido conllevan costos significativos. Por esta razón, esta investigación propone la fabricación de estos muros utilizando materia prima proveniente de residuos sólidos y materiales de origen orgánico (Puma Arias, 2018).

De acuerdo al objetivo principal se evaluó la eficacia de las barreras acústicas con ecoladrillos en los que se tuvo resultados de 15,87 % a 27,96 % en la atenuación de ruido ambiental producido por vehículos de carga pesada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Una alternativa para reutilizar los desechos de plástico es el eco ladrillo. Esta innovación posibilita el reuso de materiales como bolsas de patatas fritas, envolturas de galletas, chocolates, y otros tipos de envases difíciles de reciclar. Estos materiales se rellenan en envases de capacidad inferior a tres (3) litros, contribuyendo así a la reducción del desperdicio plástico y fomentando la sostenibilidad. Una vez que estos envases estén en su lugar, se procederá a compactarlos para que puedan ser aprovechados en la fabricación de muebles, espacios de jardín, paredes, casas, centros comunitarios y construcciones de gran escala, abriendo así un abanico de posibilidades para la reutilización de estos materiales y promoviendo prácticas más sostenibles en la construcción y el diseño (RPP, 2019).

El tipo de investigación fue aplicada con un enfoque cuantitativo, de igual manera fue de nivel explicativo, el diseño de investigación fue experimental, tipo de sub diseño preexperimental de pre y post evaluación, ya que se midió el nivel de ruido antes y después de la implementación de las barreras acústicas con ecoladrillos.

La investigación está compuesta por las cuadras de la avenida Andrés Avelino Cáceres y avenida Circunvalación. Se tiene con un total de 3,29 km en la avenida Andrés Avelino Cáceres y 1,43 km en la avenida Circunvalación.

Las muestras son los puntos de la Av. Andrés Avelino Cáceres y la Av. Circunvalación en donde se realizaron 8 mediciones por punto en diferentes momentos del día, esto debido a que son las principales avenidas

transitadas por los carros de carga pesada. Los puntos para monitorear la bulla ambiental están ubicados en áreas comerciales. Para la presente investigación los lugares de monitoreo de bulla ambiental están ubicadas en áreas comerciales. Para establecer las zonas se realizó la consulta al Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, en la que se establece los grados de bulla permitidos según las áreas aplicadas.

Tabla 1.

Ubicación de los puntos de monitoreo

Avenida	Punto	UTM-zona 19k		Altitud	Zona
		E	N		
Av. Andrés Avelino Cáceres	1	298383	8099986	1585 m.s.n.m.	Comercial
Av. Circunvalación	2	295777	80988366	15577 m.s.n.m.	Comercial

Realizamos el muestreo no probabilístico por conveniencia, para lo cual empleamos un sonómetro como registrador de grados de bulla y con la indagación recabada en la ficha de campo. Para la presente investigación consideramos las siguientes variables:

Variable dependiente

Reducción de ruido; el reglamento nacional de monitoreo de ruido ambiental precisa como ruido ambiental, los ruidos que logran provocar desagradados afuera del lugar o pertenencia que tiene al origen en el emisor (Resolución Ministerial N° 227-2013-MINAM, 2013).

La medición del nivel de ruido lo llevamos a cabo en base a su intensidad, realizando evaluaciones con un sonómetro en momentos específicos. Estos momentos incluyeron el período previo a la instalación de las barreras acústicas, así como después de su implementación, con el propósito de determinar la distancia a la que se logra reducir el nivel de ruido.

Variable independiente

La barrera acústica construida con ecoladrillos se presenta como una opción destinada a reducir el nivel de ruido originado por diversas fuentes, ya sea el tráfico vehicular o actividades que generan un aumento excesivo de ruido en la sociedad. Estas barreras acústicas poseen propiedades de aislamiento y absorción, contribuyendo así de manera efectiva a mitigar la contaminación acústica en el entorno (Pfretzschner et al., 2009).

Para establecer la eficacia de las barreras acústicas con ecoladrillos, tomamos en cuenta las medidas como la altura, espesor y longitud.

2.1. Construcción de la barrera acústica con ecoladrillos

El procedimiento metodológico para este estudio se describe de la siguiente manera:

- Seleccionamos las vías más transitadas por automóviles de carga pesada en la ciudad de Moquegua, teniendo en cuenta factores como la densidad del tráfico, la ubicación y topografía para calcular el grado de la bulla antes y después de implementar las barras acústicas. Se recolectó residuos sólidos como las botellas de polietileno (PET) y plásticos, envolturas de galletas, fideos y mazamoras. El tereftalato de polietileno (PET), un plástico utilizado para envasar agua y bebidas carbonatadas se acepta porque las botellas de PET son reciclables y no presentan riesgos para la salud.
- Para la elaboración de los ecoladrillos se empleó material reciclable, como botellas polietileno de las cuales se debe retirar las etiquetas, estas botellas se llenan con elementos plásticos usados, limpios y secos. Estando colocados estos desechos en la botella, realizamos la compresión con una varilla, con la finalidad de sacar todo el aire. Al terminar el relleno, colocamos la tapa respectiva y ya está

preparado para que sea reusado. Se debería tener en consideración que debe estar duro, lo más compacto que se consiga.

- Una vez elaborados los ecoladrillos, procedemos a la construcción de la barrera utilizando una mezcla de cemento y arena para unirlos, siguiendo un proceso similar a la construcción de paredes con ladrillos convencionales. Este procedimiento se repite hasta obtener la barrera con las dimensiones deseadas y que cumpla con el propósito requerido.
- Posterior a seleccionar cuidadosamente las vías y considerar la normativa vigente junto con las características específicas del área, procedimos a la instalación de barreras acústicas con ecoladrillos en puntos estratégicos. El objetivo es evaluar el nivel de contaminación acústica antes y después de la implementación de estas barreras, utilizando un sonómetro, de acuerdo con las pautas establecidas.

2.2. Método de análisis de datos

Realizamos una evaluación estadística de la investigación, comparando los niveles de ruido ambiental antes y después de la instalación de las vallas acústicas con ecoladrillos en diversas condiciones y topografías.

Presentamos los resultados, usando figuras, tablas y otros peculios sensoriales para que faciliten su comprensión, para ello utilizamos las herramientas de análisis de datos como el programa de Excel. También se usó SPSS para las pruebas estadísticas ANOVA (análisis de varianza).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

En este punto, presentamos los resultados obtenidos en relación al objetivo de la investigación, que incluye mediciones de ruido en la Avenida Andrés Avelino Cáceres y la Avenida Circunvalación. Las mediciones se llevaron a cabo en condiciones sin barrera, con barrera pero sin puerta y techo, y con barrera que incluye techo y puerta, tanto en horarios diurnos como nocturnos. Estas mediciones forman parte del estudio centrado en la reducción del ruido en el entorno. En las tablas y figuras consecuentes se detallan los resultados de los monitoreos realizados en las zonas seleccionadas, proporcionando una visión clara de las variaciones observadas en los niveles de ruido bajo las distintas condiciones evaluadas.

3.1.1. Resultados de monitoreo de ruido ambiental

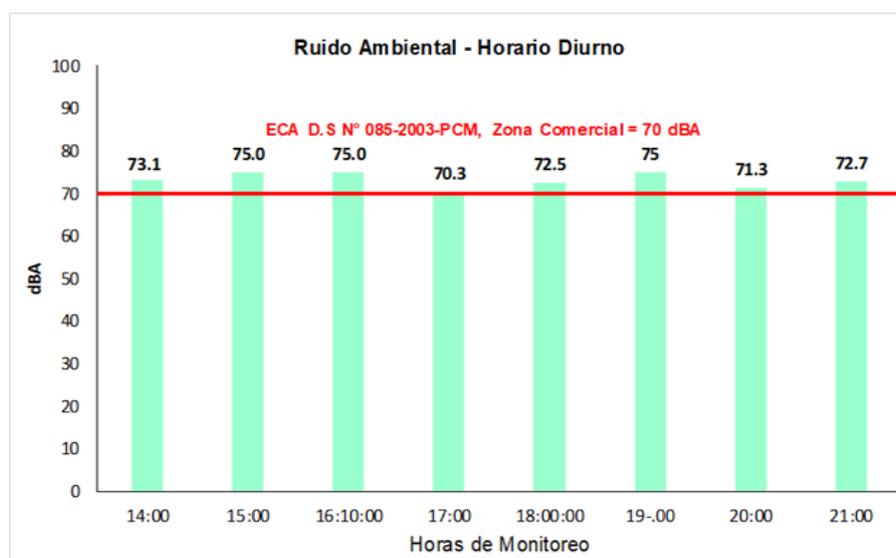


Figura 1. Resultados de monitoreo de ruido sin barrera acústica en la Av. Andrés Avelino Cáceres horario diurno

En la Figura 1 podemos observar las mediciones realizadas sin barrera acústica en horario diurno, donde se realizaron 8 mediciones, en la Av. Andrés Avelino Cáceres, la primera medición se realizó a las 14:00 horas, en la que se obtuvo un valor de 73,1 dB y la última medición fue realizada a las 21:00 horas, en la que se registró un valor de 72,7 dB, el valor más bajo se registró a las 17:00 horas hasta 70,3 dB, el más alto se registró en tres horarios de las 15:00; 16:00 y 19:00 con valores de 70,5 dB cada una, el promedio de las lecturas es el valor de 73,11 dB, el cual sobrepasa el valor de la ECA para ruido aprobado por Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial, en este horario es 70,0 dB.

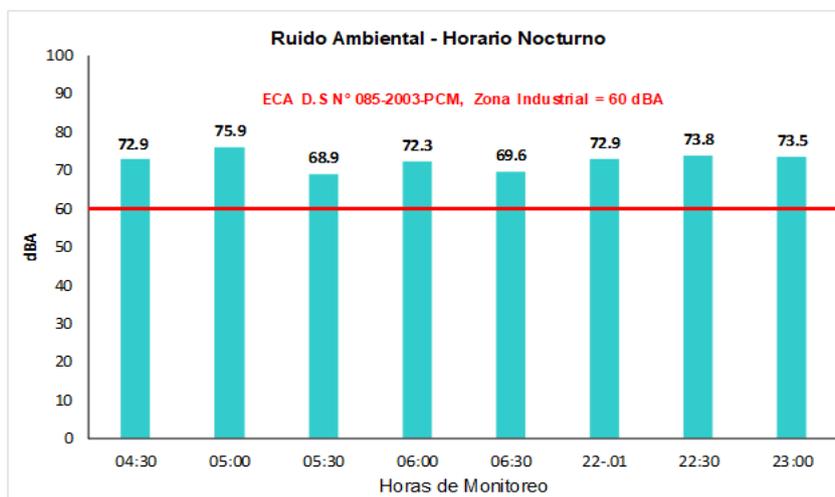


Figura 2. Resultados de monitoreo de ruido sin barrera acústica en la Av. Andrés Avelino Cáceres horario nocturno

En la Figura 2 podemos observar las mediciones realizadas sin barrera acústica en horario nocturno, en la Av. Andrés Avelino Cáceres, donde se realizaron 8 mediciones, la primera medición se realizó a las 04:30 horas, en la que se obtuvo un valor de 72,9 dB y la última medición fue realizada a las 23:00 horas, en la que se registró un valor de 73,5 dB, el valor más bajo se registró a las 05:30 horas hasta 68,9 dB, el valor más alto se registró a las 05:00 horas con un valor de 75,9 dB, el promedio de las lecturas es el valor de 71,97 dB, el cual sobrepasa el valor de la ECA para ruido aprobado por Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60,0 dB.

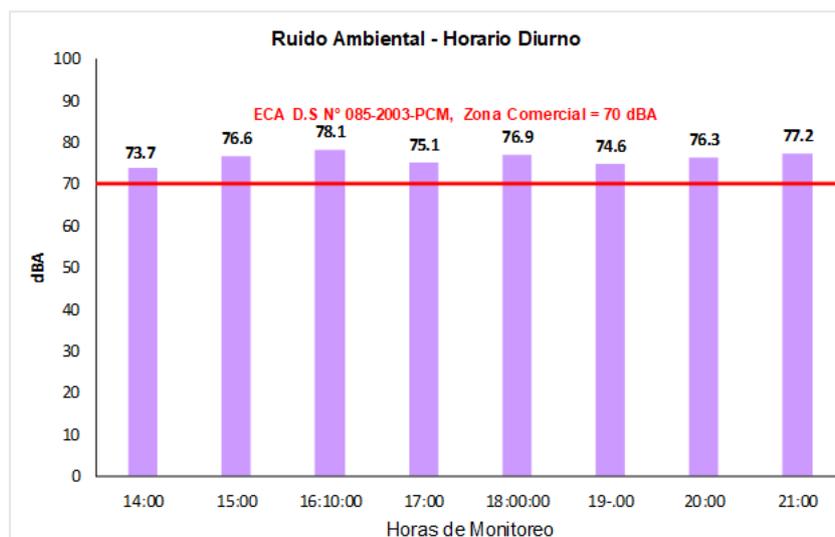


Figura 2. Resultados de monitoreo de ruido sin barrera acústica en la Av. Circunvalación horario diurno

En la Figura 3 podemos observar las mediciones realizadas sin barrera acústica en horario diurno, en la Av. Circunvalación, donde se realizaron, como en las anteriores, 8 mediciones, la primera medición se realizó a las 14:00 horas, en la que se obtuvo un valor de 73,7 dB y la última medición fue realizada a las 21:00 horas, que se registró un valor de 77,2 dB, el valor más bajo se registró a las 14:00 horas 73,7 dB, el valor más alto se registró a las 16:10 horas con un valor de 78.1 dB, el promedio de las lecturas es el valor de 76,06 dB, el cual sobrepasa el valor de la ECA para ruido aprobado por Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 70,0 dB.

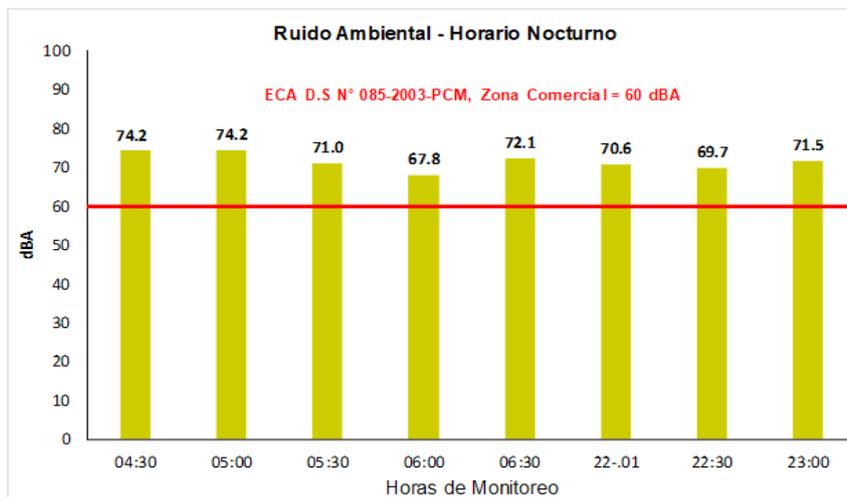


Figura 3. Resultados de monitoreo de ruido sin barrera acústica en la Av. Circunvalación, horario nocturno

En la figura 4 podemos observar las mediciones realizadas sin barrera acústica en horario nocturno, en la Av. Circunvalación, donde se realizaron 8 mediciones, tomando como intervalo entre media hora para tomar las lecturas, la primera medición se realizó a las 04:30 horas, en la que se obtuvo un valor de 74,2 dB y la última medición fue realizada a las 23:00 horas, que se registró un valor de 71,5 dB, el valor más bajo se registró a las 06:00 horas hasta 67,8 dB, el valor más alto se registró a las 04:30 y a las 05:00 horas con un valor de 72,2 dB, el promedio de las lecturas es el valor de 71,38 dB, el cual sobrepasa el valor de la ECA para ruido aprobado por Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60,0 dB.

3.1.2. Diseño e implementación de barreras acústicas con ecoladrillos

Tabla 2.

Medidas de la barrera acústica con ecoladrillos, sin techo y sin puerta – Diseño N° 01

N°	Item	Cantidad	Unidad
1	Altura	2,00	Metros (m)
2	Espesor	6	Centímetros (cm)
3	Longitud	Ancho:1,50	Metros (m)

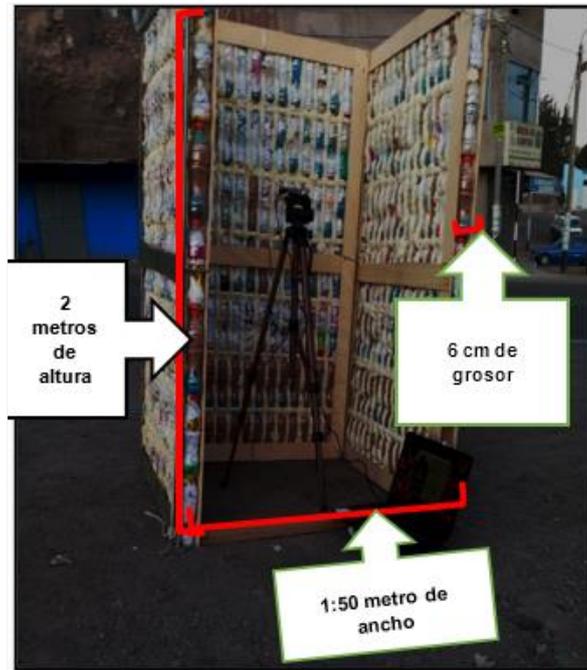


Figura 5. Prototipo de barrera - Diseño N° 01

El segundo diseño consta de una barrera con techo y con puerta, las medidas de la barrera son las siguientes:

Tabla 3.

Medidas de la barrera acústica con eco-ladrillos, con techo y puerta – Diseño N° 02

N°	Item	Cantidad	Unidad
1	Altura	2,00	Metros (m)
2	Espesor	6	Centímetros (cm)
3	Longitud	Ancho:1,50	Metros (m)
4	Techo	1	2,25 m ²
5	Puerta	1	3 m ²



Figura 6. Barrera Acústica con ecoladrillos, con techo y puerta - Diseño N° 02

3.1.4. Efectividad de las barreras acústicas con ecoladrillos para la reducción del ruido ambiental

Tabla 4.

Efectividad de las barras acústicas en la reducción de ruido ambiental producido por vehículos de carga pesada en la avenida Andrés Avelino Cáceres y la avenida Circunvalación

Punto de monitoreo	Hora	Diurno sin barrera	Diurno con barrera - diseño 1	Diurno con barrera - diseño 2	Hora	Nocturno sin barrera	Nocturno con barrera -diseño 1	Nocturno con barrera -diseño 2
Av. Andrés Avelino Cáceres	14:00	73,1	60,5	54,9	04:30	72,9	57,8	48,3
	15:00	75	63,8	49,2	05:00	71,9	60	48,4
	16:10	75	65,5	56,1	05:30	68,9	59,1	51,8
	17:00	70,3	59,1	57,6	06:00	72,3	58,1	53,8
	18:00	72,5	62,3	50,9	06:30	69,6	60	50,7
	19:00	75	63,8	53	22:01	72,9	59,8	54,5
	20:00	71,3	61,9	55,5	22:30	73,8	60,5	47,7
	21:00	72,7	64,6	52,4	23:00	73,5	62,8	49,6
Av. Circunvalación	14:00	73,7	61,6	56,9	04:30	74,2	58,4	49,4
	15:00	76,6	58,8	53	05:00	74,2	61,7	46,4
	16:10	78,1	65,9	55,9	05:30	71	57,9	55,9
	17:00	75,1	58,2	58	06:00	67,8	59,6	56,1
	18:00	76,9	65,4	51,8	06:30	72,1	59,4	57,2
	19:00	74,6	62,2	55,9	22:01	70,6	58,7	54,6
	20:00	76,3	62,7	54,3	22:30	69,7	58,5	53,5
	21:00	77,2	64,5	54,4	23:00	71,5	59,5	56,4

En la Tabla 5 podemos observar las mediciones realizadas con barrera acústica, sin techo y sin puerta y barrera acústica con techo y con puerta en horarios diurnos y nocturnos, en las avenidas Andrés Avelino Cáceres y la Av. Circunvalación, donde las barreras fueron efectivas en la disminución de ruido ambiental el cual está debajo del valor de la ECA para ruido aprobado por Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60,0 dB.

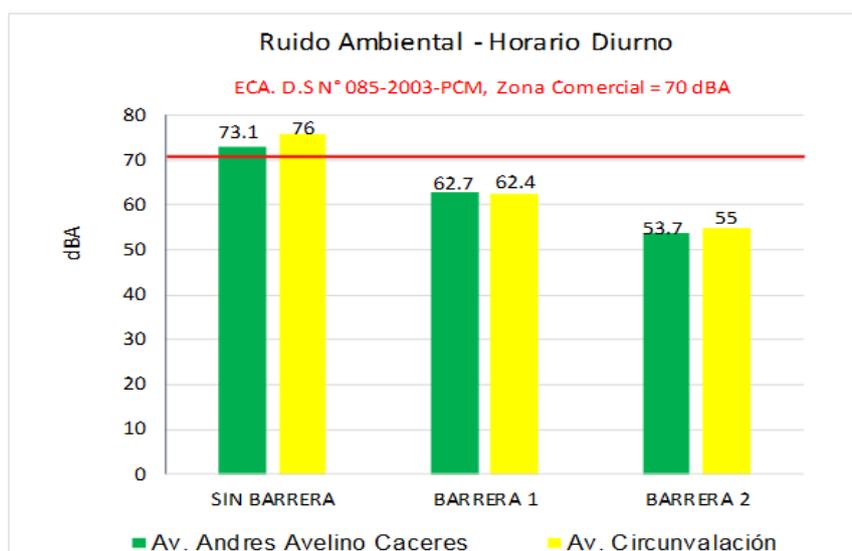


Figura 7. Resultados de monitoreo de ruido con las Barreras acústicas diseñadas para la reducción de ruido producido por vehículos de carga pesada en la Av. Andrés Avelino Cáceres y la Av. Circunvalación en horario diurno

La figura 7 nos muestra los resultados, promedios obtenidos, del monitoreo de ruido ambiental, sin Barrera en horario diurno en la Av. Andrés Avelino Cáceres el valor de 73,1 dBA y en la Av. Circunvalación 76,0 dBA, valores que están por encima de la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 70 dBA. Asimismo, se tiene los valores con Barrera sin techo y sin puerta en horario diurno en la Av. Andrés Avelino Cáceres 62,7 dBA y en la Av. Circunvalación 62,4 dBA, valores que tienen un rango promedio bajo la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 70 dBA. Igualmente, se tiene los valores con barrera con techo y con puerta en la Av. Andrés Avelino Cáceres 53,7 dBA y en la Av. Circunvalación 55 dBA, valores que tienen un rango más bajo que las anteriores, de acuerdo a la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 70 dBA.

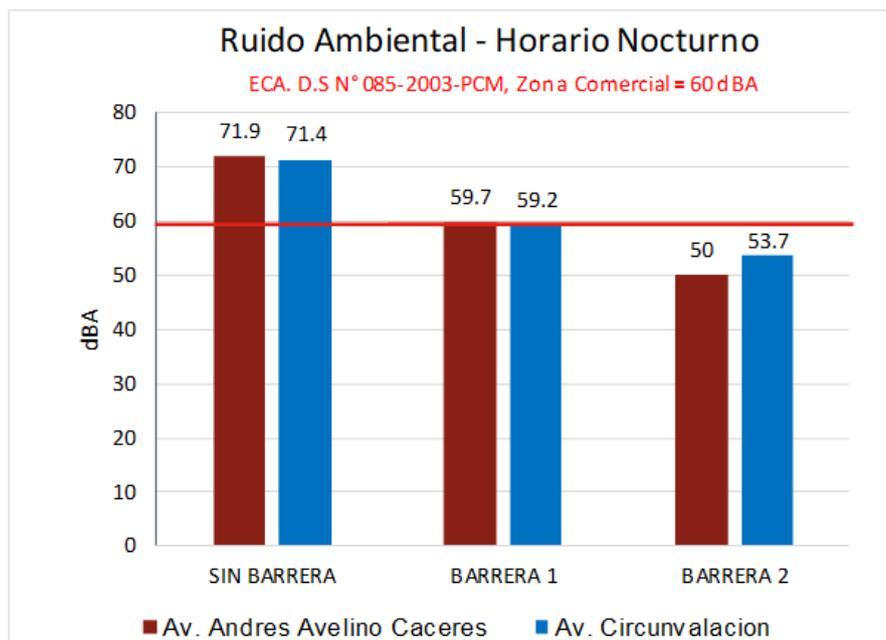


Figura 8. Resultados de monitoreo de ruido con las Barreras acústicas diseñadas para la reducción de ruido producido por vehículos de carga pesada en la avenida Andrés Avelino Cáceres y la Av. Circunvalación en horarios Nocturno

En la Figura 8 nos muestra los resultados, promedios obtenidos, del monitoreo de ruido ambiental, sin Barrera en horario nocturno en la Av. Andrés Avelino Cáceres el valor de 71,9 dBA y en la Av. Circunvalación 71,4 dBA, valores que están por encima de la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60 dBA. Asimismo, se tiene los valores con Barrera sin techo y sin puerta en horario nocturno en la Av. Andrés Avelino Cáceres 59,7 dBA y en la Av. Circunvalación 59,2 dBA, valores que tienen un rango promedio bajo la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60 dBA. Igualmente, se tiene los valores con barrera con techo y con puerta en la Av. Andrés Avelino Cáceres 50,0 dBA y en la Av. Circunvalación 53,7 dBA, valores que tienen un rango más bajo que las anteriores, de acuerdo a la ECA para ruido aprobado con Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, que para zona comercial en este horario es de 60 dBA.

3.1.4. Eficacia de las barreras acústicas con eco ladillos en la reducción de ruido

Realizamos la prueba de normalidad u homogeneidad, considerando el estadístico adecuado, determinando el tipo de hipótesis que se aceptó o rechazó, considerando los criterios del estadístico.

Contraste de Hipótesis

Para poder comprobar la hipótesis general realizamos la prueba de normalidad de datos, para esta investigación utilizamos la prueba de Esfericidad de Mauchly, ya que se cuenta con una muestra de 32 observaciones o registros y con intra sujetos e inter sujetos en dicha variable en estudio.

Tabla 5.

Prueba de normalidad de Esfericidad de Mauchly para el ruido ambiental

Prueba de esfericidad de Mauchly ^a									
Medida: Ruido Ambiental									
Efecto sujetos	Intra- W	de Mauchly	Aprox. de	Chi- cuadrado	gl	Sig.	Épsilon ^b		
							Greenhouse - Geisser	Huynh - Feldt	Límite inferior
Barrera	0,571		16,239		2	0,000	0,700	0,748	0,500

Prueba la hipótesis nula de que la matriz de covarianzas de error de las variables dependientes con transformación orto normalizada es proporcional a una matriz de identidad.

a. Diseño: Intersección + punto_muestreo
Diseño intra-sujetos: Barrera

b. Se puede utilizar para ajustar los grados de libertad para las pruebas promedio de significación. Las pruebas corregidas se visualizan en la tabla de pruebas de efectos intra-sujetos.

Regla de decisión

En la Tabla 5 , podemos observar que la significancia es menor que 5% por lo que podemos decir que se emplea el estadístico F univariado y puesto que el nivel crítico (sig. =0.000) es menor que 0,05; podemos rechazar la hipótesis de igualdad de medias y concluir que la calidad o eficiencia de barreras de ruido no es la misma en los puntos tomados.

Hipótesis General

El uso de Barreras Acústicas con ecoladrillos es eficaz en la disminución de la bulla ambiental producido por automóviles de carga pesada en Moquegua en el año 2023.

Hipótesis estadística o de prueba

H₀: No existe eficacia significativa del uso de Barreras Acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido ambiental producido por automóviles de carga pesada en Moquegua en el año 2023.

H₁: Existe eficacia significativa del uso de barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido ambiental producido por automóviles de carga pesada en Moquegua en el año 2023.

Región de aceptación o rechazo de la H₀

Si el valor Sig. es ≥ 0.05 se acepta la hipótesis nula.

Si el valor sig. es < 0.05 se rechaza la hipótesis nula.

Respecto a la presentación del coeficiente de significancia del estadístico aplicado, donde sig.=0,000; se considera rechazar la hipótesis nula (H₀), es decir, aceptamos la hipótesis alterna (H₁): Existe efectividad significativa del uso de barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido ambiental producido por automóviles de carga pesada en Moquegua en el año 2023.

Tabla 6.

Descriptivos de ruido ambiental con el tipo de tratamiento o barreras acústicas aplicadas para reducir el ruido

		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Sin_Barrera	Av. Andrés Avelino Cáceres	16	72,543	1,829	0,457	71,569	73,518	68,90	75,00
	Av. Circunvalación	16	73,725	3,004	0,751	72,124	75,325	67,80	78,10
	Total	32	73,134	2,519	0,445	72,226	74,042	67,80	78,10
Con_Barrera_1	Av. Andrés Avelino Cáceres	16	61,225	2,361	0,590	59,966	62,483	57,80	65,50
	Av. Circunvalación	16	60,812	2,678	0,669	59,385	62,239	57,90	65,90
	Total	32	61,018	2,492	0,440	60,120	61,917	57,80	65,90
Con_Barrera_2	Av. Andrés Avelino Cáceres	16	52,150	3,063	0,765	50,517	53,782	47,70	57,60
	Av. Circunvalación	16	54,356	3,046	0,761	52,732	55,979	46,40	58,00
	Total	32	53,253	3,207	0,567	52,096	54,409	46,40	58,00

En la Tabla 6, podemos observar las variaciones de las medias y desviaciones estándar y sus intervalos de nivel de confianza al 95% para las medias, en los tipos de barreras 1 y 2 como al aplicar barrera en sus dos avenidas de estudio. Se evidencia que, el ruido se reduce al aplicar cualquier barrera, sea la barrera 1 o barrera 2, donde se puede afirmar que la barrera 2 presenta mayor eficacia.

Tabla 7.

ANOVA y estadístico F – Univariado

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sin_Barrera	Entre grupos	11,163	1	11,163	1,805	0,189
	Dentro de grupos	185,569	30	6,186		
	Total	196,732	31			
Con_Barrera_1	Entre grupos	1,361	1	1,361	0,214	0,647
	Dentro de grupos	191,227	30	6,374		
	Total	192,589	31			
Con_Barrera_2	Entre grupos	38,940	1	38,940	4,172	0,050
	Dentro de grupos	280,039	30	9,335		
	Total	318,980	31			

Análisis estadístico con ANOVA y Prueba multivariante en la Tabla 7, muestran el estadístico $F=4,172$, lo que significa que al aplicar la Barrera Acústica 2 es la más eficiente que la Barrera 1 o al no aplicar barrera acústica.

Tabla 2.
Prueba multivariante del ruido de barrera aplicada

		Pruebas multivariante ^a				
	Efecto	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Barrera	Traza de Pillai	0,977	623,136 ^b	2,000	29,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,023	623,136 ^b	2,000	29,000	0,000
	Traza de Hotelling	42,975	623,136 ^b	2,000	29,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	42,975	623,136 ^b	2,000	29,000	0,000
Barrera *	Traza de Pillai	0,189	3,376 ^b	2,000	29,000	0,048
	Lambda de Wilks	0,811	3,376 ^b	2,000	29,000	0,048
	Traza de Hotelling	0,233	3,376 ^b	2,000	29,000	,048
	Raíz mayor de Roy	0,233	3,376 ^b	2,000	29,000	0,048

a. Diseño: Intersección + Punto_Muestreo

Diseño intra-sujetos: Barrera

b. Estadístico exacto

En la Tabla 8, se evidencia que el estadístico es exacto, además que el sig. es inferior a 0,05 por lo cual la hipótesis de investigación y también estadística se acepta, (H_0 se rechaza), lo que significa que, existe efectividad significativa del uso de barreras acústicas con ecoladrillos en la atenuación del ruido ambiental producido por carros de carga pesada en Moquegua en el año 2023.

4. DISCUSIÓN

Con respecto a los resultados obtenidos, el grado de ruido de acuerdo al ECA para ruido en la presente investigación contrasta con la investigación de Montejos Borja (2021), en la que se señala que los grados de ruido ambiental en los lugares monitoreados fueron de 87,1 dBA y 73,9 dBA en la que se sobrepasa el ECA para ruido en áreas comerciales en los horarios diurnos. Mientras que Medina del Carpio & Ramos Rodríguez (2020), en su trabajo de investigación obtuvieron 58,75 dBA en horario diurno, 51,48 dBA en horario nocturno. Sin embargo, los monitoreos realizados de los grados de bulla en el horario diurno de nuestra investigación son mayores según el ECA, 73,11 en la Av. Andrés Avelino Cáceres y 76,06 en la Av. Circunvalación y en el horario nocturno en la Av. Andrés Avelino Cáceres es de 71,97 dBA y en la Av. Circunvalación es de 71,38 dBA.

En relación al diseño de Barrera Acústica, Puma Arias (2018), en su investigación implementa una barrera acústica para disminuir el ruido basándose en el uso de restos orgánicos, en la que instala las barreras acústicas en la Panamericana Norte Kilómetro 33,5. La barrera acústica tiene de tres lados cuyas medidas en el lado del frente son de 180 cm x 160 cm x 4 cm; para los lados laterales 180 cm x 10 cm x 4 cm, mientras que para la presente investigación se implementaron dos diseños de barreras acústicas, cuyas dimensiones son 2 metros de altura x 1,5 de ancho x 6 cm de grosor, estas barreras lograron una atenuación mayor a los obtenidos por Puma. Asimismo, Ccepaya Loayza (2018), implementa una disyuntiva sostenible para atenuar el ruido con barreras de variedades ornamentales vegetales, en la que se construyó una barrera utilizando madera para el soporte las cuales forradas con malla raschell y esta consta de 2 m de alto y 1,5 de largo, reduciendo de 3 a 7 dBA, siendo estos resultados inferiores a esta investigación.

Con respecto a la efectividad de las barreras acústicas para la disminución de ruido generado por los vehículos de carga pesada, los resultados de investigación del antes y después de la ejecución de la barrera,

tienen similitud con la tesis de Maquera Puma & Vera Cuayla (2023), al estimar lo intenso de la bulla antes y después de implementar las barreras acústicas donde lograron comprobar que los test realizados con las barras se lograron disminuir de entre 11,3dB a 15,3dB. Por último, se pudo constatar que las barreras de mayor dimensión eran más efectivas al momento de amortiguar el ruido. Por otro lado, la investigación contrasta con Puma Arias (2018), ya que consiguió una disminución del sonido de una avenida a un promedio de 8,4 dBA. Cuando la implementó barras a base de mármol de choclo, cáscara y periódico, un promedio de 8,4 dBA. Los resultados obtenidos se contrastaron con el de Jagniatinskis et al. (2017) puesto que, determinó que en la utilización de las barras acústicas construidas con restos de materia orgánica usando tusa de maíz, cascarilla de patata y papeles usados de periódicos viejos se disminuyó el bullicio sonoro de 8,45 dBA logrando efectos estrechamente próximos de Cosme Ponce (2017), cuando investiga usa hierro negro con maderas con la finalidad de bajar grados de bulla en el año 2017, obtuvo efectos de disminución de 9 a 10 dB(A).

Finalmente se logró demostrar que las barreras acústicas, tanto el diseño 1 como el diseño 2 alcanzaron significativamente en la disminución del ruido, sin embargo, la barrera 2 es la más eficiente en la disminución de ruido generado por vehículos de carga pesada, obtenidos tras aplicar el estadístico ANOVA y estadístico F-univariado.

Los costos para la elaboración de las barreras acústicas se indican en la siguiente Tabla:

Tabla 9.

Costo para la elaboración de las barreras acústicas

N°	Materiales	Costos (S/)
1	Reciclaje de botellas PET y de residuos de relleno (bolsas de un solo uso, envolturas, etc.)	500.00
2	Elaboración de ecoladrillos	800.00
3	Construcción de barreras	1000.00
Total		2300.00

CONCLUSIONES

Las barreras acústicas con ecoladrillos son eficaces para atenuar el ruido ambiental producido por vehículos de carga pesada.

Se logró demostrar que las barreras acústicas, tanto el diseño 1 como el diseño 2 alcanzaron significativamente en la disminución del ruido, sin embargo, la barrera 2 es la más eficiente en la disminución de ruido generado por vehículos de carga pesada, obtenidos tras aplicar el estadístico ANOVA y estadístico F-univariado. Con el diseño 1 se logró disminuir el ruido en un 15,87% y con el diseño 2 se logró un 27,965%.

La contribución de esta investigación se centra en la metodología para la creación de barreras acústicas utilizando ecoladrillos, con el objetivo de mitigar el ruido generado por vehículos de carga pesada. Se detalla el material utilizado, el proceso de construcción y la eficacia de estas barreras acústicas en la reducción del ruido producido por vehículos de carga pesada, comparándola con otras barreras existentes.

En base a este proyecto se pueden realizar otras investigaciones que mejoren el proceso de elaboración de ecoladrillos y la metodología de construcción de las barreras acústicas para la construcción de eco viviendas.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Fernandez-Mamani, R. G., Carranza-Sánchez, E. S. & Lozano-Sulca, Y. T.: Conceptualización, análisis formal, metodología, redacción-borrador, revisión y edición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfie Cohen, M., & Salinas Castillo, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(1), 65–96.
<https://doi.org/10.24201/edu.v32i1.1613>
- Andrade, M., Calero, M., Barriga, V., & Córdova, B. (2018). Relaciones entre el ruido urbano y el tráfico vehicular en la ciudad de Guayaquil. *Consortio de Escuelas de Ingeniería de Latinoamérica y El Caribe*.
- Ccepaya Loayza, Y. Y. (2018). *Eficiencia de las plantas ornamentales Aptenia Cordifolia y Helxine Soleirolii como barrera para la reducción de ruido 2018* [Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/36358>
- Cosme Ponce, E. K. (2017). “Atenuación acústica de Cristales de Sonido para reducción del nivel de ruido en condiciones controladas – Lima 2017” [Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/3520>
- Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (30 de octubre de 2023). (2023). Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido y los lineamientos para no excederlos. *Plataforma Digital Del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3115975-085-2003-pcm>
- Jagniatinskis, A., Fiks, B., & Mickaitis, M. (2017). Determination of Insertion Loss of Acoustic Barriers under Specific Conditions. *Procedia Engineering*, 187, 289–294.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.377>
- Jensen, H. A. R., Rasmussen, B., & Ekholm, O. (2018). Neighbour and traffic noise annoyance: a nationwide study of associated mental health and perceived stress. *European Journal of Public Health*, 28(6), 1050–1055. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cky091>
- Maquera Puma, N. U., & Vera Cuayla, M. S. (2023). *Uso de barreras acústicas para reducir la contaminación sonora en domicilios de Moquegua-Moquegua, 2023* [Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/112265>
- Massa-Palacios, L., Cusi-Palomino, R., & Álvaro-Huillcara, M. (2021). Percepción del ruido ambiental en pobladores de cercado de Ica, Perú. *Producción + Limpia*, 16(1), 31–47.
<https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a2>
- Medina del Carpio, N. D., & Ramos Rodríguez, M. C. (2020). *Zonificación acústica de la carretera Iquitos - Nauta* [Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6791>

- Mendoza, É. C., Legua Laurencio, J. L., & Condori Apaza, R. M. (2018). Determinación del nivel de presión sonora generada por el parque automotor en Ilo, Perú. *Producción + Limpia*, 13(2), 14–20. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n2a2>
- Montejos Borja, Y. Y. (2021). *Propuesta De Plan De Mitigación Del Nivel De Ruido Ambiental En El Centro Comercial Plaza Villa Sur De Villa El Salvador-2021* [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/865>
- Olague-Caballero, C. O., Wenglas-Lara, G., & Duarte-Rodríguez, J. G. (2016). Contaminación por ruido en carreteras de acceso a la ciudad de Chihuahua. *CienciaUAT*, 11(1), 101. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i1.551>
- OMS. (2023). *La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss#:~:text=EnelDíaMundialde,yactividadesconmúsicaamplificada>
- Pfretzschner, J., Simón, F., Rodríguez, R. M., & Moreno, A. (2009). Las barreras acústicas contienen propiedades de aislamiento y absorción. *Revista de Acústica*, 22(1–2), 4. https://www.researchgate.net/profile/Rosa-Rodriguez-22/publication/45337106_Barreras_Acusticas/links/54ec8f340cf28f3e65343efa/Barreras-Acusticas.pdf
- Puma Arias, J. Y. (2018). *“Atenuación sonora por barreras acústicas a base de residuos orgánicos para reducir el nivel de ruido en una avenida principal, Puente Piedra, 2018”* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19344>
- Resolución Ministerial N° 227-2013-MINAM. (2013). Aprueban protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental (1 de agosto de 2013). *Plataforma Digital Del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/274700-227-2013-minam>
- Robles, M. del C., Martínez, C. F., & Boschi, C. (2019). Los espacios verdes como estrategia de mitigación de la contaminación sonora. evaluación y análisis del parque O’Higgins de la ciudad de Mendoza, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 889–904. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.09>
- RPP. (2019). *Ecoladrillos: una innovadora opción para reutilizar residuos plásticos y ponerle un freno a la contaminación*. Radio Programas del Perú. <https://rpp.pe/campanas/contenido-patrocinado/ecoladrillos-una-innovadora-opcion-para-reutilizar-residuos-plasticos-y-ponerle-un-freno-a-la-contaminacion-noticia-1208438?ref=rpp>
- Zamorano-González, B., Peña-Cárdenas, F., Velázquez-Narváez, Y., Vargas-Martínez, J. I., & Parra-Sierra, V. (2019). Contaminación por ruido y el tráfico vehicular en la frontera de México. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 7(19). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.19.67506>