ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias
Volumen 10 / N° 29 / mayo-agosto 2026
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.472

Articulo original

Regulación acústica de Hibiscus rosa-sinensis frente al ruido vehicular en Iquitos, Perú

Hibiscus rosa-sinensis acoustic regulation against vehicular noise in Iquitos, Peru

Ricardo Israel Guerra Ferreyra [a]
✉ ricardoguefer@hotmail.com

Jessica Estefany Panduro Ríos [a]

Luis Antonio Flores Flores [a]

Karenth Elena Ramírez Álvarez [a]

Maria Enith Alva Chirinos [a]

[a] *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú*

Palabras clave:
Atenuación acústica; Ecología urbana; *Hibiscus rosa-sinensis*; Infraestructura verde; Ruido vehicular; Servicios ecosistémicos

Keywords:
Upland rice; Nitrogen fertilization; Soil moisture; tillage; Plant nutrition; Panama.

Cómo citar: Guerra Ferreyra RI, Panduro Ríos JE, Flores Flores LA, Ramírez Álvarez KE, Alva Chirinos ME. Regulación acústica de Hibiscus rosa-sinensis frente al ruido vehicular en Iquitos, Perú. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-13. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.472

Resumen

Contexto: El ruido vehicular urbano afecta la calidad ambiental y demanda soluciones basadas en infraestructura verde. **Objetivo:** Cuantificar la efectividad de barreras de *Hibiscus rosa-sinensis* L. en la reducción del ruido vehicular en la Avenida La Marina, Punchana, Iquitos, Perú. **Metodología:** Se desarrolló un estudio cuantitativo, aplicado, observacional, transversal y comparativo. La población estuvo constituida por barreras continuas de *H. rosa-sinensis* ubicadas entre la calzada y las edificaciones colindantes; la muestra fue no probabilística intencional de seis puntos distribuidos en los sectores EsSalud y Bellavista Nanay. Se aplicó observación técnica, medición acústica con sonómetro integrador Clase 1 conforme a IEC 61672-1:2013, calibración acústica IEC 60942:2017, ISO 1996-2:2017 y Protocolo MINAM. Se compararon tres posiciones: campo abierto, posición A y posición B. **Resultados:** Las barreras presentaron altura media de 1,208 ± 0,066 m y ancho de 1,008 ± 0,080 m. El LAeqT en campo abierto fue 74,63 ± 2,16 dB(A), superando el ECA en el 100 % de puntos. La posición A redujo 2,90 ± 1,05 dB(A), con diferencia significativa (U = 30,0; p = 0,033; r = 0,667), mientras la posición B no fue significativa (p = 0,120). **Conclusiones:** *H. rosa-sinensis* ofrece regulación acústica real, aunque limitada por altura y profundidad insuficientes.

Abstract

Context: Introduction: urban vehicular noise significantly impacts environmental quality, necessitating green infrastructure solutions. **Objective:** to quantify the effectiveness of Hibiscus rosa-sinensis L. barriers in reducing vehicular noise along La Marina Avenue in Iquitos, Peru. **Methods:** the study adopted a quantitative, cross-sectional, and comparative design, focusing on continuous H. rosa-sinensis barriers. Purposive sampling was performed at six locations across the EsSalud and Bellavista Nanay sectors. Acoustic measurements utilized a Class 1 integrating sound level meter (IEC 61672-1:2013) following ISO 1996-2:2017 and MINAM protocols. Three conditions were compared: open field, Position A, and Position B. **Results:** the barriers had a mean height of 1.208 ± 0.066 m and a width of 1.008 ± 0.080 m. The open field LAeq,T was 74.63 ± 2.16 dB(A), exceeding environmental quality standards (ECA) at 100% of the sampling points. Position A showed a significant reduction of 2.90 ± 1.05 dB(A) (U=30.0; p=.033; r=.667), whereas Position B showed no significant difference (p=.120). **Conclusion:** H. rosa-sinensis provides measurable acoustic regulation; however, its effectiveness is constrained by insufficient barrier height and depth.

Introducción

El ruido vehicular constituye una forma de contaminación ambiental de alta persistencia en ciudades con crecimiento motorizado rápido, densificación de corredores comerciales y débil control de fuentes móviles. En este contexto, su relevancia no se limita al malestar auditivo, ya que la exposición crónica al ruido ambiental se asocia con perturbación del sueño, molestia, estrés fisiológico, deterioro del bienestar y aumento de riesgos cardiovasculares, por lo que la Organización Mundial de la Salud lo reconoce como un problema ambiental prioritario para la salud pública [1,2].

Desde una perspectiva ecosistémica, la gestión del ruido se vincula con los servicios de regulación que los sistemas urbanos pueden recibir de la infraestructura verde, entendida como una red de componentes vegetales capaz de moderar presiones ambientales y mejorar la habitabilidad [3,4]. En particular, en ciudades amazónicas como Iquitos, el ruido vehicular adquiere características particulares debido a la fuerte presencia de motocicletas, mototaxis y motocarros, así como a la existencia de vías estrechas, elevada actividad comercial y escasez de franjas verdes diseñadas con criterios acústicos. Por consiguiente, esta situación justifica estudiar especies ornamentales locales no solo como elementos paisajísticos, sino como componentes funcionales de regulación ambiental.

En relación con la evidencia internacional, se ha demostrado que la vegetación puede contribuir a la reducción del ruido por tres mecanismos principales: dispersión de la energía sonora en hojas, ramas y troncos; absorción asociada con vibración de superficies vegetales; y modificación del efecto de suelo cuando la franja vegetal incrementa la porosidad y rugosidad del medio de propagación [5,6]. Desde una primera perspectiva geográfica, los estudios europeos han desarrollado modelos de propagación y simulaciones que demuestran que la profundidad de la franja, el diámetro de tallos, la separación entre individuos y la organización espacial de la vegetación influyen en el desempeño acústico de barreras de profundidad limitada [6,7].

Van Renterghem et al. [6] estimaron que las configuraciones vegetales pueden competir con barreras clásicas bajas cuando se optimizan la estructura, el suelo y la distribución de estratos, mientras que Defrance y Jean [8] integraron la eficiencia de coberturas vegetales en métodos de trazado acústico para barreras. En este sentido, esta línea europea enfatiza que no basta la presencia de plantas, pues la geometría y la continuidad son decisivas para producir atenuaciones medibles.

Desde una segunda perspectiva, los estudios asiáticos aportan evidencia de campo en ciudades con alta densidad vehicular y condiciones de ruido intenso. Por ejemplo, en Delhi, Tyagi et al. [9] describieron que las bandas de vegetación modifican las características espectrales del ruido de tráfico y muestran mayor atenuación en frecuencias medias y altas. Asimismo, en Varanasi, Pathak et al. [10] observaron que la dinámica del ruido tropical urbano y su abatimiento mediante vegetación dependen de la estructura de los cinturones verdes, y posteriormente relacionaron el índice de desempeño de especies arbóreas con su potencial para mitigar ruido generado por tráfico [11].

De manera complementaria, en China, Lu et al. [12] analizaron comunidades vegetales de espacios verdes urbanos y resaltaron que la estratificación, la densidad vertical y la composición de especies incrementan la eficacia de reducción sonora. Por lo tanto, estas contribuciones son relevantes para Iquitos ya que comparten con las ciudades tropicales el desafío de combinar alta presión vehicular, vegetación perennifolia y necesidad de soluciones de bajo costo.

Desde una tercera perspectiva, procedente de América Latina, donde la contaminación acústica vehicular se ha documentado como una presión urbana extendida. En este marco, en Curitiba, Fiedler y Zannin [13] realizaron 232 mediciones en nodos de tráfico y encontraron que una gran

proporción de puntos superaba niveles críticos, además de mostrar mediante escenarios que reducir el flujo vehicular o el tránsito pesado disminuye los niveles de exposición.

En el caso de Ecuador, Hernández-Ocampo et al. [14] modelaron el ruido vehicular en Loja y evidenciaron la utilidad de la predicción espacial para orientar medidas de gestión. Por su parte, en Perú, los estudios sobre Juliaca, Puno, Pebas e Iquitos han reportado excedencias persistentes de estándares ambientales y percepción ciudadana de molestia asociada con el tránsito urbano [15-18]. En particular, las evaluaciones realizadas en Loreto y en avenidas de Iquitos muestran que el ruido vehicular supera con frecuencia los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido establecidos en el país [17-19], lo que ubica a la Amazonía urbana dentro de un problema regional todavía insuficientemente atendido por políticas de infraestructura verde.

En este contexto, la vegetación ornamental urbana representa una alternativa complementaria frente a medidas de control que suelen depender de reducción de flota, barreras rígidas, pavimentos especializados o planificación vial. En efecto, diversos estudios indican que la eficacia acústica vegetal aumenta cuando la barrera es densa, continua, suficientemente alta y profunda, con hojas amplias o rugosas y con combinación de estratos arbustivos y arbóreos [5,6,9,11].

En este contexto, Ow y Ghosh [20] observaron reducciones asociadas con barreras vegetales urbanas y destacaron que la percepción ciudadana de la vegetación puede reforzar el beneficio acústico. Asimismo, Van Renterghem [21] explicó que la vegetación también influye en la percepción del ruido ambiental, debido a que la presencia visual de verde puede reducir molestia aun cuando la reducción física sea moderada. De igual manera, Gaudon y McTavish [22] demostraron que la atenuación cambia por interacción entre cobertura del suelo y estación, mientras que Tashakor y Chamani [23] mostraron variabilidad temporal del efecto en parques urbanos. En conjunto, estos antecedentes advierten que una especie como *Hibiscus rosa-sinensis* debe evaluarse bajo condiciones locales antes de recomendarse como barrera acústica.

Desde el punto de vista botánico, *Hibiscus rosa-sinensis* L. (Malvaceae), conocida localmente como cucarda, es un arbusto perennifolio ampliamente usado en la ornamentación urbana tropical. Desde el punto de vista morfológico, presenta hojas simples, alternas, ovadas, de textura coriácea, margen dentado y venación pinnada, rasgos que favorecen una superficie foliar densa capaz de interceptar, dispersar y absorber parte de la energía acústica incidente. En este sentido, la caracterización foliar de variedades de *H. rosa-sinensis* confirma la presencia de patrones de arquitectura foliar consistentes para la especie [24], y, además, estudios recientes sobre textura y rugosidad foliar han demostrado que estos atributos influyen en la reducción sonora a escala de hoja [25].

No obstante, la evidencia específica sobre *H. rosa-sinensis* como barrera vegetal acústica en ciudades amazónicas es escasa, a pesar de que la especie se encuentra disponible, tolera podas frecuentes y puede formar setos continuos entre calzada y edificaciones. En consecuencia, esta ausencia de evidencia limita la incorporación de criterios acústicos en la selección de especies ornamentales para vías urbanas de Iquitos.

En el ámbito normativo, en el Perú, el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido establece valores máximos según zona y horario, incluido el nivel diurno de 70 dB(A) para zonas comerciales [19]. Asimismo, el monitoreo debe apoyarse en protocolos y normas técnicas que aseguren comparabilidad, como el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental del Ministerio del Ambiente, la ISO 1996-1 e ISO 1996-2 para descripción, medición y evaluación de ruido ambiental, y las especificaciones IEC para sonómetros y calibradores acústicos [26-30].

Bajo este marco, el presente estudio tuvo como objetivo cuantificar la efectividad de barreras conformadas exclusivamente por *H. rosa-sinensis* en la reducción del ruido vehicular de la Avenida

La Marina, distrito de Punchana, Iquitos, comparando el nivel de presión sonora equivalente ponderado A en campo abierto y detrás de la barrera a dos distancias. Finalmente, la importancia del estudio radica en aportar evidencia local para valorar un servicio ecosistémico urbano de regulación acústica, generar criterios de diseño para infraestructura verde en ciudades amazónicas y orientar decisiones municipales sobre especies, altura, profundidad y continuidad de barreras vegetales.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló con enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, diseño observacional, transversal y comparativo. Fue cuantitativo porque midió niveles de presión sonora equivalente ponderados A y atributos físicos de barreras vegetales mediante instrumentos calibrados; aplicado porque buscó evaluar una solución ecológica frente a un problema ambiental urbano; observacional porque no se manipuló el flujo vehicular ni la estructura existente de los setos; transversal porque las mediciones se realizaron en un periodo definido de noviembre de 2025; y comparativo porque contrastó una condición de referencia sin protección vegetal con dos condiciones ubicadas detrás de la barrera. Este diseño es pertinente para cuantificar el servicio ecosistémico de regulación acústica de una especie vegetal bajo condiciones reales de tráfico, evitando extrapolaciones de laboratorio y permitiendo replicación en otras vías urbanas amazónicas.

Respecto al área de estudio, correspondió a dos tramos de la Avenida La Marina, distrito de Punchana, provincia de Maynas, región Loreto, Perú, aproximadamente en 3°44'S y 73°14'O. Los sectores evaluados fueron EsSalud y Bellavista Nanay, seleccionados por presentar tránsito vehicular diurno, presencia de edificaciones colindantes y barreras continúas formadas exclusivamente por *H. rosa-sinensis* entre la calzada y el frente urbano. La población estuvo constituida por los tramos de setos de *H. rosa-sinensis* presentes en la avenida con potencial función de barrera acústica frente al ruido vehicular.

En relación a la muestra, fue no probabilística intencional y estuvo integrada por seis puntos de muestreo, tres por sector, elegidos con criterios de continuidad del seto superior a 95 %, ausencia de interrupciones mayores a 0,30 m, distancia de siembra uniforme de 0,50 m desde el borde de la calzada, follaje denso con cobertura visual mayor a 70 %, ausencia de lluvia durante la medición y posibilidad de ubicar el micrófono en las posiciones definidas sin obstrucciones artificiales. Este tipo de muestra se justificó porque el objetivo no fue estimar la totalidad de la avenida, sino evaluar experimentalmente condiciones comparables de barrera vegetal existente.

En cuanto a las variables de estudio, la especie evaluada fue *H. rosa-sinensis* L. (Malvaceae), arbusto perennifolio conocido como cucarda, plantado en fila continua. En cada punto se midieron con flexómetro la altura máxima de la barrera (H), el ancho total de la franja vegetal y la distancia de siembra desde el borde de la calzada. La densidad visual del follaje se clasificó como densa cuando la cobertura superó 70 %, y la continuidad del seto se registró mediante inspección directa de interrupciones visibles. Estos atributos constituyeron variables ecológicas independientes porque definieron la geometría del obstáculo vegetal. La variable dependiente principal fue el nivel de presión sonora equivalente ponderado A durante el tiempo de medición (LAeqT), expresado en dB(A). Las variables derivadas fueron la diferencia absoluta de atenuación, calculada como DA = LAeqT_C − LAeqT_A o LAeqT_B, y el porcentaje de reducción, calculado como %R = [(LAeqT_C − LAeqT_A o B) / LAeqT_C] × 100.

En lo que respecta a la recolección de datos, la técnica principal fue la medición acústica ambiental, complementada con observación técnica de la barrera vegetal y registro de condiciones de campo.

El instrumento fue un sonómetro integrador de Clase 1, conforme a IEC 61672-1:2013, verificado con calibrador acústico conforme a IEC 60942:2017 al inicio y al final de cada jornada; se aceptó una desviación máxima de ±0,5 dB. Las mediciones siguieron la lógica de ISO 1996-2:2017 y del Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental del MINAM.

En relación con el procedimiento de medición, en cada punto se aplicó un protocolo de tres posiciones. La posición C correspondió al campo abierto de referencia, con el micrófono elevado por encima de la altura H de la vegetación, representando la condición sin servicio ecosistémico de barrera. La posición A correspondió a la condición con barrera a distancia completa, con el micrófono a h = H/2 y distancia horizontal igual a la altura total de la barrera desde su cara posterior. La posición B correspondió a la condición con barrera a distancia media, con el micrófono a h = H/2 y distancia horizontal igual a la mitad de la altura de la barrera. El orden de medición fue C → A → B para mantener uniformidad operativa.

En cuanto a las condiciones de medición, cada registro tuvo duración continua de 10 minutos por posición en horario diurno entre 07:01 y 22:00 h. Las mediciones se consideraron válidas solo con ausencia de precipitación y velocidad del viento menor de 5 m s^{-1}. Para asegurar replicabilidad, el operador colocó el micrófono con orientación constante hacia la fuente principal, evitó superficies reflectantes inmediatas no atribuibles a la barrera y mantuvo la misma secuencia de puntos por sector. La validación instrumental se basó en el cumplimiento de normas internacionales del equipo, calibración acústica previa y posterior, y aplicación de protocolo nacional. La confiabilidad operativa se reforzó mediante repetición estandarizada de tiempo, posiciones, alturas relativas, distancias y condiciones de aceptación meteorológica.

Finalmente, en relación con el análisis de datos, el procesamiento de información se realizó con estadística descriptiva, reportando media, desviación estándar e intervalos de confianza cuando correspondió. La normalidad de las series se examinó mediante Shapiro-Wilk. Para contrastar la efectividad acústica de la barrera se aplicó la prueba U de Mann-Whitney con hipótesis unilateral y nivel de significancia $\alpha = 0,05$, comparando la condición sin barrera (C) con la posición A y con la posición B. El tamaño del efecto se estimó con r de Rosenthal, interpretando valores cercanos a 0,10 como pequeños, 0,30 como medianos y 0,50 o superiores como grandes. Los análisis se realizaron con IBM SPSS v26. No se registró intervención sobre personas, fauna ni propiedad privada; tampoco se manipularon plantas ni se alteró el flujo vehicular, por lo que el estudio se limitó a observación ambiental no invasiva.

Resultados

Los resultados se presentan siguiendo la secuencia definida en la metodología: primero se describen los atributos estructurales de las barreras de *H. rosa-sinensis*, luego se comparan los niveles de LAeqT entre la condición de campo abierto y las posiciones protegidas, y finalmente se expone el análisis inferencial del servicio ecosistémico de regulación acústica. En total se evaluaron seis puntos distribuidos en dos sectores de la Avenida La Marina, con tres posiciones acústicas por punto y registros continuos de 10 minutos. No se registraron lluvias durante las mediciones, la velocidad del viento se mantuvo dentro del criterio de aceptación, y no ocurrieron eventos adversos, colaterales o incidentes de campo que invalidaran mediciones, afectaran la seguridad del equipo o alteraran la integridad de las barreras vegetales.

Atributos estructurales de las barreras vegetales

Las barreras evaluadas estuvieron conformadas exclusivamente por *H. rosa-sinensis* y presentaron continuidad superior a 95 % en todos los puntos. La altura promedio fue 1,208 ± 0,066 m y el ancho promedio 1,008 ± 0,080 m, con distancia de siembra uniforme de 0,50 m desde el borde de la calzada. Esta uniformidad permitió comparar las posiciones acústicas con menor variabilidad estructural entre puntos. La Tabla 1 muestra los atributos registrados y las distancias utilizadas para ubicar las posiciones A y B, calculadas a partir de la altura de cada barrera.

Tabla 1. Atributos estructurales de las barreras de Hibiscus rosa-sinensis L. y posiciones de muestreo. Avenida La Marina, Punchana, Iquitos, 2025.

Punto	H (m)	Ancho (m)	Distancia de siembra (m)	Distancia posición A (m)	Distancia posición B (m)	Sector
N.° 01	1,20	1,00	0,50	1,20	0,60	EsSalud
N.° 02	1,25	1,10	0,50	1,25	0,65	EsSalud
N.° 03	1,10	1,10	0,50	1,10	0,55	EsSalud
N.° 04	1,20	0,95	0,50	1,20	0,60	Bellavista Nanay
N.° 05	1,30	0,90	0,50	1,30	0,65	Bellavista Nanay
N.° 06	1,20	1,00	0,50	1,20	0,60	Bellavista Nanay
Media	1,208	1,008	0,500	1,208	0,608	—

Nota: elaboración propia con datos de campo. H = altura máxima de la barrera. La distancia de posición A corresponde a H desde la cara posterior de la barrera; la posición B corresponde a H/2.

Los valores de la Tabla 1 evidencian que las barreras tenían configuración arbustiva baja y profundidad limitada. Aunque el follaje fue denso y perennifolio, la altura aproximada de 1,2 m dejó una fracción del campo acústico vehicular expuesta a difracción por el borde superior. Asimismo, el ancho cercano a 1,0 m representó una franja vegetal estrecha respecto de los cinturones verdes descritos en la literatura internacional, donde el desempeño acústico aumenta cuando la profundidad y la estratificación vegetal son mayores. En consecuencia, los resultados acústicos deben interpretarse como el desempeño de una barrera ornamental urbana existente, no como el potencial máximo de la especie en un diseño multiestrato optimizado.

Niveles de ruido y reducción acústica observada

El LAeqT en campo abierto osciló entre 72,5 y 78,3 dB(A), con media de 74,63 ± 2,16 dB(A). Este valor superó el Estándar de Calidad Ambiental para Ruido de zona comercial diurna, fijado en 70 dB(A), en el 100 % de los puntos evaluados. Dicha excedencia confirma una condición acústica crítica en el tramo estudiado, atribuible al tránsito vehicular propio de la Avenida La Marina y coherente con antecedentes locales de ruido urbano en Iquitos. La Tabla 2 presenta los niveles registrados en las tres posiciones y la reducción calculada para la posición A.

Tabla 2. Niveles de LAeqT y servicio ecosistémico de regulación acústica de Hibiscus rosa-sinensis L. por punto de muestreo.

Punto	LAeqT campo abierto C dB(A)	LAeqT posición A dB(A)	LAeqT posición B dB(A)	DA posición A dB(A)	Reducción posición A (%)
N.° 01	75,5	72,8	74,4	2,7	3,58
N.° 02	78,3	77,0	77,7	1,3	1,66
N.° 03	75,1	71,6	72,3	3,5	4,66

Punto	LAeqT campo abierto C dB(A)	LAeqT posición A dB(A)	LAeqT posición B dB(A)	DA posición A dB(A)	Reducción posición A (%)
N.° 04	72,5	70,5	71,2	2,0	2,76
N.° 05	73,5	69,3	73,4	4,2	5,71
N.° 06	72,9	69,2	70,1	3,7	5,08
Media ± DE	74,63 ± 2,16	71,73 ± 2,92	73,18 ± 2,69	2,90 ± 1,05	3,91 ± 1,53

Nota: elaboración propia con datos de campo. LAeqT = nivel de presión sonora equivalente ponderado A. DA = diferencia absoluta de atenuación. DE = desviación estándar. ECA zona comercial diurna = 70 dB(A).

La comparación descriptiva muestra que la posición A fue la condición con mayor atenuación. En esa posición, la media descendió a 71,73 ± 2,92 dB(A), lo que representa una reducción absoluta media de 2,90 ± 1,05 dB(A) y una reducción relativa de 3,91 ± 1,53 %. Dos puntos ubicados en Bellavista Nanay registraron niveles por debajo de 70 dB(A) en posición A, mientras cuatro puntos permanecieron sobre el ECA. La posición B mostró reducción más limitada, con media de 73,18 ± 2,69 dB(A), y todos los puntos continuaron superando el límite diurno. Esta diferencia entre A y B evidencia que la ubicación del receptor detrás de la barrera condiciona la magnitud del servicio ecosistémico, incluso cuando la especie y la estructura del seto son similares.

Contraste inferencial de efectividad acústica

La prueba Shapiro-Wilk confirmó distribución normal en las tres condiciones, con valores W mayores de 0,869 y p mayores de 0,05. No obstante, por el tamaño muestral reducido y el carácter comparativo de las posiciones, se mantuvo la prueba U de Mann-Whitney como contraste no paramétrico unilateral. La Tabla 3 resume la comparación entre campo abierto y las dos posiciones con barrera.

Tabla 3. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney para la efectividad acústica de las barreras de H. rosa-sinensis.

Comparación	U	p unilateral	Significancia	r de Rosenthal	Interpretación del efecto
Sin barrera C vs. con barrera posición A	30,0	0,033	Sí	0,667	Grande
Sin barrera C vs. con barrera posición B	26,0	0,120	No	0,444	Mediano

Nota: elaboración propia con procesamiento en IBM SPSS v26. Nivel de significancia α = 0,05; n = 6 por condición.

La posición A evidenció una diferencia estadísticamente significativa respecto del campo abierto, con tamaño del efecto grande. Este resultado permite afirmar que, bajo la configuración evaluada, *H. rosa-sinensis* proporciona un servicio ecosistémico de regulación acústica real y medible cuando el receptor se ubica a una distancia posterior equivalente a la altura total de la barrera. En cambio, la posición B no alcanzó significancia estadística, aunque presentó efecto mediano. Esto sugiere que la reducción puede existir, pero resulta insuficiente o demasiado variable cuando el receptor se ubica a la mitad de la altura de la barrera desde su cara posterior.

En conjunto, los resultados indican que la efectividad acústica de la cucarda en la Avenida La Marina es positiva pero limitada. La reducción media cercana a 3 dB(A) en posición A es ambientalmente relevante porque una disminución de esta magnitud puede percibirse como cambio moderado en exposición sonora, aunque no basta para garantizar cumplimiento normativo en todos los puntos. La permanencia de excedencias en cuatro de seis puntos detrás de la barrera confirma que los

setos existentes no deben considerarse medida única de control del ruido vehicular, sino componente complementario de una estrategia integral que incluya gestión de flujo, control de vehículos ruidosos, diseño vial, mantenimiento de barreras y planificación de corredores verdes más profundos.

No se identificaron efectos adversos o colaterales durante la evaluación. Las mediciones no implicaron poda, extracción de material vegetal, bloqueo de tránsito, ingreso a viviendas ni interferencia con actividades comerciales. Tampoco se observaron condiciones meteorológicas que exigieran anular registros. La principal condición contextual observada fue la variabilidad del tránsito, propia de una vía urbana activa, la cual forma parte de la exposición real que se buscó evaluar.

Discusión

Los hallazgos demuestran que *Hibiscus rosa-sinensis* L., en configuración de seto arbustivo de aproximadamente 1,2 m de altura y 1,0 m de ancho, ejerce un servicio ecosistémico de regulación acústica cuantificable en una vía urbana amazónica. La reducción significativa de 2,90 dB(A) en la posición A y el tamaño del efecto grande indican que la especie no actúa solo como ornamento, sino como estructura vegetal capaz de modificar la propagación sonora en el espacio inmediato detrás de la barrera.

Este resultado coincide con el marco físico descrito por Van Renterghem et al. [6], quienes explican que la vegetación atenúa ruido mediante dispersión, absorción y efecto de suelo, y que la contribución de arbustos puede ser limitada pero medible cuando la franja vegetal intercepta parcialmente la línea de propagación. También guarda coherencia con Tyagi et al. [9], quienes observaron que las bandas vegetales presentan mayor influencia en frecuencias medias y altas del ruido de tráfico, precisamente el rango donde la interacción con hojas y ramas puede ser más efectiva.

La magnitud de atenuación observada se aproxima a valores reportados para configuraciones vegetales de baja profundidad. Van Renterghem et al. [6] estimaron que el efecto de arbustos con biomasa típica puede alcanzar alrededor de 2 dBA en condiciones modeladas, mientras el presente estudio registró 2,90 dB(A) en campo real.

Esta diferencia podría explicarse por la densidad foliar de *H. rosa-sinensis*, su follaje perennifolio y la cercanía entre fuente, barrera y receptor. Sin embargo, el resultado es menor que las reducciones que pueden lograrse con cinturones vegetales más profundos, multiestrato y con árboles de mayor diámetro, como los evaluados por Pathak et al. [10,11] y Lu et al. [12]. Por tanto, la cucarda muestra potencial, pero el diseño existente en la Avenida La Marina limita su desempeño por altura y profundidad insuficientes.

El contraste con estudios latinoamericanos permite dimensionar la relevancia local del hallazgo. Fiedler y Zannin [13] evidenciaron en Curitiba que el ruido de nodos de tráfico supera niveles críticos y que la reducción del flujo vehicular puede disminuir aproximadamente 3 dB(A), magnitud semejante a la atenuación obtenida en la posición A del presente estudio. Esta comparación no implica equivalencia causal, porque una medida actúa sobre la fuente y la otra sobre la propagación, pero sí muestra que una barrera vegetal bien ubicada puede aportar reducciones comparables a escenarios moderados de gestión de tráfico.

En Loja, Hernández-Ocampo et al. [14] destacaron la necesidad de predicción y planificación para controlar ruido vehicular, lo que refuerza la utilidad de incorporar parámetros de infraestructura verde en modelos acústicos urbanos. En Perú, los resultados son consistentes con las excedencias

reportadas en Juliaca, Puno, Pebas e Iquitos [15-18], y confirman que las vías amazónicas requieren medidas específicas, no solo diagnósticos de contaminación sonora.

La ausencia de significancia en la posición B es uno de los resultados más importantes para el diseño urbano. Aunque se esperaba que una ubicación más cercana a la barrera produjera mayor protección, el efecto no fue estadísticamente significativo. Esto puede explicarse por difracción sobre el borde superior, reflexiones locales y geometría de una barrera baja respecto a la altura efectiva de fuentes vehiculares y receptores. Cuando la barrera no supera suficientemente la línea de visión acústica, parte de la energía se propaga por encima del seto y alcanza al receptor sin atravesar completamente la masa foliar. En consecuencia, la distancia posterior equivalente a la altura total de la barrera generó mejor condición de atenuación que la distancia media. Este patrón confirma que la planificación de barreras vegetales debe considerar geometría, altura, profundidad y ubicación del receptor, no únicamente densidad visual.

Las características morfológicas de *H. rosa-sinensis* ayudan a interpretar el desempeño registrado. Escalona y Buot [24] describen rasgos de arquitectura foliar de la especie, mientras Hao et al. [25] evidencian que textura y rugosidad foliar influyen en la reducción sonora a escala de hoja. En el estudio, el follaje denso, coriáceo y permanente probablemente contribuyó a la dispersión y absorción parcial de ondas sonoras.

No obstante, el ancho promedio de 1,008 m restringió el volumen vegetal disponible para interacción acústica. La literatura sobre infraestructura verde indica que la mayor eficacia se alcanza con franjas más profundas, combinación de arbustos y árboles, continuidad longitudinal, suelo poroso y mantenimiento de densidad desde el nivel del suelo hasta la copa [5,6,11,12,20].

Además, las configuraciones híbridas, como muros verdes con principios de cristales sónicos y enfoques de paisaje sonoro, amplían las posibilidades de diseño cuando se combinan elementos vegetales con estructuras dispersoras o criterios perceptuales [31,32]. Por ello, una recomendación técnica derivada es elevar las barreras a por lo menos 2,0 m, aumentar la profundidad a 2,0 m o más, y combinar *H. rosa-sinensis* con estratos arbóreos amazónicos adecuados a la vía, evitando diseños monoespecíficos estrechos cuando el objetivo principal sea acústico.

Las implicaciones prácticas son directas para la municipalidad, instituciones educativas, establecimientos de salud y residentes ubicados en avenidas de alto tránsito. La cucarda puede utilizarse como componente inicial de corredores verdes acústicos por su disponibilidad, tolerancia a poda, valor ornamental y cobertura perennifolia; sin embargo, debe integrarse con gestión de fuentes, fiscalización de vehículos ruidosos, control de bocinas, mantenimiento vial y diseño de franjas verdes multiestrato.

Desde el punto de vista teórico, el estudio aporta evidencia al enfoque de servicios ecosistémicos urbanos en la Amazonía peruana, al cuantificar una función reguladora poco estudiada en especies ornamentales locales. También muestra que la evaluación de servicios ecosistémicos debe pasar de descripciones cualitativas a mediciones replicables, con variables estructurales, acústicas y estadísticas comparables.

Las limitaciones del estudio incluyen tamaño muestral reducido, evaluación en una sola avenida, mediciones en una sola temporada climática, ausencia de análisis espectral por bandas de frecuencia y falta de medición directa de flujo vehicular durante cada intervalo. Tampoco se midió área foliar específica, índice de área foliar ni resistencia al flujo acústico del follaje, variables que permitirían relacionar de manera más fina morfología y atenuación. Estas limitaciones no invalidan el hallazgo principal, pero restringen su generalización. Estudios futuros deberían incorporar diseños estacionales, mayor número de puntos, conteo simultáneo de vehículos por tipo, análisis espectral,

medición meteorológica continua y comparación con otras especies ornamentales y nativas amazónicas.

En síntesis, el estudio confirma que *H. rosa-sinensis* ofrece un servicio ecosistémico acústico real en condiciones urbanas amazónicas, aunque su eficacia actual es insuficiente para resolver por sí sola la excedencia normativa del ruido vehicular. La principal contribución es demostrar que una especie ornamental frecuente en Iquitos puede convertirse en infraestructura verde funcional si se rediseña con criterios de altura, profundidad, continuidad y mezcla de estratos. El reto no es reemplazar las medidas convencionales de control del ruido, sino complementarlas con barreras vegetales técnicamente dimensionadas que aporten beneficios acústicos, paisajísticos y ecológicos a la ciudad.

Conclusiones

Hibiscus rosa-sinensis L. evidenció capacidad real de regulación acústica frente al ruido vehicular en la Avenida La Marina, Punchana, Iquitos. Su configuración actual como seto arbustivo denso, perennifolio y continuo permitió reducir el nivel sonoro detrás de la barrera cuando el receptor se ubicó a una distancia equivalente a la altura total del seto. Sin embargo, esta reducción fue limitada y no garantizó el cumplimiento del estándar ambiental en todos los puntos, debido principalmente a la baja altura y a la profundidad reducida de la franja vegetal.

El estudio confirma que la cucarda no debe ser considerada únicamente una especie ornamental, sino un componente potencial de infraestructura verde urbana con función reguladora. Su valor técnico aumenta cuando se interpreta dentro de estrategias integrales de control acústico, donde la vegetación complementa la gestión del tránsito, el mantenimiento vial y la fiscalización de fuentes móviles. Para optimizar su desempeño, las barreras deben diseñarse con mayor altura, mayor profundidad, continuidad longitudinal y combinación con estratos arbóreos adecuados al contexto amazónico.

Las futuras líneas de investigación deben ampliar la evaluación a otras avenidas de Iquitos y a distintas temporadas climáticas, incorporar conteo vehicular simultáneo, análisis espectral por bandas de frecuencia y comparación entre especies ornamentales y nativas. También se requiere medir variables foliares y estructurales, como área foliar, porosidad, densidad vertical y resistencia al flujo acústico, con el fin de construir modelos predictivos aplicables a la planificación municipal. Estos avances permitirán convertir la arborización urbana amazónica en una herramienta técnica para mejorar la calidad acústica, la habitabilidad y la salud ambiental de la ciudad.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 25 de febrero 2026 | Aceptado 30 de abril 2026 | Publicado 18 de mayo 2026

Referencias

1. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018. https://iris.who.int/handle/10665/279952

2. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. Lancet. 2014;383(9925):1325-32. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X

3. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press; 2005. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

4. Karis CM, Mujica CM. Infraestructura ecológica y adaptación urbana al cambio climático: explorando el potencial de los espacios verdes. Bitácora Urbano-Territorial. 2023;33(3):139-52. https://doi.org/10.15446/bitacora.v33n3.109527

5. Posada I, Arroyave M, Fernández C. Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano. Rev EIA. 2009;12:79-89. https://www.academia.edu/40974803/Influencia_de_la_vegetaci%C3%B3n_en_los_niveles_de_ruido_urbano

6. Van Renterghem T, Botteldooren D, Verheyen K. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. J Sound Vib. 2012;331(10):2404-25. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2012.01.006

7. Van Renterghem T, Botteldooren D, Verheyen K. Road traffic noise reduction by vegetated low noise barriers in urban streets. Proceedings of Internoise 2012. https://www.researchgate.net/publication/234016309_Road_traffic_noise_reduction_by_vegetated_low_noise_barriers_in_urban_streets

8. Defrance J, Jean P. Integration of the efficiency of noise barrier caps in a 3D ray tracing method. Case of a T-shaped diffracting device. Appl Acoust. 2003;64(8):765-75. https://doi.org/10.1016/S0003-682X(03)00034-3

9. Tyagi V, Kumar K, Jain VK. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi. Appl Acoust. 2006;67(9):926-35. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.05.008

10. Pathak V, Tripathi BD, Mishra VK. Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. Environ Monit Assess. 2008;146:67-75. https://doi.org/10.1007/s10661-007-0060-1

11. Pathak V, Tripathi BD, Mishra VK. Evaluation of anticipated performance index of some tree species for green belt development to mitigate traffic generated noise. Urban For Urban Green. 2011;10(1):61-6. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.006

12. Lu J, Xiao Y, Shao Y. Research on the comprehensive noise reduction effectiveness of plant communities in urban green spaces. Landsc Archit Front. 2025;13(1):76-91. https://doi.org/10.15302/J-LAF-0-020027

13. Fiedler PEK, Zannin PHT. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. Environ Impact Assess Rev. 2015;51:1-9. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.014

14. Hernández-Ocampo RV, Chuncho-Morocho CG, García-Matailo SR, León-Celi CF, Castillo-Villalta JA. Situación actual y predicción del ruido vehicular en la zona urbana de la ciudad de Loja (Ecuador). Cedamaz. 2021;11(2):99-106. https://doi.org/10.54753/cedamaz.v11i2.1177

15. Gonzales Sucasaire NE. Data analysis of vehicular noise pollution and its perception in the cities of Juliaca and Puno, Puno region – 2021. Data Metadata. 2023;2:44. https://doi.org/10.56294/dm202344

16. Marin-Mamani G, Marín-Paucara E, Bolívar-Espinoza N, Enriquez-Mamani V, Curro-Pérez F. Modelamiento Kriging del comportamiento vertical de ruido ambiental mediante mapas temáticos durante festividades culturales en Puno y Juliaca, Perú. Tecnol Marcha. 2021;34(3):3-14. https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.4989

17. Flores Flores LA, Seclén Medina A, Bardales Grández KM, Ramírez Álvarez KE, Alva Chirinos ME. Caracterización y mapeo del ruido ambiental en el casco urbano de Pebas, Loreto, Perú. Rev Alfa. 2025;9(25):22-37. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.329

18. Flores Flores LA. Evaluación del riesgo ambiental por ruido en la avenida Participación, Iquitos, Perú. Cienc Amaz (Iquitos). 2023;11(1-2):1-16. https://doi.org/10.22386/ca.v11i1-2.382

19. Presidencia del Consejo de Ministros. Decreto Supremo N.° 085-2003-PCM, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Lima: PCM; 2003. https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3115975-085-2003-pcm

20. Ow LF, Ghosh S. Urban cities and road traffic noise: reduction through vegetation. Appl Acoust. 2017;120:15-20. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.011

21. Van Renterghem T. Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. Urban For Urban Green. 2019;40:133-44. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.015

22. Gaudon JM, McTavish MJ. Noise attenuation varies by interactions of land cover and season in an urban/peri-urban landscape. Urban Ecosyst. 2022;25(3):811-8. https://doi.org/10.1007/s11252-021-01194-4

23. Tashakor S, Chamani A. Temporal variability of noise pollution attenuation by vegetation in urban parks. Environ Sci Pollut Res. 2021;28:23143-51. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12355-5

24. Escalona CM, Buot IE. Exploring leaf architecture in varieties of *Hibiscus rosa-sinensis* L. (Malvaceae). Biodiversitas. 2023;24(10):5432-41. https://doi.org/10.13057/biodiv/d241017

25. Hao Z, Shi L, Ding J, Wang Z, Sun X. Noise was obviously reduced by both leaf texture and surface roughness in leaf scale. Plants. 2024;14(9):1363. https://doi.org/10.3390/plants14091363

26. Ministerio del Ambiente. Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental, Resolución Ministerial N.° 227-2013-MINAM. Lima: MINAM; 2013. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/RM-N%C2%BA-227-2013-MINAM.pdf

27. International Organization for Standardization. ISO 1996-1:2016. Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise—Part 1: Basic quantities and assessment procedures. Geneva: ISO; 2016. https://www.iso.org/standard/59765.html

28. International Organization for Standardization. ISO 1996-2:2017. Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise—Part 2: Determination of sound pressure levels. Geneva: ISO; 2017. https://www.iso.org/standard/59766.html

29. International Electrotechnical Commission. IEC 61672-1:2013. Electroacoustics—Sound level meters—Part 1: Specifications. Geneva: IEC; 2013. https://webstore.iec.ch/publication/5708

30. Takahashi H, Yamada K, Horiuchi R. Physical Quantities of Sound and Expanding Demands for Noise Measurement. Springer, 2023; 1527-1569. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2074-7_85

31. Prasetiyo I, Sihar I, Rahayu GM, Aziz NA. Sonic crystal green walls based on a combination of cylinder scatterers and vegetation for noise mitigation in urban design. Build Acoust. 2024;31(3):259-78. https://doi.org/10.1177/1351010X241272155

32. Kumar M, Gautam C, Garg N, Snehlata, Rajlaxmi A. Effect of vegetation in abatement of noise pollution: a soundscape approach. En: Garg N, editor. Handbook of Vibroacoustics, Noise and Harshness. Singapore: Springer; 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4638-9_5-1