



Departamento de Posgrados

Análisis estadístico de la evolución del ruido ambiental en la ciudad de Cuenca, durante el periodo 2020 – 2024 y su relación con variables meteorológicas

Trabajo final previo a la obtención del título de master en estadística aplicada

Ismael Vanegas Galindo

Julio Mosquera Gutierrez

Cuenca, Ecuador 2025

A mis padres, por su apoyo incondicional, imprescindible para culminar con éxito este reto,
para mi vida personal y profesional.

Resumen

La contaminación acústica, estrechamente vinculada al crecimiento urbano, afecta la calidad de vida por sus efectos físico-psicológicos asociados a la exposición prolongada a niveles altos de ruido. Este estudio monitorea y analiza su evolución en Cuenca mediante registros de tres sensores ubicados en zonas comerciales, en el periodo 2020–2024. Se aplicaron técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado, junto con visualización de datos, para identificar patrones y tendencias orientadas a incentivar acciones de mitigación. Dada la naturaleza de la variable, algunos métodos de agrupamiento presentaron desempeño limitado; no obstante, la visualización de datos permitió revelar hallazgos importantes y útiles para su control.

Palabras Clave: Ruido, Contaminación acústica, Medioambiente, Acústica medioambiental, Patrones

Abstract

Noise pollution, closely linked to urban growth, affects quality of life through physical and psychological effects associated with prolonged exposure to high noise levels. This study monitors and analyzes its evolution in Cuenca using records from three sensors located in commercial areas during the 2020–2024. Supervised and unsupervised learning techniques, together with data visualization, were applied to identify patterns and trends that can inform mitigation actions. Given the nature of the variable, some clustering methods exhibited limited performance; nevertheless, data visualization enabled the identification of important findings that are useful for the control and management of noise pollution.

Keywords: Noise; Noise pollution; Environment; Environmental acoustics; Patterns

Índice de contenido

Resumen	iii
Abstract	iii
1. Introducción:	7
2. Objetivo general	8
3. Laboratorio: Enfoque Descriptivo e Inferencial	9
3.1 Objetivos específicos	9
3.2 Método	9
3.3 Discusión y resultados	11
3.4 Conclusiones del laboratorio	19
4. Laboratorio: Enfoque Machine Learning	20
4.1. Objetivos específicos	20
4.2. Método	20
4.3. Discusión y resultados	21
4.4. Conclusiones del laboratorio	24
5. Laboratorio: Enfoque Toma de Decisiones	25
5.1. Objetivos específicos	25
5.2. Método	25
5.3. Discusión y resultados	26
5.4. Conclusiones del laboratorio	30
6. Laboratorio: Enfoque Robustez y Validación	31
6.1. Objetivos específicos	31
6.2. Método	31
6.3. Discusión y resultados	31
6.4. Conclusiones del laboratorio	35
7. Conclusión General	35
8. Referencias Bibliográficas	36

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Distribución de los datos de la variable ruido	11
Ilustración 2. Histograma de los datos de la variable ruido	12
Ilustración 3. Distribución de los datos de la variable temperatura	13
Ilustración 4. Histograma de los datos de la variable temperatura.....	13
Ilustración 5. Distribución de los datos de la variable presión	14
Ilustración 6. Histograma de los datos de la variable presión	14
Ilustración 7. Distribución de los datos de la variable humedad	15
Ilustración 8. Histograma de los datos de la variable presión	15
Ilustración 9. Grafica de correlación entre el ruido y las variables meteorológicas	16
Ilustración 10. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector Calle Larga	17
Ilustración 11. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector El Estadio	17
Ilustración 12. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector Remigio Crespo ..	18
Ilustración 13. Mapa de calor de los niveles de ruido	21
Ilustración 14. Agrupaciones con técnica Kmeans	23
Ilustración 15. Mapas de calor por cada zona comercial.....	26
Ilustración 16. Patrón sonoro por día de la semana	27
Ilustración 17. Comportamiento sonoro por año	28
Ilustración 18. Patrones de ruido en días laborables, fines de semana y domingos	29
Ilustración 19. Gráficos de normalidad árbol de decisión	31
Ilustración 20. Matriz de correlación de variables predictoras.....	32
Ilustración 21. Distribución de errores.	33
Ilustración 22. Autocorrelación de errores	33
Ilustración 23. Normalidad de los datos de ruido.....	34
Ilustración 24. Matriz de correlación para variables del clustering	34
Ilustración 25. Autocorrelación de nivel de ruido por hora.....	34

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de las variables	9
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la variable ruido	11
Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la variable temperatura.....	12
Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la variable presión	13
Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la variable humedad	15
Tabla 6. Nivel de ruido promedio (Leq) registrado.....	19
Tabla 7. Índice de ruido de acuerdo a los decibelios registrados.....	20
Tabla 8. Matriz de confusión	22
Tabla 9. Matriz de confusión (Recall)	22
Tabla 10. Resultados de la agrupación Clustering Kmeans.....	23
Tabla 11. Matriz de confusión modelo K-NN	29
Tabla 12. Métricas conseguidas Modelo K-NN.....	29
Tabla 13. Test de normalidad Shapiro Wilk	32
Tabla 14. Factor de inflación de la varianza VIF.....	32

1. Introducción:

La contaminación acústica constituye, un problema de alta relevancia en los entornos urbanos, pues el crecimiento de las ciudades suele ir acompañado de un incremento de los niveles de ruido (Mahobia, 2025). La exposición continua a niveles elevados de ruido es cada vez más común y representa un riesgo para la salud pública (Gadanya & Buhari, 2021). Entre los efectos adversos tanto físicos como psicológicos se encuentran la pérdida auditiva, dolores de cabeza, tinnitus, estrés, dificultades de concentración e interrupciones del sueño (Karki et al., 2024). Asimismo, se ha documentado la relación entre la exposición prolongada al ruido ambiental y un mayor riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares (Stankov & Stepančev, 2022). En este sentido, el ruido debe considerarse un contaminante directamente relacionado con la calidad de vida de los seres vivos; la cual se ve afectada por la falta de medidas de control adecuadas (Marzolla et al., 2025).

El problema ha generado importancia a escala global; por lo cual, en los últimos años, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado diversas investigaciones para identificar los efectos del ruido ambiental en la salud (OMS, 2024). Como resultado, las *Environmental Noise Guidelines for the European Region* presentan recomendaciones orientadas para el control del ruido procedente de distintas fuentes (OMS, 2018). Dichas directrices y las distintas enfermedades asociadas al ruido en Europa, evidencian la magnitud del problema y respaldan la formulación de políticas públicas para la gestión y mitigación del ruido (AEMA, 2025).

El uso de herramientas tecnológicas que facilitan la recolección de datos ha impulsado el estudio de la contaminación por ruido. En este contexto, el monitoreo del ruido ambiental mediante redes de sensores acústicos ha permitido un análisis continuo y de alta resolución, especialmente en Europa, donde es una herramienta clave orientada a la construcción de ciudades sostenibles (Alías & Alsina-Pagès, 2019). El uso de sensores acústicos certificados, implementados en países como Italia, España y otros estados miembros de la Unión Europea, si bien contribuye de manera significativa a la obtención de datos, presenta una gran limitación asociada al costo, lo que restringe su despliegue a gran escala (Picaud et al., 2020). Como respuesta, se han desarrollado diversos dispositivos de bajo costo, aunque es necesaria una constante validación de estos equipos (Picaud et al., 2020). En Estados Unidos, se implementó una red de 55 nodos en la ciudad de Nueva York que operó por más de dos años, demostrando alta estabilidad operativa y una elevada tasa de recolección de datos (Mydlarz et al., 2019).

Otro caso es la modificación de los sistemas de escape de motocicletas y automóviles con el objetivo de elevar el nivel de ruido emitido por el vehículo, una problemática de alcance global que ha motivado la implementación de controles y sanciones contra escapes no conformes por su aporte al ruido urbano (OPPAGA, 2023). La falta de conocimiento de las normas vigentes contribuye a la persistencia de estas conductas (Bhattacharya et al., 2023; Sackey

et al., 2024), generando un deterioro del entorno acústico que afecta el bienestar y la salud de la población (OMS, 2022).

Por el desconocimiento sobre la contaminación acústica y la escasa información disponible se realizan prácticas inadecuadas que producen emisiones sonoras innecesarias (Bhattacharya et al., 2023; Sackey et al., 2024). En la ciudad de Cuenca, algunos locales comerciales orientan altavoces hacia la vía pública y reproducen música a alto volumen para atraer clientela, pese a que la ordenanza local restringe su uso al interior de los establecimientos y establece niveles máximos permisibles (GAD Municipal de Cuenca, 2024, art. 18). Otro caso frecuente a escala internacional es la modificación de los sistemas de escape de motocicletas y automóviles con el objetivo de elevar el nivel de ruido emitido por el vehículo; esta práctica ha motivado la implementación de controles y sanciones contra escapes que producen niveles excesivos de ruido (OPPAGA, 2023).

Debido a la ya antes mencionada escasez de información sobre la temática de la contaminación sonora, se considera pertinente aportar evidencia local mediante estudios de esta índole, en este caso sobre la exposición al ruido en zonas comerciales de Cuenca, que permitan la generación de políticas públicas para el control y la mitigación del ruido. Metodológicamente, el trabajo aporta a la identificación de patrones mediante análisis estadístico y técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado, fomentando el uso de sensores de bajo costo como herramienta para el monitoreo de la contaminación acústica.

El problema al analizar una variable como el ruido es su comportamiento, anclado a dinámicas poblacionales; se ha observado que tiende a concentrarse en ciertas zonas, en determinadas horas y también en días específicos, por lo cual es necesario caracterizarlo de forma detallada para aplicar acciones de control. Este trabajo permitirá obtener datos de Leq en intervalos de diez minutos, agregados por zona, día y franjas horarias, determinando así el comportamiento de la variable y la existencia de patrones. Con los datos disponibles, se evaluará la eficiencia de modelos de clasificación y de predicción que para estimar el ruido esperado en zonas con características similares dentro de la ciudad.

El presente documento se compone de cuatro laboratorios, que abarcan desde el análisis exploratorio de los datos hasta la validación de los modelos. En cada sección se presenta la metodología, los objetivos y los resultados correspondientes. Finalmente, se ofrece una conclusión general que integra los hallazgos y discute sus implicaciones de forma global.

2. Objetivo general

Analizar la evolución de la contaminación acústica en la ciudad de Cuenca durante el periodo 2020 – 2024, evaluando la influencia de las condiciones meteorológicas en sus variaciones, mediante modelos estadísticos que permitan predecir sus tendencias futuras.

3. Laboratorio: Enfoque Descriptivo e Inferencial

3.1 Objetivos específicos

Analizar la relación entre variables meteorológicas, tales como la humedad, presión y temperatura, y su influencia en la propagación del sonido, utilizando los niveles de ruido registrados entre los años 2020 - 2024

Determinar la relación entre el cambio de la dinámica poblacional en los distintos días de la semana y la identificación de patrones de ruido.

3.2 Método

Para el análisis de los datos se inicia con la descripción de cada una de las variables presentes en la base de datos mismas que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las variables

Variable	Tipo de variable	Descripción	Escala de medición
Sensor	Nominal	Contiene el nombre de cada uno de los sensores, se utiliza únicamente como referencia de la ubicación	-
Fecha	Ordinal	Contiene la fecha y la hora de llegada de los registros desde el año 2020 hasta el año 2024	Ordinal
Ruido	Numérica	Datos registrados de Leq (dB), Nivel equivalente sonoro en la ubicación de cada sensor	Cuantitativa continua
Presión	Numérica	Datos registrados de la presión atmosférica en la ubicación de cada sensor (hPa)	Cuantitativa continua
Humedad	Numérica	Datos registrados de la humedad relativa en la ubicación de cada sensor	Cuantitativa continua
Temperatura	Numérica	Datos registrados de la temperatura en la ubicación de cada sensor C°	Cuantitativa continua
Día	Categórica	Nombre del día al que corresponde cada fecha	Ordinal
Hora	Categórica	Hora a la que corresponde independientemente de los minutos a los que llegó el registro	Ordinal

Dirección	Nominal	Nombre de la calle en la que se encuentra ubicado	-
-----------	---------	--	---

La base de datos proporcionada no ha sido sometida a un proceso de depuración previo, por lo que se detectó la presencia de datos vacíos, atípicos e incongruentes. Se establecieron algunas aclaraciones para el tratamiento de los datos, ya que el único proceso realizado fue la eliminación de registros no válidos.

- **Variable Ruido:** La captación de niveles cercanos a 0 es irreal, dado que el silencio absoluto no existe en el ambiente, además, niveles inferiores a 20 decibelios se consideran no válidos.
- **Variable Presión:** Las variaciones de presión son mínimas; cambios significativos se consideran no reales y se atribuye a fallas del dispositivo.
- **Variable Humedad:** Valores cercanos a 0 no representan el comportamiento real de esta variable, especialmente en la ciudad de Cuenca.
- **Variable Temperatura:** Aunque los valores inferiores a cero son posibles, registros de -100 grados son irreales y se consideran como fallas del dispositivo.

Datos faltantes (NA): estos se deben a cortes de energía que interrumpieron el funcionamiento de los sensores. Debido a que estos vacíos son el resultado de factores externos al funcionamiento del dispositivo, se optó por eliminarlos.

Datos atípicos: se identificó la existencia de varios registros, estos datos son considerados válidos dado que corresponden a situaciones específicas relacionadas con el ruido o las condiciones meteorológicas. Estos valores fueron mantenidos para su análisis, ya que se encuentran dentro de un rango coherente o real.

Finalmente, se detectaron incongruencias en algunos registros, especialmente en las variables de presión atmosférica y humedad relativa y temperatura, cuyos valores son irreales. Estos datos fueron clasificados como no válidos y se eliminaron.

Con el fin de evaluar la confiabilidad del funcionamiento del dispositivo, se contabilizaron los datos considerados como no válidos, estos se compararon, en relación con el total de datos recolectados.

Una vez depurada la base de datos se llevó a cabo un análisis de la distribución de los datos correspondientes a las variables principales: ruido, presión, humedad y temperatura. Se generaron tablas con los estadísticos descriptivos más relevantes y se representó la concentración de los datos mediante diagramas de caja y bigotes (box plot).

Asimismo, se evaluó la relación entre las variables meteorológicas y el nivel de ruido a través de pruebas de correlación y gráficos de dispersión.

Además, los datos fueron agrupados por sensores y días, y los resultados fueron representados gráficamente. Finalmente, mediante la aplicación de pruebas de hipótesis, se obtuvieron los siguientes resultados.

3.3 Discusión y resultados

Como primer resultado, se obtuvo un 13.51% de datos fallidos. Dado que estos fallos se distribuyen de manera aleatoria, es decir, no se concentran en periodos de tiempo específicos, se considera que no afectan de manera significativa los análisis.

A continuación, se presentan los resultados de la media, mediana, desviación estándar e índice intercuartílico (IQR), los cuales permiten analizar tanto los valores centrales como la dispersión de los datos de las variables meteorológicas y de ruido.

Ruido

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la variable ruido

Sensor	Media Ruido	Mediana Ruido	Desviación Ruido	IQR Ruido
SCP04	68.1	69.2	4.5	4.2
SCP06	64.9	67.2	6.4	7.1
SCP07	65.0	67.7	6.6	8.7

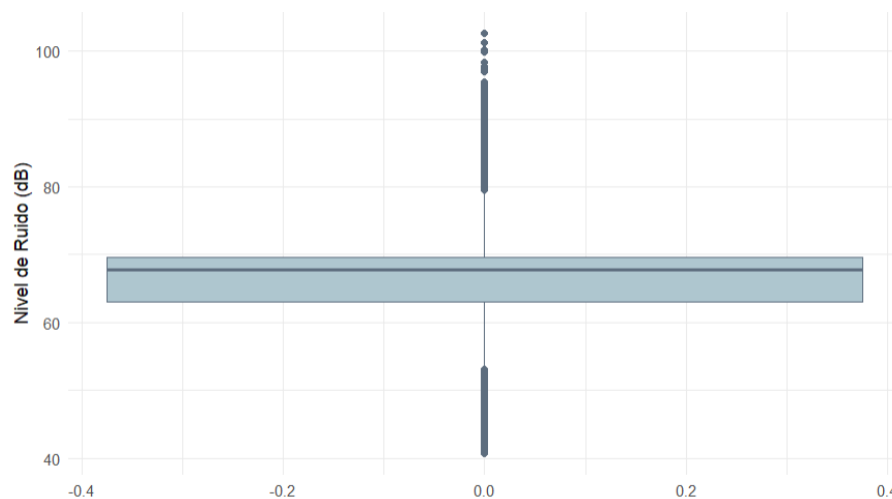


Ilustración 1. Distribución de los datos de la variable ruido

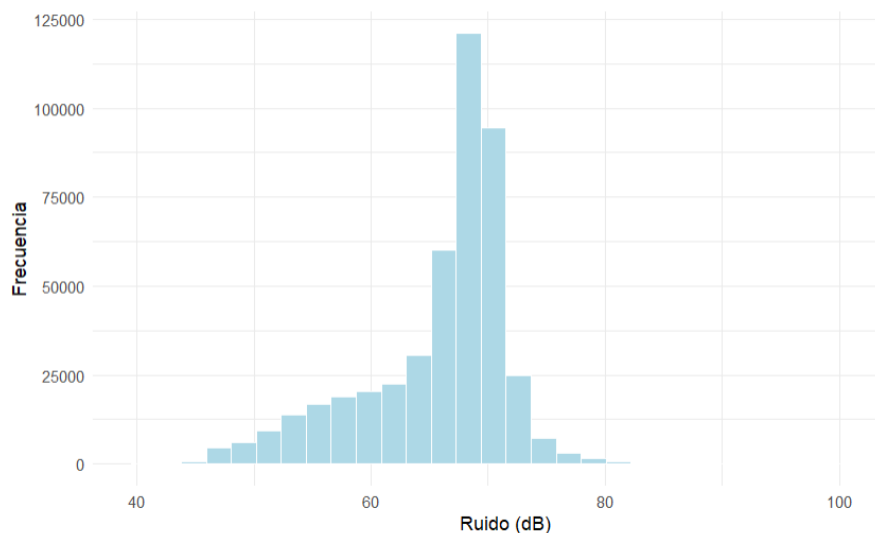


Ilustración 2. Histograma de los datos de la variable ruido

La variabilidad de los datos observada no es alta, dado que las mediciones corresponden a un periodo de 24 horas, durante el cual se anticipa que los niveles de ruido fluctúen hasta un máximo de 10 decibelios. En cuanto al índice intercuartílico en la Tabla 2, no sugiere una dispersión significativa de los datos, lo que indica que los registros son relativamente constantes. Además, los valores de media y mediana se encuentran próximos entre sí, lo que indica una distribución balanceada de los datos, aunque con una ligera tendencia hacia niveles más altos. Los datos atípicos observados en la Ilustración 1 corresponden a situaciones muy específicas, por lo que no ejercen una influencia significativa sobre las medidas de tendencia central. A través del histograma en la Ilustración 2, se puede observar que los datos no siguen una distribución normal lo cual ha sido corroborado mediante pruebas de normalidad, con una verificación tripartita. Dado que los datos no siguen una distribución normal, los análisis se realizarán mediante pruebas no paramétricas.

Temperatura

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la variable temperatura

Sensor	Media_ Temperatura	Mediana_ Temperatura	Desviación_ Temperatura	IQR_ Temperatura
SCP04	16.8	15.8	3.8	5.4
SCP06	15.4	14.8	3.5	5.0
SCP07	16.0	15.2	3.8	5.3

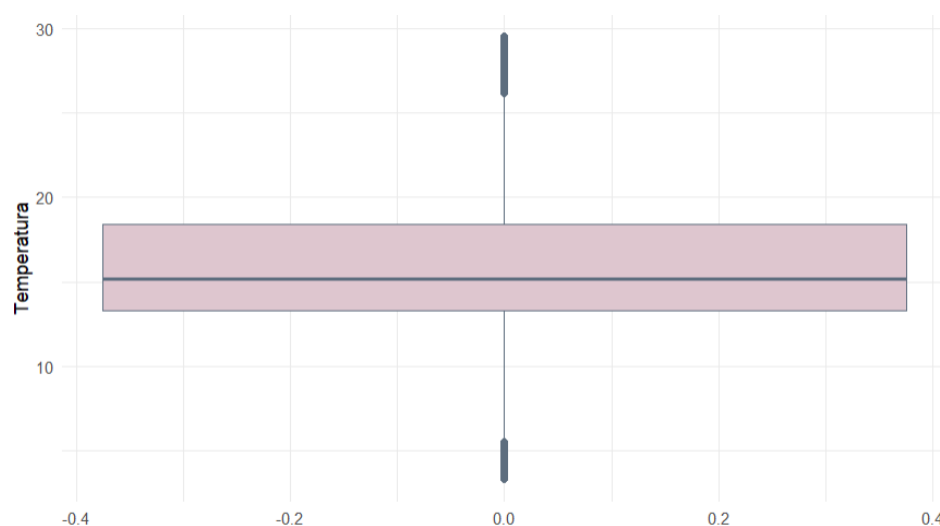


Ilustración 3. Distribución de los datos de la variable temperatura

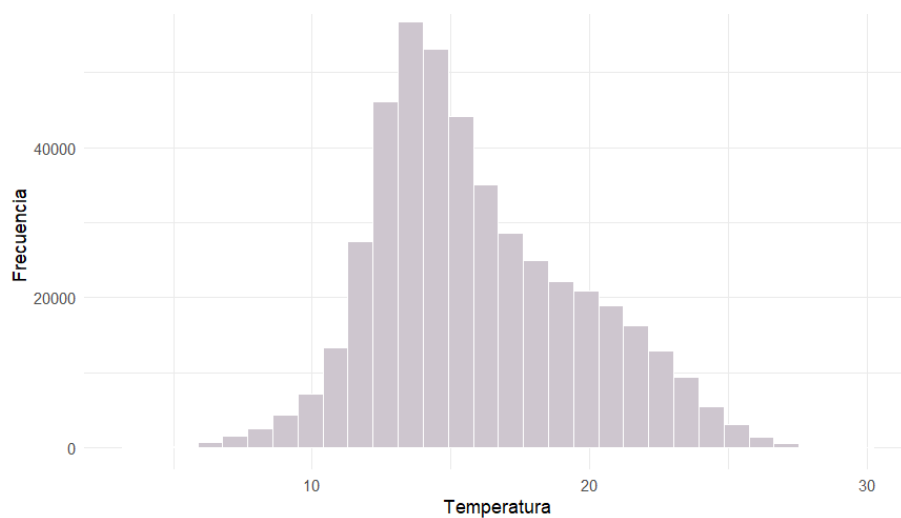


Ilustración 4. Histograma de los datos de la variable temperatura

En la Ilustración 3, Se observa una distribución de los datos con baja dispersión. Además, los valores de la media y la mediana en la Tabla 3, indican una distribución equilibrada con tendencias a valores bajos. Sin embargo, se observa que no existen influencias significativas de valores extremos que puedan alterar la tendencia central de los datos.

Presión

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la variable presión

Sensor	Media_ Presión	Mediana_ Presión	Desviación_ Presión	IQR_ Presión
--------	-------------------	---------------------	------------------------	-----------------

SCP04	75270.8	75272.6	149.7	213.4
SCP06	75332.1	75339.5	165.3	243.4
SCP07	75359.4	75370.6	153.8	215.8

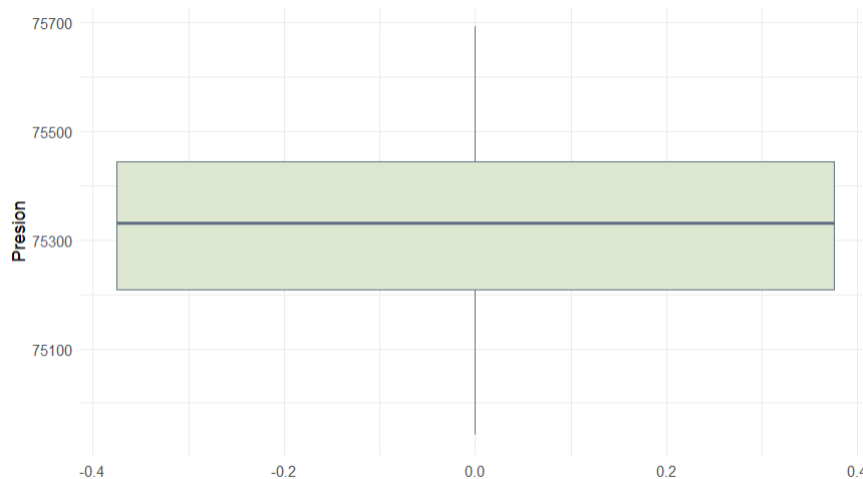


Ilustración 5. Distribución de los datos de la variable presión

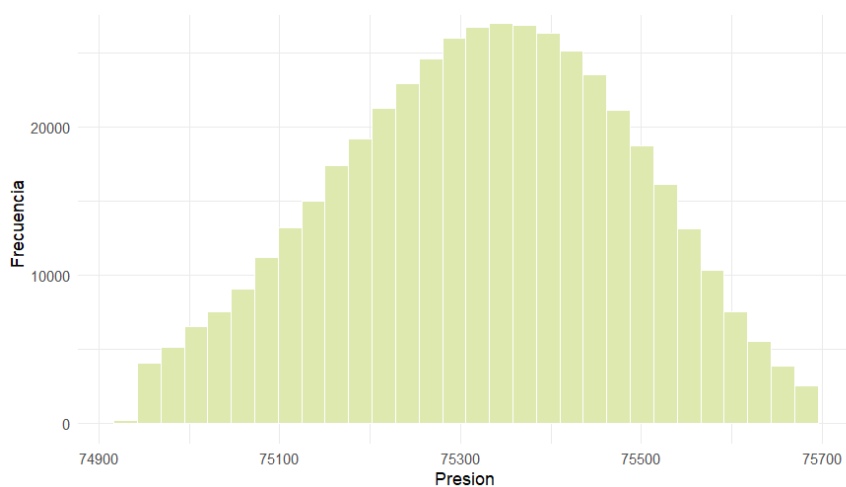


Ilustración 6. Histograma de los datos de la variable presión

Los valores de presión son muy constantes con algunas variaciones pequeñas. Los resultados de la media y la mediana en la Tabla 4, sugieren una posible distribución normal de los datos. No obstante, por medio de las pruebas de normalidad se establece que no mantiene una distribución normal.

Humedad

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la variable humedad

Sensor	Media Humedad	Mediana Humedad	Desviación Humedad	IQR Humedad
SCP04	86.9	100.0	18.5	25.1
SCP06	74.8	77.2	18.5	29.9
SCP07	80.9	85.3	18.4	33.5

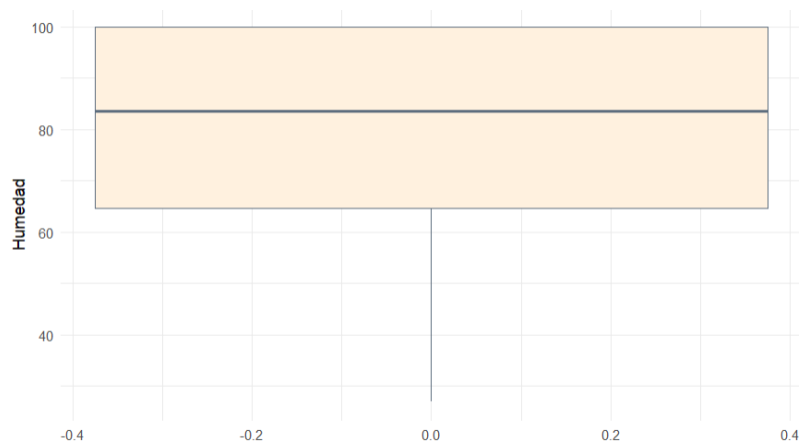


Ilustración 7. Distribución de los datos de la variable humedad

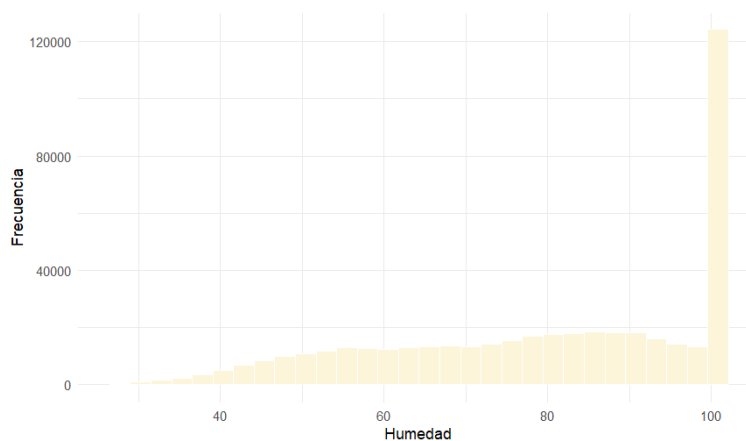


Ilustración 8. Histograma de los datos de la variable presión

Este contaminante específico muestra una dispersión particular en los datos *Ilustración 7*, lo cual puede explicarse por el rango relativamente amplio entre los valores mínimos y máximos. No obstante, se observa concentración significativa de muestras por encima de los 60 puntos *Ilustración 8*.

Relación entre variables meteorológicas y el ruido

La bibliografía establece que las condiciones meteorológicas, como la temperatura y la humedad, desempeñan un papel importante en la propagación del sonido, influyendo tanto en su velocidad de propagación como en la absorción en el ambiente. Por otro lado, la presión atmosférica ejerce un efecto indirecto.

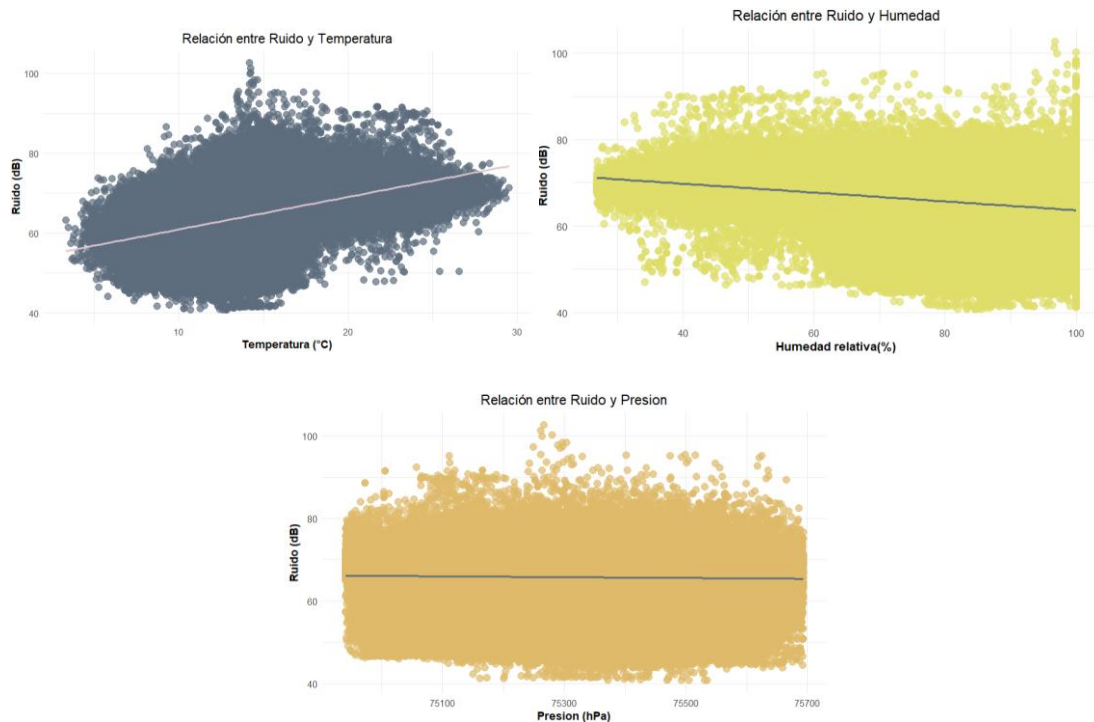


Ilustración 9. Grafica de correlación entre el ruido y las variables meteorológicas

La Ilustración 9 indica una correlación moderada y positiva entre la temperatura y el ruido, lo cual se asocia a que la temperatura incide en la velocidad de propagación del sonido. Esto implica que, a mayor temperatura, los niveles de ruido tienden a ser más altos, y viceversa. Por otro lado, entre la humedad y el ruido, se observó una correlación negativa débil, lo que se atribuye a la mayor absorción que los ambientes húmedos ejercen sobre las ondas sonoras. En cuanto a la presión atmosférica, su coeficiente de correlación fue muy bajo, por lo que se considera despreciable en este contexto.

Es importante destacar que, aunque las variables meteorológicas muestran cierta influencia sobre los niveles de ruido registrados, existen otros factores que probablemente tienen un mayor impacto en el aumento del ruido. Sin embargo, este análisis permite establecer una relación preliminar entre las condiciones meteorológicas y los niveles de ruido ambiental.

Relación entre días de la semana y niveles de ruido

Dado que la dinámica poblacional varía significativamente a lo largo de la semana, especialmente en áreas comerciales que incluyen establecimientos de entretenimiento

nocturno, se decidió analizar los niveles de ruido según el día de la semana. Este enfoque permite identificar los días con mayor y menor contaminación acústica y, además, observar posibles patrones de comportamiento del ruido a lo largo del día.

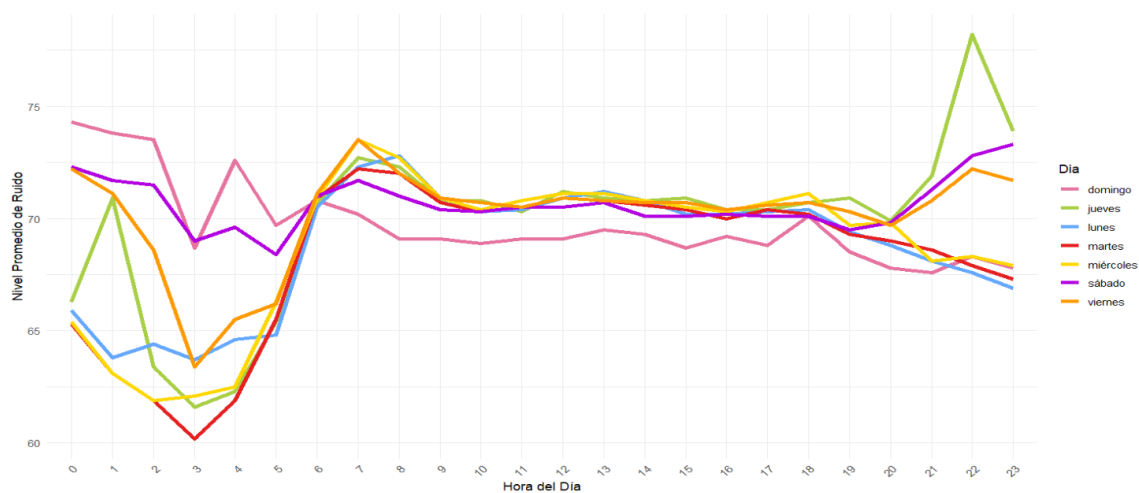


Ilustración 10. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector Calle Larga

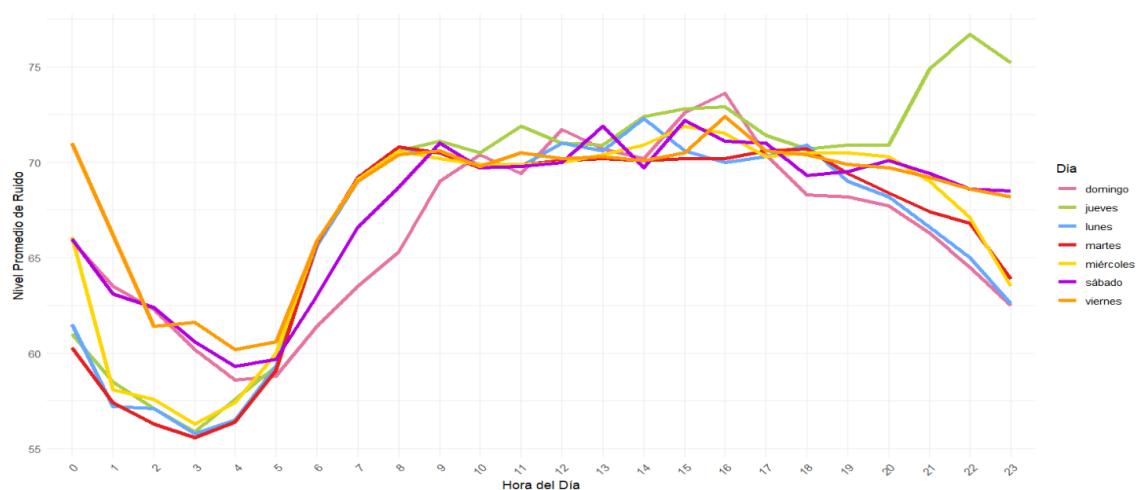


Ilustración 11. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector El Estadio

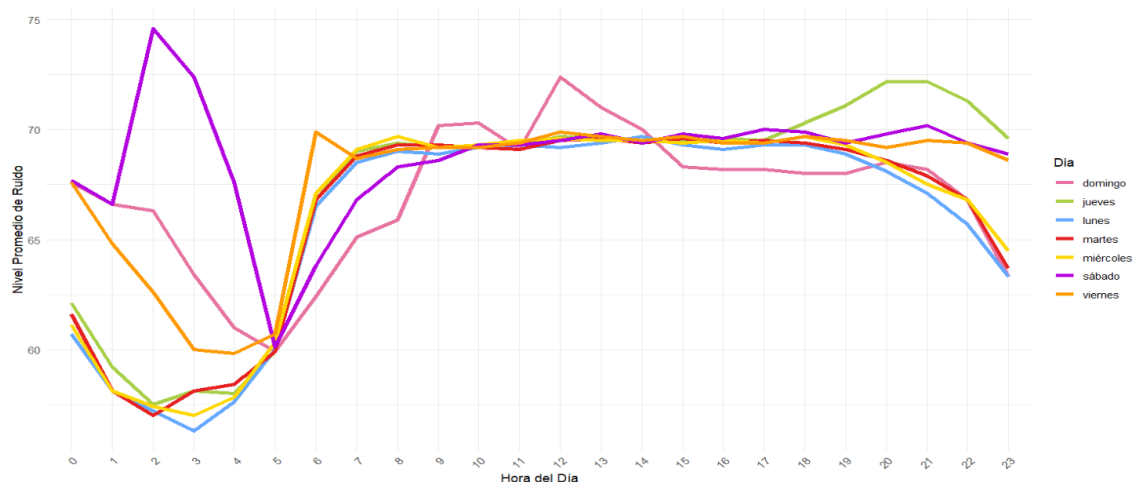


Ilustración 12. Nivel de ruido equivalente agrupado por día, en el sector Remigio Crespo

Se puede identificar un patrón en el comportamiento del sonido, el cual está estrechamente vinculado a las dinámicas de la población. El ruido en las tres zonas estudiadas presenta un comportamiento similar, lo que resulta coherente considerando que todas son áreas de carácter comercial y comparten características como un alto flujo vehicular y peatonal, así como la presencia de diversos establecimientos comerciales, incluyendo aquellos dedicados al entretenimiento nocturno.

El análisis temporal de los niveles de ruido revela que durante la madrugada (00:00 - 05:00) estos se mantienen en valores bajos, aumentando progresivamente. En el intervalo comprendido entre las 05:00 y las 19:00, el ruido tiende a mantenerse relativamente constante. Posteriormente, a partir de las 19:00, se observa una disminución del nivel sonoro en los días denominados "entre semana" (lunes a miércoles), en los cuales la actividad nocturna es reducida. En contraste, durante los días considerados como "fin de semana" (jueves a sábado), se registra un incremento del ruido nocturno, alcanzando picos durante la madrugada.

El día domingo ha sido analizado de forma separada debido a un cambio en la dinámica poblacional, caracterizado por el cierre de numerosos establecimientos comerciales, una disminución en el tráfico vehicular y una mayor concentración de personas en zonas dedicadas a la oferta gastronómica.

Finalmente, se destaca un comportamiento particular los días jueves, asociado a una actividad específica conocida como "Jueves de Motos", en la cual grupos de motociclistas se congregan para realizar recorridos nocturnos, generando niveles elevados de contaminación acústica.

Tabla 6. Nivel de ruido promedio (Leq) registrado

Agrupación de días	Leq Calle Larga	Leq Remigio Crespo	Leq El estadio
Entre semana	69.6	67.6	68.4
Fin de semana	71.0	68.9	69.7
Domingo	70.3	67.9	68.2

En la Tabla 6, Se observa que la diferencia del nivel promedio equivalente no es amplia sin embargo se realiza una prueba de hipótesis con Prueba de Kruskal-Wallis para determinar si la diferencia es significativa entre los valores medidos agrupados por día y por sensor

Ho: El nivel promedio equivalente agrupado por día es similar

H1: el nivel promedio equivalente agrupado por día es significativamente diferente

Como resultado no da un Pvalue = 0.4335 lo que indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula por lo que se considera que el nivel de ruido promedio equivalente agrupado por días es similar. Esto nos indica que la agrupación por día no es apropiada por lo cual es necesario un análisis más específico evaluado por días separados o por horas.

3.4 Conclusiones del laboratorio

Se pudo establecer que las variables meteorológicas, como la temperatura y la humedad, tienen una relación significativa con los niveles de ruido registrados, a diferencia de la presión atmosférica, cuya influencia se considera despreciable. Es relevante destacar que el análisis se realizó de manera general, considerando todos los registros recolectados a lo largo de cinco años en tres zonas diferentes. Para obtener resultados más precisos y relevantes, se recomienda evaluar el comportamiento del ruido en condiciones meteorológicas específicas para cada zona.

Los datos analizados proporcionaron información clara sobre el patrón de la contaminación sonora, el cual se asocia directamente con las dinámicas poblacionales. A través de este patrón, es posible identificar situaciones específicas de relevancia para el estudio de la contaminación acústica. En este caso, se identificó un aumento significativo en los niveles de ruido los días jueves entre las 20:00 y las 22:00, lo cual podría ser objeto de un estudio más detallado.

Mediante comparaciones y pruebas de hipótesis, se observó que no existe una diferencia significativa en el promedio de nivel sonoro equivalente entre fines de semana, días laborables y específicamente el día domingo. Si bien los resultados obtenidos no son incorrectos, se considera que no fue la decisión correcta agrupar los datos de esta manera

por lo que se recomienda realizar análisis de los niveles sonoros en rangos horarios específicos, horas separadas o días por separado.

4. Laboratorio: Enfoque Machine Learning

4.1. Objetivos específicos

Analizar la influencia de variables meteorológicas y temporales.

Identificar patrones recurrentes en los niveles de ruido en función del día de la semana y la hora de la medición.

4.2. Método

Para la elaboración del Laboratorio 2, se utilizó como base los resultados obtenidos en el Laboratorio 1, en los cuales se identificó la presencia de posibles patrones en los niveles de ruido. No obstante, el objetivo del presente documento es profundizar y reforzar estos hallazgos.

En primer lugar, se desarrolló un mapa de calor con el propósito de analizar el comportamiento del ruido a lo largo del día. En este caso, se emplearon variables temporales, asociando los datos con la hora de registro y los días de la semana. Es importante resaltar que los valores utilizados corresponden a el promedio de los valores registrados en cada hora utilizando los datos registrados en tres zonas distintas, pero de la misma índole o tipo de uso de suelo, en este caso, zonas comerciales. Donde se espera que durante los fines de semana los niveles de ruido sean mayores en el horario nocturno.

Una vez confirmado que efectivamente existe un patrón claro en los niveles de ruido, surgió la necesidad de clasificar estos niveles de acuerdo con una escala asociada a la percepción humana, es decir, cómo una persona describiría el ambiente en función del ruido presente. Para ello, se utilizó la escala mostrada en la Tabla 7. Cabe destacar que no se incluyeron categorías como "silencioso" o "muy silencioso", debido a la ausencia de datos correspondientes a esas categorías en la base de datos.

Tabla 7. Índice de ruido de acuerdo a los decibelios registrados

Índice Ruido	Rango de Nivel (dB)
Poco Ruidoso	40 - 59.99
Ruidoso	60 - 79.99
Muy Ruidoso	80 - 89.99
Excesivamente Ruidoso	90 - 120

Con el índice de ruido generado, se optó por aplicar una técnica de clasificación supervisada basada en un árbol de decisión, utilizando el 80% de los datos para el entrenamiento con el objetivo de predecir el índice de ruido del 20% restante. La predicción se realizó empleando variables meteorológicas como temperatura, presión y humedad, así como el día de la semana y la hora de registro.

Finalmente, para identificar agrupaciones de niveles de ruido que puedan indicar patrones claros, se recurrió a una técnica no supervisada, el clustering K-means. De este modo, fue posible identificar grupos con niveles de ruido similares entre sí, pero diferentes de otros grupos. El análisis se realizó a nivel horario, con la finalidad de identificar posibles horas pico y valle, así como horas en las que los niveles de ruido son constantes o experimentan cambios significativos.

4.3. Discusión y resultados

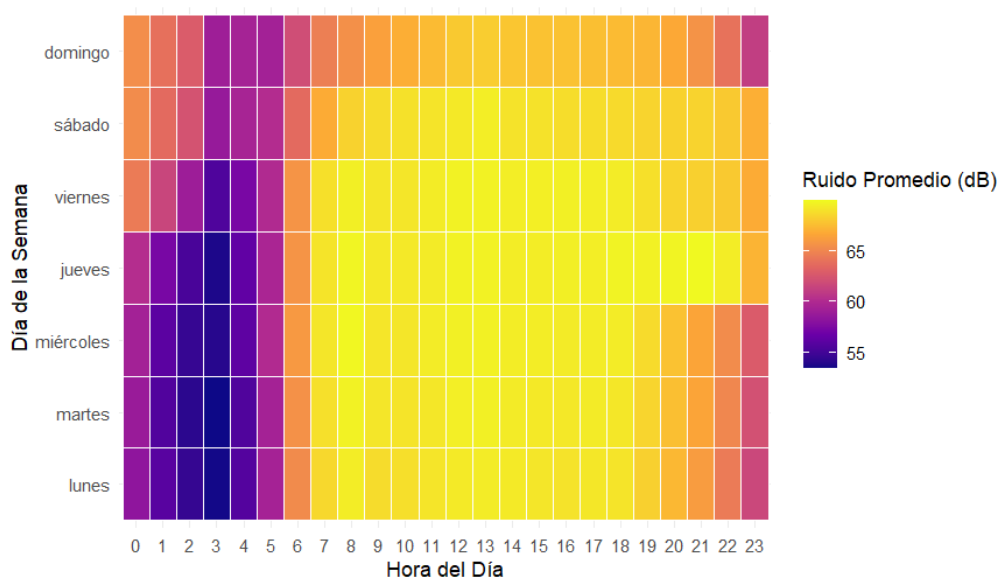


Ilustración 13. Mapa de calor de los niveles de ruido

Como primer resultado, en la Ilustración 13, se observa la distribución de los niveles de ruido según la hora y el día de medición, utilizando un mapa de calor. Como se puede observar, efectivamente, durante la madrugada de los días viernes, sábado y domingo, los niveles de ruido son más elevados en comparación con el resto de la semana. Además, se detecta que, de lunes a jueves, entre la 1:00 y las 3:00 de la madrugada, se registran los niveles más bajos de ruido. A medida que avanza el día, se esperarían fluctuaciones en los niveles de ruido durante las horas pico y valle, es decir, en las horas de mayor tráfico de automóviles y peatones, y viceversa. Sin embargo, se puede notar que los niveles de ruido de lunes a sábado se mantienen casi constantes durante todo el día, desde las 7:00 a.m. hasta las 7:00 p.m.

Un aspecto relevante es la presencia de niveles altos de ruido durante la noche de los días jueves, lo cual se asocia a una actividad popular en la ciudad conocida como "el jueves de motos", donde grupos de motociclistas circulan por la ciudad, generando un aumento en los niveles de contaminación sonora.

Tabla 8. Matriz de confusión

Predicción \ Realidad	Poco ruidoso	Ruidoso	Muy ruidoso	Excesivamente ruidoso
Poco ruidoso	12,576	6,469	25	3
Ruidoso	3,952	68,278	262	11
Muy ruidoso	0	0	0	0
Excesivamente ruidoso	0	0	0	0

Tabla 9. Matriz de confusión (Recall)

Clase	Sensibilidad (Recall)	Especificidad	Precisión (PPV)
Poco ruidoso	76.1%	91.3%	65.9%
Ruidoso	91.4%	74.9%	94.2%
Muy ruidoso	0%	100%	NA
Excesivamente ruidoso	0%	100%	NA

Mediante la aplicación de una técnica de clasificación supervisada se obtuvo una precisión general del 86%, lo cual representa un desempeño notable considerando que los factores meteorológicos, como la temperatura y la humedad, presentan una influencia directa limitada en los niveles de ruido. Asimismo, se observó que durante el día los niveles de ruido no presentan variaciones significativas, lo que dificulta la tarea de clasificación. El índice Kappa obtenido fue de 0.6, lo que indica que el modelo no realiza una clasificación aleatoria, aunque su desempeño aún no puede considerarse excelente.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 8, se evidencia que el modelo clasificó las observaciones únicamente en las categorías "Poco ruidoso" y "Ruidoso", a pesar de que en la base de datos existen registros que deberían pertenecer a las categorías "Muy ruidoso" o "Excesivamente ruidoso". Esta limitación se relaciona con el desbalance en la distribución de clases dentro del conjunto de datos, donde la mayoría de las observaciones corresponden a las categorías más frecuentes.

En la Tabla 9, se presenta la sensibilidad del modelo, donde se confirma que no existe sensibilidad para las categorías "Muy ruidoso" y "Excesivamente ruidoso", ya que el modelo

no realiza clasificaciones en dichos niveles. Por el contrario, se observa un buen desempeño en la clasificación de las categorías “Poco ruidoso” y especialmente “Ruidoso”.

Se considera que el modelo podría mejorarse mediante la redefinición de los rangos de clasificación o mediante la generación de un conjunto de entrenamiento más equilibrado que incluya una representación adecuada de todas las categorías de ruido.

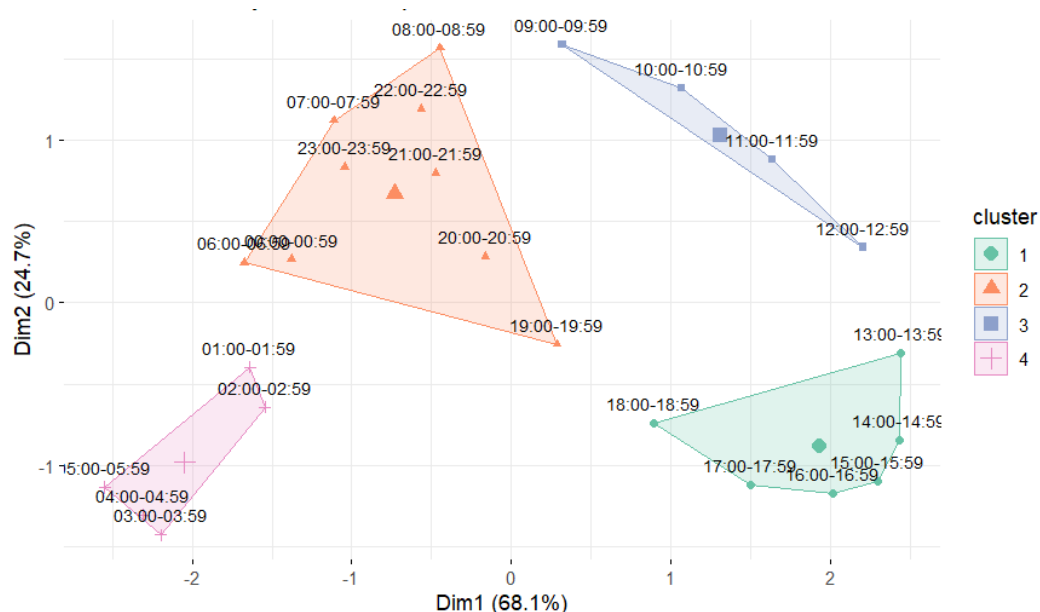


Ilustración 14. Agrupaciones con técnica Kmeans

Tabla 10. Resultados de la agrupación Clustering Kmeans

Clúster	Leq Ruido (dB)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Franjas Horarias	N franjas
1	70.24	75184.51	19.15	65.45	13:00–13:59, 14:00–14:59, 15:00–15:59, 16:00–16:59, 17:00–17:59, 18:00–18:59	6
2	69.23	75383.89	14.36	87.27	00:00–00:59, 06:00–06:59, 07:00–07:59, 08:00–08:59, 19:00–19:59, 20:00–20:59, 21:00–21:59, 22:00–22:59, 23:00–23:59	9
3	70.02	75404.61	19.32	65.74	09:00–09:59, 10:00–10:59, 11:00–11:59, 12:00–12:59	4

Clúster	Leq Ruido (dB)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Franjas Horarias	N franjas
4	64.47	75305.96	12.59	92.69	01:00–01:59, 02:00–02:59, 03:00–03:59, 04:00–04:59, 05:00–05:59	5

Los resultados obtenidos por la técnica no supervisada nos indica que existen agrupaciones de varias franjas horarias en cada clúster como se puede observar en la Ilustración 14. Se puede observar que es imposible detectar horas pico y valle durante el transcurso del día.

Con base en los resultados de la Tabla 10 se puede observar lo siguiente:

Cluster 1 y 3: Son los más ruidosos mayor a 70 dB, con temperaturas más altas 19°C y humedad moderada (65%). Representan principalmente las franjas de la mañana media Cluster 3 y la tarde Cluster 1.

Cluster 2: Tiene ruido ligeramente menor 69.2 dB, pero humedad alta 87%. Incluye muchas franjas dispersas, principalmente noche y mañana.

Cluster 4: Es el menos ruidoso 64.5 dB, con la mayor humedad 92% y la menor temperatura 12.6°C, representando franjas de madrugada.

4.4. Conclusiones del laboratorio

Se determinó que, aunque las variables meteorológicas como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica presentan una correlación muy baja con los niveles de ruido registrados, sí ejercen cierta influencia en la generación del índice de ruido. De igual manera, variables temporales como el día de la semana y la hora del registro también contribuyen en dicha generación.

El análisis de los datos revela la existencia de un patrón cíclico en el comportamiento del ruido a lo largo de la semana. De lunes a sábado, los niveles de ruido presentan comportamientos similares durante el día, ahora bien, de lunes a miércoles se presenta una reducción marcada durante las horas nocturnas. En los días jueves se observan incrementos en el ruido nocturno, lo cual podría asociarse a actividades urbanas específicas. Este comportamiento se acentúa durante los fines de semana, en los que se registran niveles de ruido elevados durante la madrugada, posiblemente vinculados al funcionamiento de establecimientos de entretenimiento nocturno. Finalmente se encuentra el día domingo con los niveles más bajos de ruido mismos que se elevan según transcurre los días de la siguiente semana.

Limitaciones

A pesar de que se evidenció la relación entre variables para la generación del índice de ruido, no fue posible implementar modelos basados en series temporales. Esto se debe a la presencia de vacíos temporales considerables en los datos, cuya magnitud impide su imputación o eliminación sin comprometer la integridad de la serie. Estos vacíos representan periodos extensos que afectan la continuidad necesaria para este tipo de análisis.

5. Laboratorio: Enfoque Toma de Decisiones

5.1. Objetivos específicos

Identificar franjas horarias críticas de contaminación acústica en zonas comerciales, con el fin de aplicar controles específicos y sancionar a quienes excedan los límites establecidos en la normativa vigente.

Comparar patrones de contaminación acústica en días laborables y fines de semana, para implementar estrategias de control focalizadas.

Proponer a la entidad de control la implementación progresiva de acciones de vigilancia y sanción, priorizando un enfoque educativo y preventivo que minimice el rechazo social y refuerce su imagen como promotora del bienestar público.

5.2. Método

Para el análisis de los datos se utilizaron únicamente los valores registrados de nivel de ruido, dado que se constató que las variables meteorológicas no influyen significativamente en la variable ruido. La descripción de las variables se encuentra en la Tabla 1.

El análisis se realizó de forma general sobre la base de datos con el objetivo de identificar patrones de comportamiento asociados al tipo de uso de suelo, específicamente en zonas comerciales con alta presencia de establecimientos de entretenimiento nocturno. Se espera así encontrar comportamientos que permitan proponer medidas para controlar el ruido en estas áreas, buscando que dichas acciones sean aplicables y replicables en cualquier zona comercial.

En primer lugar, se generaron mapas de calor para cada zona, con el fin de identificar las horas del día en las que es necesario implementar acciones para controlar la producción innecesaria de ruido.

Como segundo paso, se analizó el patrón sonoro de cada día, es decir, la evolución de los niveles de ruido a lo largo de las horas. Esto permitió agrupar días con comportamientos similares para establecer acciones más concretas y optimizar los resultados.

Con base en esta agrupación, se clasificaron los días en tres grupos:

Lunes, martes y miércoles: Días laborables, donde no se espera mayor movimiento nocturno (21:01 a 7:00 según la normativa nacional TULSMA).

Jueves, viernes y sábado: Fines de semana, en los que el movimiento nocturno presenta un cambio significativo.

Domingo: Día de descanso con actividades variadas.

Con estos grupos se analizó la evolución del ruido durante el día para identificar horarios y días en los que se deben tomar acciones para reducir la contaminación acústica. Al detectar un comportamiento anómalo en los domingos, se realizó un análisis más detallado para justificar las decisiones tomadas. Finalmente, se desarrolló un modelo de clasificación k-NN para categorizar los registros en tres niveles:

Bajo: niveles menores a 60 dB

Moderado: entre 60 y 70 dB

Alto: mayores a 70 dB

Esta clasificación se adoptó para optimizar la precisión del modelo, ya que, con una escala más específica y un mayor número de clases, la precisión obtenida fue muy baja. Aunque la precisión conseguida no es óptima, esta clasificación fue la que permitió obtener los mejores resultados.

5.3. Discusión y resultados

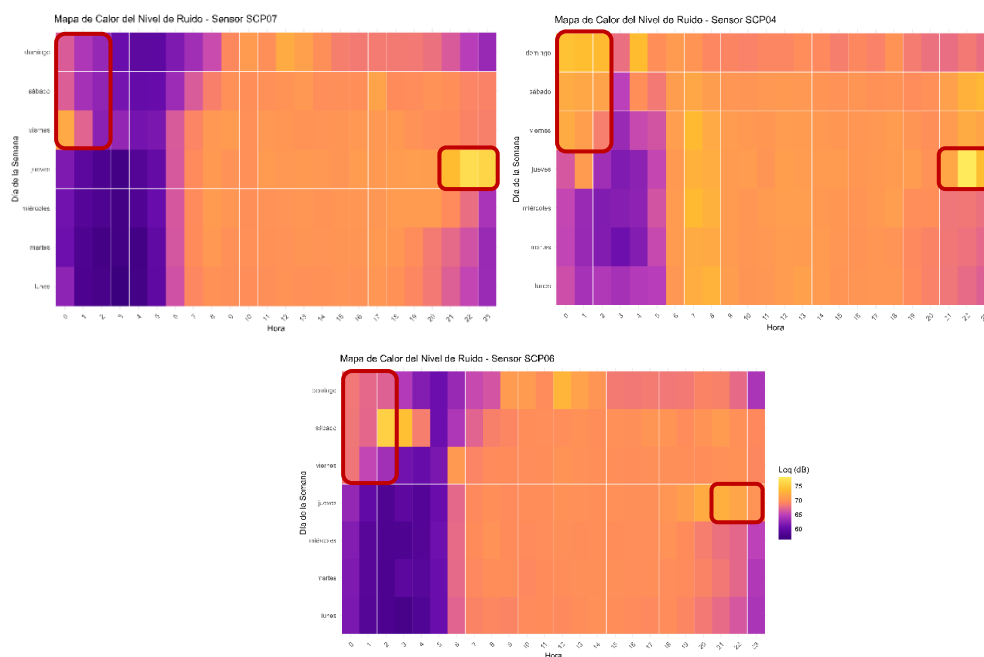


Ilustración 15. Mapas de calor por cada zona comercial

A través de los mapas de calor (Ilustración 15), se observa que el nivel de ruido durante el horario diurno se mantiene prácticamente constante a lo largo de todos los días de la semana, sin variaciones significativas. Sin embargo, al analizar el horario nocturno se identifican cambios importantes.

Específicamente, los días jueves presentan un comportamiento particular entre las 21:00 y las 23:00 horas, con un aumento considerable en los niveles de ruido. Además, se identifica una franja horaria entre las 0:00 y las 3:00 horas los días viernes, sábado y domingo, donde los niveles de ruido se mantienen elevados.

Estos hallazgos indican la necesidad de investigar las causas que provocan estos aumentos en el nivel sonoro durante dichos periodos. Para generar acciones específicas de control

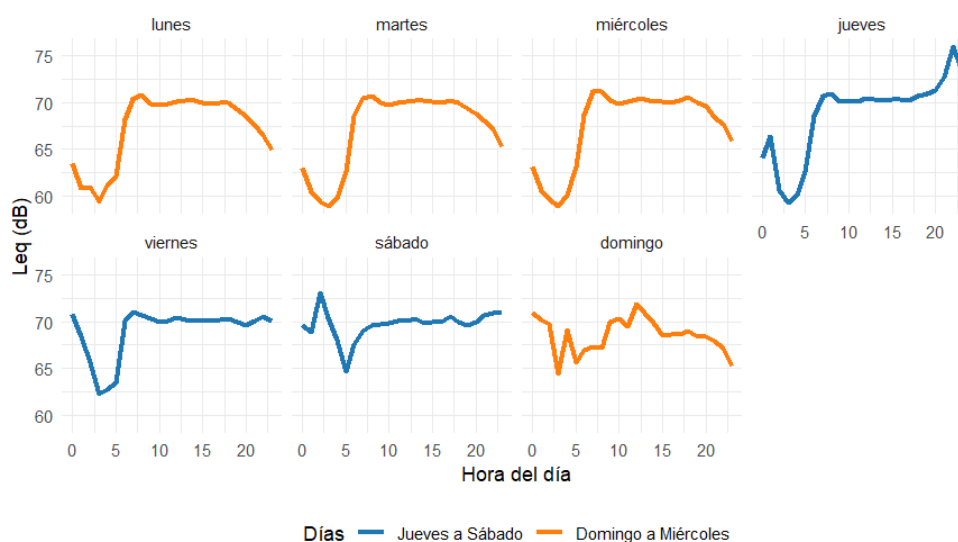


Ilustración 16. Patrón sonoro por día de la semana

El análisis individual por día (Ilustración), permite observar con mayor claridad un patrón definido en el comportamiento sonoro. Se identifica que durante los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes, los niveles de ruido presentan su pico más alto en la mañana, entre las 6 y las 8 horas, coincidiendo con el horario en que las personas se movilizan hacia sus trabajos, escuelas o universidades. Este movimiento genera un aumento en los niveles sonoros por el mal uso de la bocina, y el aumento de vehículos en circulación.

Los días jueves destacan por un pico adicional entre las 21:00 y las 23:00 horas. Aunque la base de datos no especifica la fuente exacta del ruido, es posible asociar este incremento a actividades identificadas como ruidosas, como el evento conocido como “jueves de motos”. En esta actividad, grupos de motociclistas realizan paseos grupales y luego se concentran en establecimientos comerciales, lo que probablemente genera un aumento significativo del ruido, debido al elevado número de motocicletas, muchas de las cuales podrían carecer de silenciadores o tener modificaciones que aumentan su nivel sonoro.

Durante los sábados y domingos, los niveles de ruido se mantienen elevados durante la noche, lo que se relaciona con el movimiento comercial nocturno en establecimientos de entretenimiento. Estas actividades generan tanto tránsito vehicular y peatonal como ruido proveniente de los locales comerciales.

Finalmente, el domingo presenta un comportamiento diferente, por lo que se analizó por separado. Se observa un pico de ruido al mediodía, sin embargo, no se tomaron acciones al respecto porque este comportamiento se identificó solo durante 2023 y no se ha registrado en periodos más recientes.

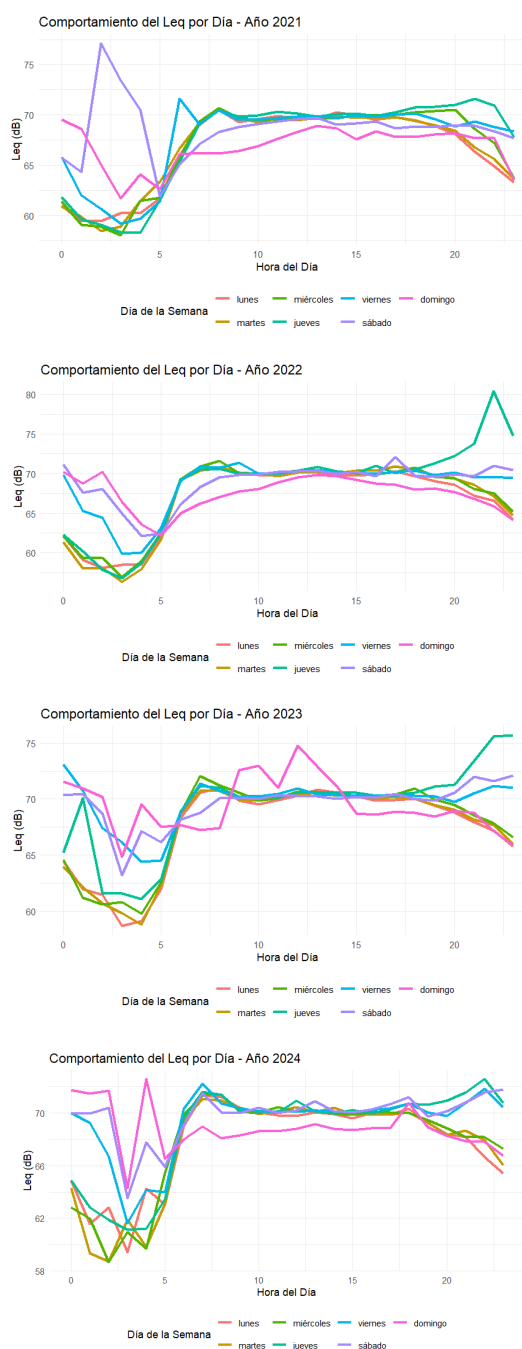


Ilustración 17. Comportamiento sonoro por año

Las gráficas por año (Ilustración 17), permiten corroborar lo mencionado anteriormente. Se observa que el aumento en los niveles de ruido los días jueves aparece desde el año 2022 y se mantiene hasta la actualidad. Los niveles de ruido durante los viernes y sábados también se mantienen constantes. Sin embargo, el ruido excesivo detectado los domingos se presentó únicamente en 2023, pero no en 2024, por lo que no se considera necesaria la implementación de medidas para este día.

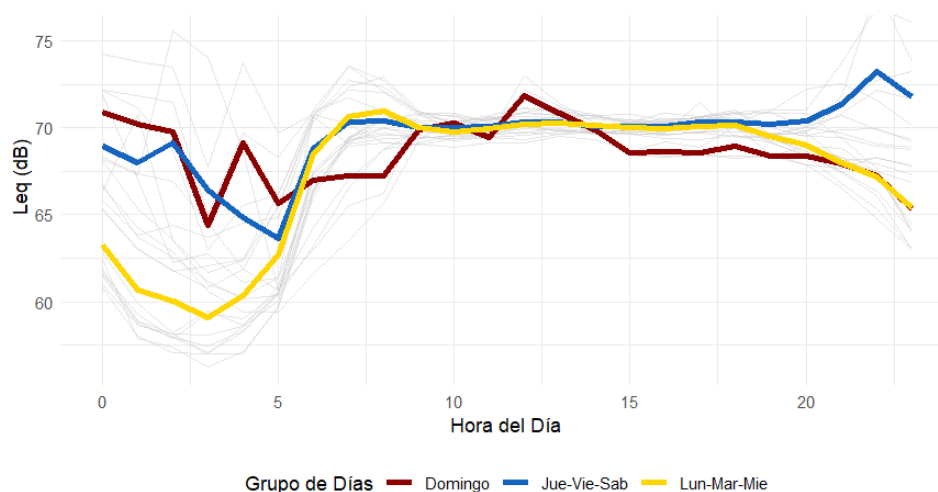


Ilustración 18. Patrones de ruido en días laborables, fines de semana y domingos

El análisis previo permitió agrupar los días con el fin de establecer horarios específicos para la implementación de intervenciones orientadas a mitigar la contaminación sonora (Ilustración 18). Como resultado, se identificaron patrones claros en los días laborables (lunes, martes y miércoles) donde no se identificó la necesidad de aplicar controles y en los fines de semana (jueves, viernes y sábados) donde existen dos horarios para la aplicación de controles de ruido, mientras que los picos detectados en los domingos no son considerados por lo antes explicado.

Tabla 11. Matriz de confusión modelo K-NN

	Bajo	Moderado	Alto
Bajo	18682	9772	2730
Moderado	12455	46669	13867
Alto	2432	7366	4522

Tabla 12. Métricas conseguidas Modelo K-NN

Accuracy	0,5826
95% CI	(0,5798; 0,5855)
No Information Rate	0,5306
P-Value [Acc > NIR]	< 2.2e-16

En las Tabla 11 y 12 se observa que, el modelo alcanza una precisión global del 58.26%, lo que indica que clasifica correctamente más de la mitad de los casos. Esta precisión supera al No Information Rate, que es del 53.06% y representa la tasa de acierto al clasificar siempre según la categoría más frecuente. Además, el p-valor extremadamente bajo ($< 2.2e-16$) confirma que esta mejora respecto al azar es estadísticamente significativa y no debida al azar.

Por lo tanto, el modelo demuestra un rendimiento válido y confiable para la tarea de clasificación, mejorando significativamente sobre una estrategia aleatoria. Sin embargo, es importante señalar que, al aumentar el número de categorías, es decir, al utilizar rangos más pequeños para cada clase, el rendimiento del modelo disminuye considerablemente, llegando a una precisión menor al 32%.

5.4. Conclusiones del laboratorio

Los datos permiten establecer acciones concretas asociadas a actividades específicas. En este caso, a partir de los análisis realizados, se propone implementar controles de ruido en las vías principales de estas tres zonas comerciales, específicamente los días jueves entre las 21:00 y las 00:00 horas.

Otra acción necesaria es el control del ruido generado por locales comerciales durante el horario nocturno, asegurando el cumplimiento del horario de funcionamiento establecido, es decir, hasta las 03:00 a.m. Asimismo, se debe verificar que se respeten los límites sonoros estipulados en la normativa vigente, especialmente los días viernes y sábado entre las 00:00 y las 03:00 horas.

Durante los días laborables se propone realizar controles para evitar el uso excesivo de bocinas en los automóviles, especialmente en el horario comprendido entre las 6:00 y las 8:00 de la mañana, coincidiendo con el pico de ruido detectado en ese periodo.

Cabe destacar que estas acciones están contempladas en la ordenanza local del cantón Cuenca, lo cual permite su implementación con respaldo legal.

Finalmente, se recomienda a la entidad encargada del control realizar campañas de socialización sobre la producción de ruido y sus efectos en la salud, con el objetivo de fomentar la conciencia social. Esto contribuirá a que las medidas de control sean mejor recibidas por la ciudadanía y no generen rechazo.

La principal limitación de este estudio es la falta de información sobre las fuentes específicas del ruido, ya que los registros obtenidos corresponden únicamente al nivel de ruido ambiental. Por lo tanto, fue necesario inferir la relación entre ciertos niveles sonoros y actividades particulares. Para futuras investigaciones, se sugiere complementar este tipo de análisis con

herramientas o metodologías que permitan identificar de manera directa las fuentes emisoras de ruido.

6. Laboratorio: Enfoque Robustez y Validación

6.1. Objetivos específicos

Identificar los supuestos relevantes para validar los modelos generados

Determinar si los modelos utilizados son lo suficientemente robustos para los análisis realizados.

6.2. Método

Durante la fase experimental, se implementaron y evaluaron tres modelos de aprendizaje automático para analizar los niveles de contaminación acústica. Inicialmente, se desarrolló un árbol de decisión con el objetivo de clasificar el ruido según la percepción humana en una escala ordinal que comprende las categorías desde: Poco ruidoso hasta Excesivamente ruidoso. Posteriormente, se aplicó un enfoque de aprendizaje no supervisado mediante el algoritmo K-Means. Este modelo permitió identificar clústeres en los datos, facilitando el análisis de patrones temporales para determinar la existencia de horarios con niveles de contaminación acústica similares. Como tercer modelo, se empleó el algoritmo de K-Vecinos Más Cercanos (KNN), con la finalidad de realizar una clasificación de los datos en los niveles Bajo, Moderado y Alto

6.3. Discusión y resultados

Para los tres modelos se evaluaron los supuestos de normalidad, ortogonalidad, independencia y aleatoriedad

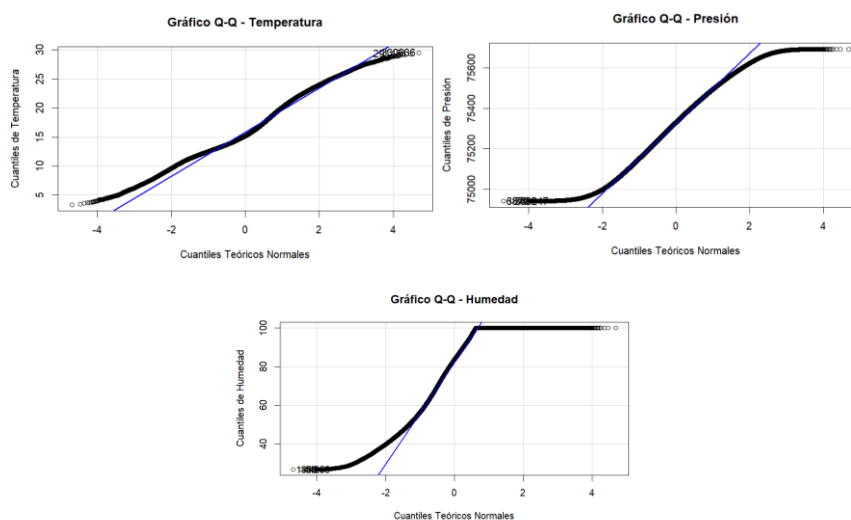


Ilustración 19. Gráficos de normalidad árbol de decisión

Tabla 13. Test de normalidad Shapiro Wilk

Variable	P-Value
Temperatura	5,358936e-30
Presión	6,534421e-19
Humedad	3,069073e-50

En la Ilustración 19, podemos observar que el supuesto de normalidad no se cumple en ningún caso tomado como variable dependiente el ruido, relacionándola con las variables meteorológicas de temperatura, humedad y presión. Adicionalmente se evaluó la normalidad por medio del test Shapiro wilk (Tabla 13), donde se reafirma la ausencia de normalidad

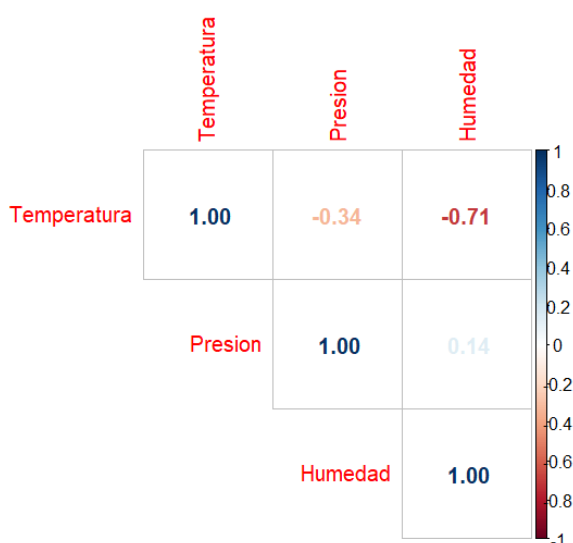


Ilustración 20. Matriz de correlación de variables predictoras.

Tabla 14. Factor de inflación de la varianza VIF

Variable	P-Value
Temperatura	5,358936e-30
Presión	6,534421e-19
Humedad	3,069073e-50

La Ilustración 20, nos muestra la correlación entre las variables, el valor VIF obtenido para las tres variables se encuentra por debajo de cinco lo que nos indica que no existe colinealidad que afecte al modelo (Tabla 14), esto nos permite afirmar que la ortogonalidad se cumple.

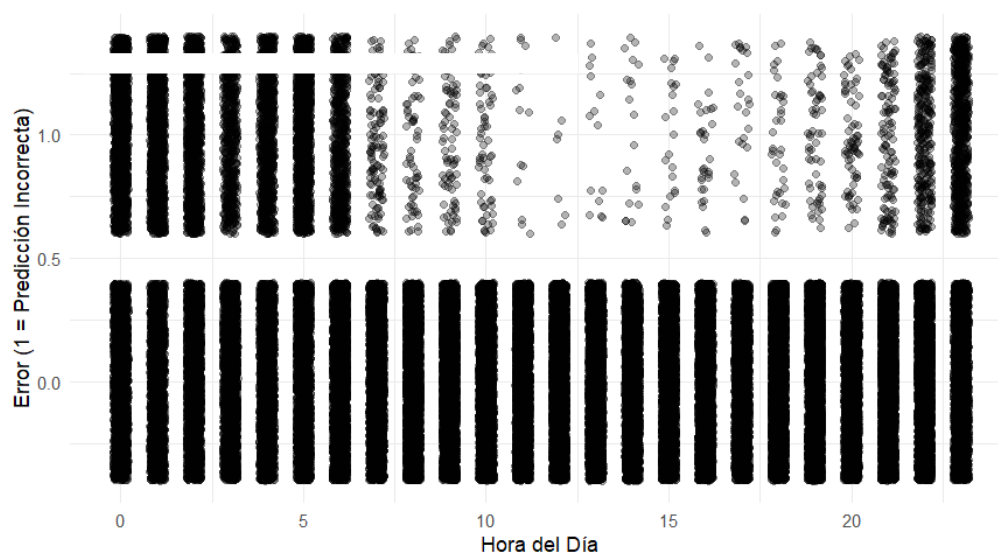


Ilustración 21. Distribución de errores.

La Ilustración 21, indica falta de independencia en los datos por la detección de patrones, el ruido esta relacionado a la hora y el día, siguiendo patrones marcados de comportamiento.

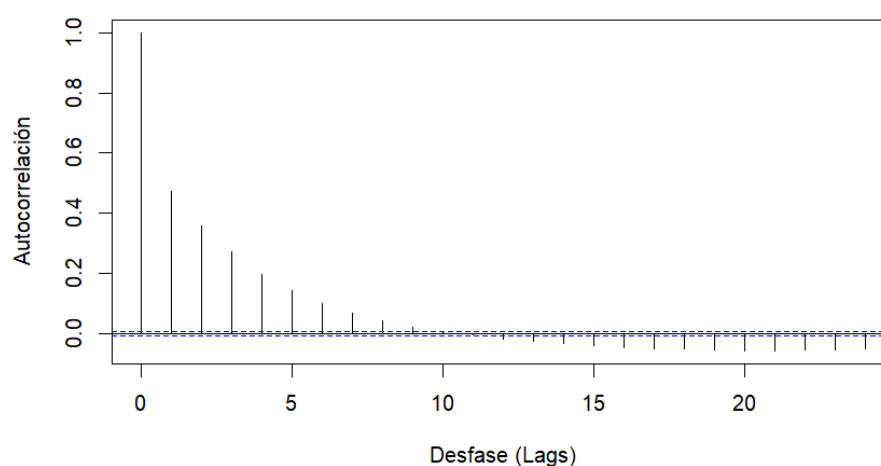


Ilustración 22. Autocorrelación de errores

La Ilustración 22, nos muestra que los datos si tiene autocorrelación lo que indica que no se cumple el supuesto de aleatoriedad.

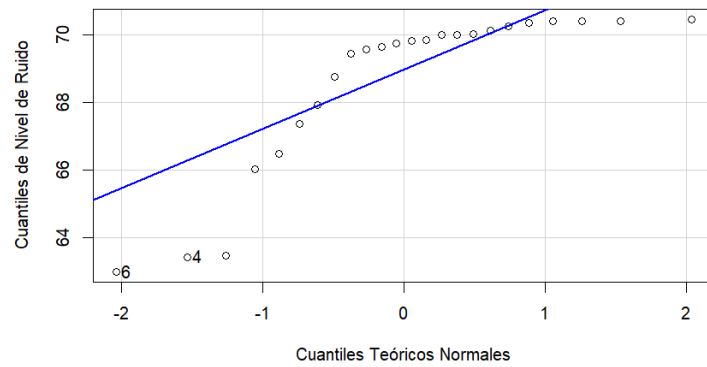


Ilustración 23. Normalidad de los datos de ruido

En la Ilustración 23, se observa que el supuesto de normalidad no se cumple, si embargo es importante resaltar que la no normalidad en el modelo K- means no afecta a la robustez del modelo.

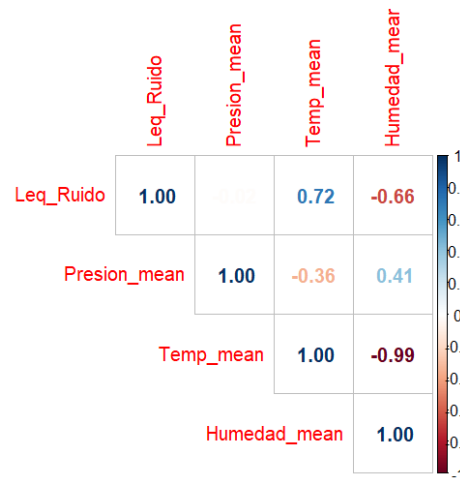


Ilustración 24. Matriz de correlación para variables del clustering

En la Ilustración 24, se observa que existe una correlación alta entre temperatura y humedad lo que indica multicolinealidad, lo que impide la generación adecuada de clústeres.

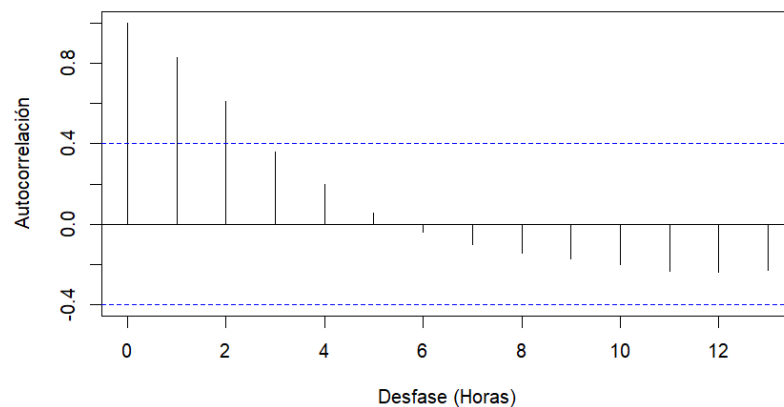


Ilustración 25. Autocorrelación de nivel de ruido por hora

La independencia de los datos no se cumple, como se observa en la Ilustración 25, existe correlación de los datos lo que indica que el modelo no es adecuado.

El supuesto de aleatoriedad tampoco se cumple con este modelo debido a la identificación de patrones existentes

Debido al bajo desempeño del modelo K-NN y su falta de robustes, así como también su falta de sensibilidad no se considera necesario evaluar los supuestos planteados inicialmente puesto que se conoce de antemano que el modelo no es robusto.

6.4. Conclusiones del laboratorio

El modelo de árbol de decisión no es suficientemente robusto para análisis predictivos confiables, ya que si bien presenta alta replicabilidad y es robusto ante la no-normalidad de los datos y correlaciones entre predictores, presenta limitaciones críticas que afectan su validez, existe falta de independencia temporal con patrones horarios sistemáticos en los errores, autocorrelación significativa en múltiples desfases temporales, y un sesgo grave hacia las clases mayoritarias que lo hace completamente incapaz de detectar eventos de ruido excesivo (100% de error en clases minoritarias), lo que compromete su utilidad para la detección temprana de contaminación acústica crítica.

El modelo de K-means no es robusto para identificar patrones genuinos entre ruido y variables meteorológicas, ya que, aunque presenta alta, la estructura de clústeres detectada es débil y está severamente contaminada por una autocorrelación temporal alta, lo que genera agrupaciones que no reflejan la verdadera relación de los datos de la variable ruido.

El modelo K-NN demuestra ser inadecuado para aplicaciones prácticas en la identificación de niveles críticos de contaminación acústica debido a su bajo desempeño predictivo.

7. Conclusión General

El estudio aporta evidencia local y de alta relevancia sobre la contaminación acústica en tres zonas comerciales de Cuenca, mostrando un patrón claro vinculado a dinámicas poblacionales, niveles relativamente similares de lunes a sábado durante el día, disminución de la contaminación auditiva en el horario nocturno de lunes a miércoles e incrementos marcados los jueves en la noche y madrugadas del fin de semana. Las variables meteorológicas como temperatura y humedad muestran relaciones bastante débiles con el nivel de ruido, mientras que la presión atmosférica resulta despreciable para efectos prácticos.

La combinación de análisis estadístico y aprendizaje automático (supervisado y no supervisado) resultó útil para describir y agrupar comportamientos, pero no produjo modelos predictivos robustos, el árbol de decisión mostró sesgo por clase y autocorrelación de errores;

k-means detectó clústeres débiles afectados por autocorrelación temporal; y k-NN evidenció bajo desempeño para identificar niveles críticos. Adicionalmente, los registros vacíos impidieron el uso de modelos de series temporales. Esto nos indica que por la naturaleza de la variable (ruido) es necesario aplicar otros modelos que pueden adaptarse mejor a la misma.

Los resultados obtenidos sugieren acciones focalizadas, como establecer controles en vías principales los jueves entre 21:00–00:00; fiscalización de locales de entretenimiento nocturno los días viernes y sábados entre 00:00–03:00; así como también se recomienda la realización de campañas y control de uso excesivo de bocinas en días laborables entre 06:00–08:00. Se recomienda, además, una mayor socialización sobre efectos del ruido.

Para futuras investigaciones, se sugiere asegurar la continuidad en los registros de los sensores, uno de los aspectos más importantes a incorporar en estos estudios es la identificación de fuentes y explorar modelos más robustos con validación temporal estricta.

8. Referencias Bibliográficas

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2025). *Environmental noise in Europe — 2025*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/10.2800/1181642>

Organización Mundial de la Salud. Oficina Regional para Europa. (2024, 4 de agosto). *How much does environmental noise affect our health? WHO updates methods to assess health risks*.

Alías, F., & Alsina-Pagès, R. M. (2019). Review of Wireless Acoustic Sensor Networks for Environmental Noise Monitoring in Smart Cities. *Journal of Sensors*, 2019, 7634860. <https://doi.org/10.1155/2019/7634860>

Mydlarz, C., Sharma, M., Lockerman, Y., Steers, B., Silva, C., & Bello, J. P. (2019). The life of a New York City noise sensor network. *Sensors*, 19(6), 1415. <https://doi.org/10.3390/s19061415>

Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Guillaume, G., & Aumond, P. (2020). Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks—A Literature Review. *Sensors*, 20(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/s20082256>

Mahobia, D., Soni, A., & Soni, A. (2025). Noise pollution in City Damoh, MP: A case study. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM40874>

Gadanya, M. A., & Buhari, I. A. (2021). Exposure and consequences of noise pollution among residents of Bichi Town, Kano State, Nigeria. *FUDMA Journal of Sciences*, 5(2), 52–58. <https://doi.org/10.33003/fjs-2021-0502-521>

Stankov, S., & Stepančev, B. (2022). Uticaj buke na zdravlje ljudi [Noise and its influence on human health]. *Medicinski časopis*, 56(2), 77–83. <https://doi.org/10.5937/mckg56-38021>

Karki, T. B., Manandhar, R. B., Neupane, D., Mahat, D., & Ban, P. (2024). Critical analysis of noise pollution and its effect on human health. *International Journal of Education and Life Sciences*, 2(5), 467–481. <https://doi.org/10.59890/ijels.v2i5.1891>

Marzolla, M. C., Borghans, L., Ebus, J., Gwiazda, M., van Heugten, C., & Hurks, P. (2024). The impact of noise exposure, time pressure, and cognitive load on objective task performance and subjective sensory overload and fatigue. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 46(10), 1001–1014. <https://doi.org/10.1080/13803395.2025.2458539>

Bhattacharya, D., James, T. D., Lakshminarayanan, S., Meenu, S., Madhusoodanan, S. L., & Thulasingham, M. (2023). Perception of noise pollution among youths and adults in urban Puducherry, South India. *Cureus*, 15(11), e49573. <https://doi.org/10.7759/cureus.49573>

Sackey, L. N. A., Agyemang, L. S. Y., Acheampong, P. E., Owusu, M. A., & Amoah, J. (2024). Assessment of noise levels and perceptions of its health impact at Kejetia Market in Ghana. *The Scientific World Journal*, 2024, 7658837. <https://doi.org/10.1155/2024/7658837>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca. (2025, 6 de enero). *Ordenanza de control, regulación y sanción de la contaminación ambiental originada por la emisión de ruido proveniente de fuentes fijas y móviles*. <https://www.cuenca.gob.ec/system/files/ORDENANZA%20DE%20CONTROL%2C%20REG%20ULACI%C3%93N%20Y%20SANCI%C3%93N%20DE%20LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20AMBIENTAL%20ORIGINADA%20POR%20LA%20EMISI%C3%93N%20DE%20RUIDO.pdf>

Office of Program Policy Analysis and Government Accountability (OPPAGA). (2023, June). *A review of exhaust system noise* (Report No. 23-04). Florida Legislature. <https://oppaga.fl.gov/Documents/Reports/23-04.pdf>