UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

Evaluación de los niveles de ruido y concentración de material particulado en la ciudad de Tumbes

TESIS

Para optar el Título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente

Autor:

Bch. Feijoo Sandoval Airthon Javier

Asesor:

Mg. Rimaycuna Ramirez John Henrry

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y CONCENTRACION DE MATERIAL PARTICULADO EN LA CIUDAD DE TUMBES

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:

Bch. Feijoo Sandoval Airthon Javier

MG. John Henrry Rimaycuna Ramirez.

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGIENERIA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y CONCENTRACION DE MATERIAL PARTICULADO EN LA CIUDAD DE TUMBES

Tesis aprobada en forma y estilo por

Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios (Presidente): _____

MG. Cesar Yoel Feijoo Carrillo (Secretario): _____

MG. John Henrry Rimaycuna Ramirez (Vocal): _____

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los dieciséis días del mes de noviembre de dos mil veintiséis, siendo las ONCE horas, con ONCE minutos ( ), de la mañana, de forma presencial en el aula F-1, en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 113-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios (Presidente), **Mg. Cesar Yoel Feijoo Carrillo** (Secretario), **Mg. Jhon Henrry Rimaycuna Ramirez** (Vocal- Asesor), reconociendo en la misma resolución además, al **Mg. Jhon Henrry Rimaycuna Ramirez,** como **Asesor** y, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, **"Evaluación de los niveles de ruido y concentración de material particulado en la ciudad de Tumbes",** para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por el **Bach. Airthon Javier Feijoo Sandoval,** Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo Nº 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. Airthon Javier Feijoo Sandoval;** Aprobado, por unanimidad, con el calificativo Muy Bueno,

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda APTO para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria Nº 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las ONCE horas y DOS minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 16 - Noviembre - 2026

Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios. DNI Nº 42950218 CODIGO ORCID Presidente	**Mg. Cesar Yoel Feijoo Carrillo** DNI Nº 42766283 CODIGO ORCID 0009-0007-6197-123X Secretario
Mg. Jhon Henrry Rimaycuna Ramirez DNI Nº CODIGO ORCID 0000-0002-2767-9733 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S.acad.

Informe de Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	8%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	rmcab.ambientebogota.gov.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
12	publicacoes.amigosdanatureza.org.br Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
14	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
15	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Mg. John Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

16	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Jose Carlos Mariategui Trabajo del estudiante	<1 %
19	ceaa.espoch.edu.ec:8080 Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "PAMA del Camal Conchucos-IGA0011540", R.D.G. N° 220-2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2020 Publicación	<1 %
24	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
26	revistas.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
28	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %



Mg. John Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2707-9733

33	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
34	repositoriotec.tec.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
35	KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Desarrollo del Tajo Cerro Negro-IGA0003152", R.D. N° 181-2007-MEM/AAM, 2020 Publicación	<1 %
36	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
37	Loza Osorio, Treyzy Fransheska. "Determinación de la influencia de la contaminación acústica generada por el flujo vehicular, en la valoración económica de viviendas en el distrito de Arequipa, 2018.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
38	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
39	SERVICIOS AMBIENTALES CONTROL VECTORIAL Y ALIMENTARIO EIRL - SACVA EIRL. "DAA de la Planta Industrial de Recurtido y Acabado de Cueros a Partir de Cueros de Wet Blue - Planta Ate-IGA0002025", R.D. N° 312-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 Publicación	<1 %
40	vdocuments.mx Fuente de Internet	<1 %
41	ijsrem.com Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %
43	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
44	ASESORES TECNICOS ASOCIADOS S.A.. "EIA-SD para el Afianzamiento Hídrico de la Cuenca del Rio Grande - Santa Cruz - Palpa-IGA0020216", R.D.G. N° 073-14-MINAGRI-DGAAA, 2022 Publicación	<1 %
45	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "PMA del Proyecto Adecuación del City Gate-IGA0000733", R.D. N° 354-2009-MEM/AAE, 2020 Publicación	<1 %
46	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	

Mg. John Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

		<1 %
47	Yana Machaca, Dania Magali. "Evaluación espacio –temporal de la calidad del aire determinado por material particulado PM2.5 y monóxido de carbono co mediante un monitor de medición (óptico y electroquímico) en 6 principales tramos urbanos en Juliaca-2021", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
48	www.sierracamnetwork.com Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	<1 %
50	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	Submitted to Institución Universitaria Digital de Antioquia Trabajo del estudiante	<1 %
54	Rojas Vizcarra, Lia Nails. "Evaluación de la contaminación acústica en la gestión y fiscalización ambiental en la ciudad de Puno, 2019", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
55	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %
56	Submitted to Universidad Nacional de Ingenieria Trabajo del estudiante	<1 %
57	inis.iaea.org Fuente de Internet	<1 %
58	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
59	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	busquedas.elperuano.pe Fuente de Internet	<1 %



Mg. John Rimaycuna Ramírez
Orcid: 0000-0002-2757-9733

61	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
62	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
63	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
64	catalogobiblioteca.ufps.edu.co Fuente de Internet	<1 %
65	datospdf.com Fuente de Internet	<1 %
66	sinia.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
67	Submitted to Blackboard Trabajo del estudiante	<1 %
68	Submitted to Universidad Nacional de Juliaca Trabajo del estudiante	<1 %
69	VICEVERSA CONSULTING S.A.. "Actualización de la MEIA Tambojasa-IGA0019651", R.D. Nº 00064-2021-SENACE-PE/DEAR, 2022 Publicación	<1 %

Mg. John Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis a mis queridos padres, por ser el reflejo de la perseverancia y el esfuerzo diario, y por inspirarme a alcanzar mis metas. Gracias por los valores que me otorgaron, pilares fundamentales de lo que hoy soy y de lo que seré en el futuro.

A mis hermanos que se esfuerzan a diario para ser profesionales en la vida y en especial a mi querida hermana, que desde el cielo guía mis pasos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

Mi especial reconocimiento a mi asesor, por su orientación, dedicación y valiosos conocimientos, los cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Asimismo, agradezco a la Municipalidad y Universidad Nacional de Tumbes, por las facilidades brindadas, el apoyo proporcionado durante el desarrollo de la investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su apoyo y colaboración para hacer posible la culminación de esta tesis.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION 14
II. REVISION DE LA LITERATURA 17
2.1. Antecedentes Internacionales 17
2.2. Antecedentes Nacionales 18
2.3. Ruido Ambiental 20
2.4. Presión sonora 20
2.5. La contaminación sonora o acústica 21
2.5.1. Ruido residual 21
2.5.2. Decibel (Db) 21
2.5.3. Decibel A (Dba) 21
2.6. Estándares primarios para calidad ambiental para ruido: 22
2.6.1. Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT): 22
2.6.2. Nivel de presión sonora Mínima (LAmin ò NPS MIN): 22
2.7. Estándares de calidad Ambiental para ruido: 22
2.8. ¿Para qué sirve el ECA? 23
2.9. Efectos posibles sobre la salud como consecuencia del ruido 24
2.9.1. Efectos de exposición al ruido: 24
2.9.2. Efectos en la interferencia de la comunicación 24
2.9.3. Efectos Auditivos: 25
2.9.4. Efectos psicológicos y sociales: 25
2.9.5. Efectos extra auditivos: 25
2.9.6. Dificultad para dormir. 25
2.9.7. Efecto sobre la salud mental 26
2.9.8. Efectos sobre el rendimiento 26
2.9.9. Efectos sociales y conducta 26
2.10. Material Particulado: 26
2.11. PM_{10} 27
2.12. $PM_{2.5}$ 27
2.13. Monitoreo de PM_{10} 27
2.14. Concentración del material particulado. 27
2.15. Material particulado sedimentable 28
2.16. Estándares de calidad ambiental para Aire: 28
2.17. Tráfico vehicular: 29
2.18. Influencia en la salud de las personas: 29

2.19. Efectos sobre la salud del material particulado 29
2.20. Método Gravimétrico 30
2.21. Humedad relativa y presión atmosférica: 30
2.22. Velocidad del viento 30
2.23. Dirección del viento 30
III. MATERIALES Y METODOS 31
3.1. Tipo y diseño de investigación 31
3.2. Metodología 31
3.3. Ubicación 31
3.4. Puntos de muestreo. 32
3.5. Evaluación del ruido. 33
3.6. Criterios para la ubicación de los puntos 33
3.7. Puntos o muestras de monitoreo de Ruido 34
3.8. Criterios para la instalación del sonómetro 35
3.9. Criterio según el tipo de sonómetro 35
3.10. Flujo vehicular 35
3.11. Mapa de ruido 35
3.12. Nivel de exposición de personas al ruido. 36
3.13. Evaluación del material particulado. 37
3.14. Puntos o muestras de monitoreo de material particulado. 37
3.15. Criterios técnicos de instalación de equipos de monitoreo 39
3.16. Evaluación del material particulado sedimentable 41
3.17. Concentración del material particulado PM_{10} 41
3.18. Nivel de exposición del material particulado 42
IV. RESULTADOS Y DISCUSION 43
4.1. Evaluación de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Tumbes 43
4.1.1. Análisis temporal de la evaluación de ruido por punto de monitoreo 43
4.1.2. Niveles promedios de presión sonora de los puntos de monitoreo de la ciudad de Tumbes. 75
4.1.3. Flujo vehicular evaluado en la ciudad de Tumbes 78
4.1.4. Mapas de Ruido 80
4.1.5. Nivel de exposición de las personas al ruido de una jornada laboral de 10 horas 81
4.2. Evaluación de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) 82
4.2.1. evaluación del material particulado sedimentable 113
4.2.2. Concentración del material particulado PM_{10} 116
4.2.3. Niveles de exposición del material particulado 119
V. CONCLUSIONES 121

VI. RECOMENDACIONES 122
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 123
VIII. ANEXOS Anexo 01: Certificado de calibración del sonómetro 126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la Av. Mariscal Castilla (Zona Comercial) ----------43*
Tabla 2 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la Francisco Navarrete 401 (Zona Comercial) ----------47*
Tabla 3 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la Av. Panamericana N/ La Marina (Zona Comercial).----------50*
Tabla 4 *Niveles de presión sonora diurna registrados en Francisco Navarrete 167----------53*
Tabla 5 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la AV. Universitaria (Zona de Protección Especial).----------56*
Tabla 6 *Niveles de presión sonora diurna registrados en el cruce de C. Bolívar/C. Miguel Grau (Zona Comercial).----------59*
Tabla 7 *Niveles de presión sonora diurna registrados en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá (Zona de Protección Especial). ----------62*
Tabla 8 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la Calle Arica (Zona de estudio).----------66*
Tabla 9 *Niveles de presión sonora diurna registrados en Panamericana Norte / 24 de Julio (Zona de Protección Especial - Hospital). ----------69*
Tabla 10 *Niveles de presión sonora diurna registrados en la Calle El Ejército (Zona Residencial). 72*
Tabla 11 *Niveles promedio de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) registrados en los diez puntos de monitoreo en la ciudad de Tumbes y su comparación con los ECA. ----------75*
Tabla 12 *Conteo de flujo vehicular en el casco urbano de Tumbes ----------78*
Tabla 13 *Nivel de exposición sonora diario (LEx,8h)) considerando una jornada laboral/efectiva de en los diez puntos de monitoreo.10 horas diarias----------81*
Tabla 14 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Andrés Araujo Morán. ----------82*
Tabla 15 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Francisco Navarrete. ----------86*
Tabla 16 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Piura con Mariscal Castilla.----------88*
Tabla 17 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Los Andes. ----------92*
Tabla 18 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. 24 de Julio.----------95*
Tabla 19 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Bolívar. ----------98*
Tabla 20 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Tarapacá. ---------- 101*
Tabla 21 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Gral. Morán.---------- 104*
Tabla 22 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Panamericana con La Marina.---------- 107*
Tabla 23 *Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Universitaria.---------- 110*
Tabla 24 *Concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) registradas mediante métodos pasivos (recipiente de 80 cm2) durante el periodo de 24 horas en los diez puntos de estudio.---------- 114*
Tabla 25 *Concentraciones másicas de material particulado PM_{10}(ug/m3) determinadas mediante la fórmula gravimétrica en los diez puntos de monitoreo en Tumbes.---------- 117*
Tabla 26 *Concentración de Exposición al Material Particulado (PM_{10})---------- 119*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora ($Lmax, Lmin, LAeqT$) frente al ECA en la Av. Mariscal Castilla / Alfonso Ugarte N° 411, Tumbes 44*
Figura 2 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (L_max, L_min y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Mariscal Castilla / Alfonso Ugarte N° 411, Tumbes. 45*
Figura 3 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (L_{max}, L_{min}, $LA_{eq}T$) frente al ECA en la Av. Francisco Navarrete 401, Tumbes. 48*
Figura 4 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax,Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Francisco Navarrete 401, Tumbes. 49*
Figura 5 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax}, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Av. Panamericana N/ La Marina, Tumbes. 51*
Figura 6 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, L{min} y LAeqT, frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Panamericana N/ La Marina, Tumbes. 52*
Figura 7 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en Francisco Navarrete 167, Tumbes. 54*
Figura 8 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en Francisco Navarrete 167, Tumbes. 55*
Figura 9 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Av. Universitaria, Tumbes. 57*
Figura 10 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Universitaria, Tumbes. 58*
Figura 11 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en el cruce de C. Bolívar y C. Miguel Grau, Tumbes. 60*
Figura 12 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en el cruce de C. Bolívar y C. Miguel Grau, Tumbes. 61*
Figura 13 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá, Tumbes. 64*
Figura 14 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá, Tumbes. 65*
Figura 15 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Calle Arica, Tumbes. 67*
Figura 16 *tendencia comparativa de los niveles de ruido en la ciudad de Tumbes frente a las normativas del ECA 68*
Figura 17 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en Panamericana Norte / 24 de Julio (Hospital), Tumbes. 70*
Figura 18 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en Panamericana Norte / 24 de Julio (Hospital), Tumbes. 71*

Figura 19 *Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Calle El Ejército, Tumbes. 73*
Figura 20 *Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Calle El Ejército, Tumbes..... 74*
Figura 21 *Comparación gráfica por barras de los niveles promedio equivalentes, máximos y mínimos (LAeqT, Lmax, Lmin) de los 10 puntos de monitoreo frente a las tres categorías del ECA. 76*
Figura 22 *Perfil y tendencia comparativa de los niveles de ruido en la ciudad de Tumbes frente a las normativas del ECA. 77*
Figura 23 *Mapa de Ruido del casco Urbano de la ciudad de Tumbes 80*
Figura 24 *Distribución horaria por barras de las concentraciones de PM_{10},$PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$ en la Calle Andrés Araujo Morán. 84*
Figura 25 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y PM}$_{2.5}$ en la Calle Andrés Araujo Morán. 85*
Figura 26 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Francisco Navarrete. 87*
Figura 27 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Francisco Navarrete. 88*
Figura 28 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$,PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Piura / Mariscal Castilla. 90*
Figura 29 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Piura / Mariscal Castilla. 91*
Figura 30 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Los Andes 93*
Figura 31 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Los Andes. 94*
Figura 32 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle 24 de Julio. 96*
Figura 33 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle 24 de Julio. 97*
Figura 34 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Bolívar. 99*
Figura 35 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Bolívar. 100*
Figura 36 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Tarapacá. 102*
Figura 37 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Tarapacá. 103*
Figura 38 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Gral. Morán. 105*
Figura 39 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Gral. Morán. 106*
Figura 40 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Panamericana / La Marina. 108*
Figura 41 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Panamericana / La Marina. 109*
Figura 42 *Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Universitaria. 111*
Figura 43 *Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Universitaria. 112*
Figura 44 *Concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) registradas mediante métodos pasivos durante las 24 de monitoreo. 116*

RESUMEN

La presente investigación tiene como título “Evaluación de los niveles de ruido y concentración de material particulado en la ciudad de tumbes” y tuvo como objetivo evaluar los niveles de ruido y la concentración de material particulado presentes en el casco urbano de la ciudad de tumbes. El estudio surge debido a la presencia de fuentes de contaminación ambiental asociadas principalmente al incremento del tránsito vehicular y a las actividades urbanas, las cuales pueden afectar la calidad ambiental y la salud de la población.

La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque descriptivo y un diseño no experimental. Para la evaluación del ruido ambiental se realizó mediciones en diez puntos de monitoreo durante el horario diurno, utilizando un sonómetro integrador de clase 1, considerando los parámetros de nivel máximo, nivel mínimo y nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (LAeqT).

Asimismo, se evaluó el material particulado mediante el monitoreo de PM_{10} utilizando un monitor de masa de partículas T640, y se determinó la concentración de material particulado sedimentable mediante el método pasivo gravimétrico. De manera complementaria, se registró parámetros meteorológicos y el flujo vehicular en los puntos de evaluación.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en la normativa ambiental nacional vigente, con la finalidad de determinar el cumplimiento de los estándares de calidad Ambiental correspondiente. Asimismo, se estimó el nivel de la exposición de la población a los contaminantes evaluados y se elaboraron mapas de ruido ambiental mediante el uso de software ArcGIS. Con ello, se busca generar información técnica sobre las condiciones de contaminación sonora y atmosférica en la ciudad de Tumbes, que contribuya al conocimiento de la problemática ambiental local y sirva como base para la adopción de medidas de prevención, control y gestión ambiental.

Palabras clave: ruido ambiental, material particulado, PM_{10}, material particulado sedimentable, contaminación ambiental, Tumbes.

ABSTRACT

This research, titled “Evaluation of Noise Levels and Particulate Matter Concentration in the City of Tumbes,” aimed to assess the noise levels and the concentration of particulate matter present within the urban area of the city of Tumbes. The study was prompted by the presence of environmental pollution sources—primarily linked to increased vehicular traffic and urban activities—which can negatively impact environmental quality and public health.

The research was applied in nature, employing a descriptive approach and a non-experimental design. To evaluate environmental noise, measurements were taken at ten monitoring points during daytime hours using a Class 1 integrating sound level meter, recording maximum levels, minimum levels, and the A-weighted equivalent continuous sound pressure level (LAeqT).

Additionally, particulate matter was assessed by monitoring PM_{10} using a T640 particulate mass monitor, while the concentration of settleable particulate matter was determined via a passive gravimetric method. Meteorological parameters and vehicular flow at the evaluation sites were also recorded.

The results were compared against values established in current national environmental regulations to determine compliance with the relevant Environmental Quality Standards. Furthermore, the population's exposure level to the assessed pollutants was estimated, and environmental noise maps were developed using ArcGIS software. This work aims to generate technical data on noise and atmospheric pollution in the city of Tumbes, contributing to the understanding of local environmental issues and serving as a foundation for implementing environmental prevention, control, and management measures.

Keywords: environmental noise, particulate matter, PM_{10}, settleable particulate matter, environmental pollution, Tumbes.

I. INTRODUCCION

El crecimiento de los asentamientos humanos y el incremento de las actividades urbanas han generado diversos problemas ambientales asociados a la calidad del aire y el medio ambiente sonoro. Entre los principales factores relacionados con estas alteraciones se encuentran el incremento de tránsito vehicular, las actividades comerciales, el transporte y otras actividades propias de las zonas urbanas. En este contexto, el ruido ambiental y el material particulado constituyen contaminantes de importancia debido a su presencia frecuente en espacios urbanos y a sus posibles efectos sobre la salud y el bienestar de la población. La Organización mundial de la salud (OMS,2024) reconoce que la contaminación del aire ambiental constituye uno de los principales riesgos ambientales para la salud mientas que la exposición al ruido ambiental también se relaciona con diversos efectos adversos sobre la salud y la calidad de vida (World Health Organización, 2018).

El ruido ambiental se encuentra estrechamente relacionado con las actividades desarrolladas en las ciudades, siendo el tránsito vehicular una de las principales fuentes de exposición de la población. La exposición continua a niveles elevados de ruido puede generar molestias, alteraciones del sueño, dificultades de comunicación y otros efectos sobre la salud. La OMS señala que el ruido ambiental constituye un problema para la salud pública y que el tráfico vehicular representa una fuente importante de exposición sonora en las áreas urbanas (WHO, 2018). Asimismo, la evidencia recopilada por este organismo relación la exposición al ruido ambiental con alteraciones del sueño, molestias, efectos cardiovasculares y dificultades cognitivas, entre otros efectos.

De manera paralela, la contaminación atmosférica constituye una problemática ambiental relevante debido a la presencia de diferentes contaminantes en el aire. Entre ellos destaca el material particulado, conformado por partículas sólidas y liquidas suspendidas en la atmosfera que presentan diferentes características y tamaños aerodinámicos. Particular importancia tiene las partículas PM_{10} y $PM_{2,5}$, debido a su capacidad de ingresar al sistema respiratorio. La OMS (2024) Señala que el material particulado constituye uno de los principales indicadores de contaminación atmosférica y que la exposición a estas partículas se encuentra asociada con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Además, la fuente

contaminación atmosféricas en ambientes urbanos pueden estar relacionas con el transporte, las actividades industriales, la construcción y otras actividades antropogénicas (WHO,2024).

En el Perú, la evaluación de estos contaminantes se encuentra al cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en la normativa nacional. Para el caso de la contaminación sonora, el decreto supremo N° 085-2003-PCM establece los Estándares Nacional de Calidad Ambiental para ruido y considera diferentes tipos de zonificación y horarios de aplicación, constituyendo un referente para la evaluación de los niveles de presión sonora en ambientes urbanos (presidencia del consejo de ministros, 2003). Por otro lado, el decreto supremo N°003-2017-MINAM aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establece disposiciones complementarias para la evaluación de la calidad del aire en el territorio nacional (MINAM, 2017)

En la ciudad de Tumbes, el crecimiento de las actividades urbanas y el crecimiento del flujo vehicular y la falta de pavimentación hacen necesario disponer de información actualizada sobre las condiciones de contaminación ambiental presentes en el casco urbano. El proyecto de investigación que da origen al presente informe identifica al tránsito vehicular y a las actividades económicas como factores asociados a la generación del ruido ambiental y material particulado, señalando además la necesidad de contar con información local que permita conocer la magnitud de esta problemática.

En este contexto, la presente investigación se orienta a evaluar los niveles de ruido y concentración de material particulado en la ciudad de Tumbes. Para ello, se consideran mediciones de presión sonora en diez puntos de monitoreo y la evaluación de material particulado mediante el monitoreo de PM_{10} y material particulado sedimentable, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el proyecto de investigación.

La evaluación del ruido ambiental comprende el registro de los niveles de presión sonora, considerando parámetros como el nivel máximo, el nivel mínimo y el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (LAeqT). Para el material particulado, se contempla la evaluación de PM_{10} mediante un monitor de masa de partículas modelo: T640, marca: Teledyne y determinación del material particulado

sedimentable mediante un método pasivo gravimétrico. Asimismo, se consideran variables ambientales y el flujo vehicular como información complementaria para interpretar las condiciones encontradas durante el monitoreo.

Por lo expuesto, la investigación busca generar información técnica sobre las condiciones de contaminación sonora y atmosférica existentes en el casco urbano de la ciudad de Tumbes. Los resultados permitirán comparar los niveles registrado con los valores establecidos en la normativa ambiental nacional y contribuirán a disponer de información que pueda ser considerada en futuras acciones de prevención, control y gestión ambiental. En ese sentido, el objetivo general de la investigación es evaluar los niveles de ruido y concentración de material particulado en la ciudad de Tumbes, complementándose con la comparación de los niveles de presión sonora y concentración de material particulado con la legislación nacional vigente y la evaluación del nivel de exposición de la población al material particulado.

II. REVISION DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes Internacionales

En los últimos años, la contaminación acústica ha adquirido cada vez más importancia debido a su gran impacto negativa en la salud pública, las comunidades y el ambiente. Esto particularmente es cierto en el caso del ruido y los niveles de concentración de partículas, que han sido identificados como los dos principales contaminantes, especialmente en las zonas urbanas.

(OMS, 2021) La contaminación del aire es uno de los riesgos ambientales más graves para la salud, ya que está asociada a diversas enfermedades como enfermedades respiratorias crónicas y agudas, incluidos accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y asma. Según la entidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la constante exhibición de las personas a la contaminación de material particulado causa 7 millones de muertes anuales y genera desgaste de miles de años de vida saludable. Por otro lado, las partículas en suspensión (PM) La mayor parte se debe a la contaminación por gases en áreas como el transporte, la energía, la vivienda, la industria y la agricultura ha aumentado considerablemente.

Ahunari Fernández and Mozombite Villacorta (2019), Evaluaron el nivel de contaminación provocada por la contaminación de CO_2, la generación de gases tóxicos y el ruido en la ciudad de San Antonio del Estrecho, debido a la construcción de la entidad de Salud para este estudio se realizó un monitoreo de varios contaminantes atmosféricos, entre los que se incluyen el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, sulfuro de hidrógeno y material particulado presente en partículas PM_{10} y $PM_{2,5}$, respectivamente. Por otro lado, para el estudio del ruido se llevaron a cabo monitoreos de ruido tanto diurnos como nocturnos, utilizando equipos certificados por INDECOPI para garantizar la precisión de las mediciones. Los resultados obtenidos mostraron que el contaminante con mayor impacto fue el Monóxido de Carbono, con una concentración de 12208.5 µg/m³, seguido por (SO_2) registró 319.74 µg/m³, el Dióxido de Nitrógeno 274.20 µg/m³ y el $PM_{2.5}$ 104.30 µg/m³, respectivamente. El $PM_{2,5}$ sobrepasó el ECA, alcanzando 73.0 µg/m³ en la primera evaluación y un

destacado valor de 104.3 µg/m³ en la tercera campaña, superando los límites máximos establecidos por la normativa vigente. Por otro lado, los niveles de partículas PM_{10} se mantuvieron inferior de los valores establecidos por el ECA aire.

(Lucero Castro, 2022), analizó la conexión entre el ruido, el material particulado y el monóxido de carbono en distintas comunidades de Santiago. El principal objetivo de este estudio fue determinar si hay una relación significativa entre los niveles de contaminación sonora, material particulado ($MP_{2,5}$ y MP_{10}) y monóxido de carbono (CO) en zonas representativas de tres comunas con diferentes contextos socioeconómicos a partir de este punto, se establecieron la relación entre los niveles de ruido y concentraciones de $PM_{2,5}$, PM_{10} y CO en tres comunas de Santiago. El análisis incluyó evaluaciones y mediciones de ruido tanto en áreas con alta circulación vehicular en parques ubicados en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. Además, Se analizaron los niveles de horario de material particulado ($MP_{2,5}$, MP_{10}) y monóxido de carbono (CO) utilizando datos provenientes de estaciones de monitoreo cercanas a cada comuna (SINCA), el estudio dio como resultado que en vías de tránsito vehicular, no se encontró una relación clara entre la contaminación acústica y la contaminación atmosférica, ya que las correlaciones fueron en su mayoría no significativas, en parques, encontramos una correlación negativa significativa entre el ruido y las concentraciones de MP_{10}, pero una relación débil entre el ruido y concentración de $MP_{2.5}$ y CO.

2.2. Antecedentes Nacionales

(Llanque Mamani, 2024), estudio de la evaluación del nivel de contaminación acústica y concentración de partículas en suspensión por la congestión vehicular, en una zona de protección especial en Tacna, la evaluación consistió de dos evaluaciones (Ruido y material particulado) la metodología utilizada en la evaluación de ruido fue de una evaluación por semana , cada evaluación consiste de tres replicas la cual dura de 10 minutos y en la evaluación del material PM_{10} que consiste de 6 evaluaciones en una estación por 23 horas. Los resultados obtenidos de la evaluación de material particulado no superan los ECA, mientas que la evaluación de ruido supera 50 Dba de los ECA.

(Silva Bravo, 2020), estudio de medición de niveles de ruido ambiental en el distrito de chancay, en el año, el autor realizo la evaluación de los niveles de contaminación sonora en el distrito de chancay, en el año 2022, aplico una metodología de muestreo en una zona comercial la cual realizo 8 puntos en zona comercial, El monitoreo o seguimiento se realizó a cabo los días viernes, sábado y domingo durante el día. Para ello, se eligieron estos días debido a que se genera una mayor actividad rentable y hay más congestión de personas. Cada medición tuvo una duración de 3 horas y se realizó tres veces al día. Este proceso se extendió durante tres meses. Los resultados mostraron que el 62,5% de los puntos de monitoreo registraron niveles de ruido elevados, con seis de los ocho puntos superando el nivel de ruido permitido para zonas comerciales, que es de 70 dB según los Estándares de Calidad Ambiental.

(Flores Vara, 2022), tuvo como objetivo la evaluación de la exposición al material particulado $PM_{2,5}$ y los niveles de ruido de los trabajadores de la fábrica UNICON en Oyón, Lima, es determinar el grado de exposición a dichos factores. De los trabajadores de UNICON. plantas industriales, Oyón, en Lima en el año 2022, se presentó, La metodología empleada en este estudio abarca modelo y tipo de investigación, así como sociedad y la muestra en análisis, las variables operativas, técnicas y herramientas para dicha recaudar datos. como la recolección de datos, cuando se realizó el resultado del gran informe ambiental en la zona de la planta industrial para el período del 2021, las variables de estudio, donde se utilizó la ficha de datos para validar la observación por parte de expertos, donde únicamente solo hubo tres evaluaciones ambientales. terminado en la zona para evaluar las mediciones del parámetro correspondiente al año de estudio.

Para el monitoreo del aire y las partículas $PM_{2,5}$, se desarrollarán dos monitoreos por cada periodo de medición o monitoreo en un punto especifico del proyecto vial. En cuanto al monitoreo de la contaminación acústica o ruido, también se toman dos muestras por período de evaluación del proyecto vial, donde la primera evaluación dentro de las instalaciones de la fábrica industrial y donde la segunda evaluación fuera de ella. Se busca comprobar los resultados de la medición de partículas $PM_{2,5}$ con los resultados establecidos en los Estándares de calidad Ambiental (ECA), correspondientes del año 2021. Todos los valores obtenidos, conforme a la normativa del medio Ambiente de 50 $\mu g/m^3$, arrojaron un valor de 21,38 $\mu g/m^3$,

cercano al límite establecido por la normativa, lo que indica que las partículas $PM_{2,5}$ no representan una amenaza para la salud y el medio ambiente.

(Llanque Mamani, 2024), Evaluó los Se realizó la medición de la contaminación sonora producida por la congestión vehicular en la Av. Panamericana, desde el km 1411 hasta el Km 1415, en la ciudad de Llave, Puno, durante el año 2024. Las mediciones se efectuaron en los siguientes horarios: de 7:00 a 10:00 a.m., de 12:00 a 3:00 p.m., y de 5:00 p.m. a 8:00 p.m.; Simultáneamente en esta fase se realizaron procesos de cuantificación y caracterización del flujo de tránsito de vehículos, el cual se retiraron las coordenadas de geoposicionamiento satelital de los puntos de monitoreo. Con los datos obtenidos se creó un mapa acústico del cual es posible visualizar el color de cada punto y clasificarlo en zonas con el software Arcgis, los resultados obtenidos fueron los siguientes: P1: 69.81 dB, P2: 69.66 dB, P3: 68.47 dB, P4: 70.65 dB, P5: 71.02 dB, P6: 67.82 dB, P7: 71.63 dB, P8: 70.14 dB, P9: 71.17 dB, P_{10}: 67.01 dB. Se destaca que en los puntos P7 y P8 se encuentran en una zona de protección especial. En conclusión, todos los puntos se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental definidos en el D.S. N° 085-2003-PCM, lo que genera una gran preocupación por el impacto ambiental, el cual podría agravarse si no se implementan medidas preventivas frente a esta situación.

2.3. Ruido Ambiental

Según el D.S. N° 085-2003-PCM, hace referencia a todos los sonidos que puedan ocasionar incomodidades o disgustos fuera de la propiedad o recinto que incluye la fuente emisora y genera impactos en la salud de la población.

(Tufino Espinoza, 2024) define como los sonidos externos perjudiciales o indeseables generados por las acciones humanas, tales como ruidos provenientes de los medios de trasporte, tráfico de ruedas, ferroviario, aéreo y el ruido industrial. Así pues, el ruido es algo inusual y no coincide con sus armónicos y tonos esenciales, lo que significa que es una anomalía sin patrones evidentes originada por un fenómeno vibratorio de un cuerpo, que al ser captado por el oído humano puede causar un inconveniente.

2.4. Presión sonora

Continuidad de las comprensiones y expansiones del aire, o sea, es el incremento y la reducción regulares de la presión atmosférica. Esta se cuantifica en pascales (105 pa), pese a que existen variaciones de presión provocadas por una onda sonora, que son muy reducidas en la relación a la presión del aire. En términos aproximadas, la presión acústica percibida por un ser humano varía entre µPa y 20 Pa, 20 µPa corresponde al límite auditivo medio de un individuo y 20 Pa son los sonidos más potentes (Tufino Espinoza, 2024).

2.5. La contaminación sonora o acústica

Se entiende como la presencia de ruido o vibraciones en el ambiente, independientemente de la principal fuente acústica que las genere, y que ocasiona malestar, peligro o daña la salud de las personas, interfiere en el desarrollo de sus actividades o afecta a actividades de cualquier tipo, además de tener un impacto considerable en el entorno (Martínez Llorente, 2013, Contaminación Acústica y Ruido).

2.5.1. Ruido residual

Sonido persistente en un lugar determinado cuando se elimina un nivel de ruido específico (Bellot et al., 2020)

2.5.2. Decibel (Db)

(Coca Ccorpa, 2023) Es la unidad de medida utilizada para representar el logaritmo de la relación entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, se describe el nivel de decibelios en cuanto a la potencia, presión, intensidad del sonido.

2.5.3. Decibel A (Dba)

Es la unidad de medida de la presión sonora obtenida utilizando el filtro de ponderación A, que ajusta el registro del nivel en función del comportamiento del oído humano. (DS.085-2003-PCM) Reglamento de Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido)

2.6. Estándares primarios para calidad ambiental para ruido:

Son los niveles que consideran el límite el nivel máximo de ruido ambiental, el cual no debe ser superado para salvaguardar el bienestar humano. Estos niveles representan valores equivalentes de presión sonora continuamente ponderada. A. (085-2003-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.)

2.6.1. Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT):

(Flores Vara, 2022) Nivel de Presión sonora Máxima (LAmax ò NPS MAX):

(Flores Vara, 2022) Es el valor máximo de presión sonora medido con la curca ponderada A (dBA) en un tiempo específico de evaluación.

2.6.2. Nivel de presión sonora Mínima (LAmin ò NPS MIN):

(Flores Vara, 2022) Es el nivel más alto de presión acústica utilizando la curva A (dBA) durante la medición.

2.7. Estándares de calidad Ambiental para ruido:

(Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024) En el Perú, las normas de calidad en materia de ruido establecidas en el D.S N° 085-2003-PCM son normas vigentes que guían cuatro clasificaciones de zonificación aplicables: zonas de especial protección, áreas residenciales, áreas comerciales y áreas industriales. En este estudio, se destacan las zonas de especial protección debido a que están organizadas como áreas de alta sensibilidad acústica e incluyen otros centros educativos. En dichas zonas, el nivel de ruido permitido no debe exceder los 50 dB en el día y los 40 dB en horario nocturno.

Los estándares primarios de calidad ambiental (ECA) para la contaminación de acústica definen los niveles muy altos de ruido ambiental que deben cumplirse para salvaguardar vida y salud de los pobladores. Estos (ECA) utilizan como referencia de presión sonora continua equivalente (LAeqT) ponderado A, y consideran las zonas y los periodos de aplicación, que se especifican en la siguiente tabla. (085-

2003-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido).

ZONA DE APLICACIÓN	Valores limites expresados en LAEQT9	
	HORARIO DIURNO	HORARIO NOCTURNO
Zona de protección especial	50	40
Zona residencial	60	50
Zona comercial	70	60
Zona industrial	80	70

Fuente: DS.085-2003-PCM

Zona de Protección especial:

(Tufino Espinoza, 2024) Zona de alta sensibilidad sonora, comprendidas en sectores los cuales requieren medidas especiales de protección frente al conjunto de presiones sonoras, establecimientos educativos, orfanatos, establecimientos de salud y asilos.

Zona Residencial:

(Tufino Espinoza, 2024) Corresponde a residenciales o viviendas que proporcionan un conjunto de población alta, media o baja.

Zona Comercial:

(Tufino Espinoza, 2024) Son áreas utilizadas por las autoridades o gobiernos, que comprenden la ejecución de las actividades comerciales y de servicio.

Zona Industrial:

(Tufino Espinoza, 2024) La zona industrial son áreas autorizadas por los gobiernos para la ejecución de actividades industriales

2.8. ¿Para qué sirve el ECA?

(Arce Quispe, 2024) Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) se aplican de manera rigurosa en la elaboración de normativas, el diseño de políticas públicas y la implementación de instrumentos de gestión ambiental. Según Wieland (2017), Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) son instrumentos de gestión ambiental que establecen las condiciones óptimas de calidad para el entorno y sus componentes. Estos estándares definen los límites máximos permitidos de ciertos sustancias o elementos en un medio receptor, con el propósito de evitar excesos y asegurar la protección tanto de la salud humana como del medio ambiente.

2.9. Efectos posibles sobre la salud como consecuencia del ruido

Diferentes estudios e investigaciones a nivel nacional e internacional han establecido y formalizado el importante impacto que ocasional el ruido ambiental sobre la salud de las personas, la biología, psicología y socialización de los ciudadanos. La OMS ha establecido en 65 dba un límite máximo de exposición al ruido para no perjudicar la salud de la población. Sin embargo, hay otros criterios como la Asociación médica americana (AMA) Publico decibeles de 55Db como nivel máximo permitió para no perjudicar la salud de las personas. Algunos efectos de la salud por consecuencia del ruido en las personas (Castillo & Valdez, 2024).

2.9.1. Efectos de exposición al ruido:

(Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024) Se han identificado distintas categorías de efectos que la contaminación de ruido o acústica puede provocar efectos en la salud de las personas. Entre estos se incluyen la pérdida de la capacidad auditiva, dificultades para entender el habla, alteraciones en el sueño, problemas cardiovasculares y de salud mental, disminución del rendimiento, conductas antisociales y respuestas negativas en las reacciones.

2.9.2. Efectos en la interferencia de la comunicación

La contaminación acústica puede generar discapacidades y alterar el comportamiento de las personas. Esto incluye dificultades de concentración, fatiga, pérdida de confianza, irritabilidad, malentendidos, disminución en la capacidad laboral, problemas en las relaciones interpersonales y estrés. Una conversación normal se desarrolla entre 50 y 55 dBA, y para que la comunicación sea clara, la

diferencia del nivel del habla y la contaminación de ruido ambiental debe ser de al menos 15 a 18 dBA. Cuando el ruido supera los 35 o 40 dBA, la comunicación oral se dificulta, y a partir de 65 dBA, las conversaciones resultan extremadamente complicadas (OMS, 1999).

2.9.3. Efectos Auditivos:

La exposición a los niveles de ruido en un nivel alto puede provocar pérdida auditiva que, en sus etapas iniciales, es reversible una vez que cesa la exposición. Sin embargo, si esta situación se repite con frecuencia, la pérdida puede volverse permanente, derivando en sordera. En el ámbito social, uno de los efectos más significativos es la deficiencia auditiva, que se manifiesta como la incompetencia comprender lo que dice en una charla cotidiana (Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024).

2.9.4. Efectos psicológicos y sociales:

Aburrimiento, mal funcionamiento académico y profesional, problemas de sueño y descanso, susceptibilidad y depresión. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios, 2017, Ruido Ambiental)

2.9.5. Efectos extra auditivos:

Enfermedades del sistema cardiovascular, alteraciones hormonales, estrés y lesiones accidentales. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios, 2017, Ruido Ambiental)

2.9.6. Dificultad para dormir.

Entre el 80% y el 90% de los trastornos del sueño mencionados por las personas están asociados con el ruido generado en el entorno comunitario. Los impactos del ruido abarcan problemas para conciliar el sueño, interrupciones frecuentes, disminución en la calidad del descanso, aumento de la presión arterial, mayor frecuencia cardiaca y vasoconstricción, alteraciones en la respiración, arritmias cardíacas y mayor actividad motora. Asimismo, los impactos pueden extenderse al día siguiente, manifestándose en fatiga, irritabilidad, bajo rendimiento, uso de

medicamentos y trastornos mentales (OMS, 1999, IMFORME SOBRE LA SALUD EN EL MUNDO).

2.9.7. Efecto sobre la salud mental

(Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024) Según Alfie y Salinas, el ruido puede acelerar la aparición de enfermedades de trastornos letales. Además, la exposición prolongada a niveles elevados de ruido se ha contemplado con el desarrollo de neurosis.

2.9.8. Efectos sobre el rendimiento

(Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024) Entre las consecuencias cognoscitivas más afectadas por el ruido se encuentra la lectura, la atención, la solución de problemas y la memorización, se ha demostrado que el ruido puede malograr o perjudicar el rendimiento de los procesos cognitivos, principalmente en trabajadores y niños.

2.9.9. Efectos sociales y conducta

(Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024) afirmaron que la contaminación de ruido puede reproducir diversos efectos conductuales y sociales, además de incomodidad. Estos efectos a menudo son complejos, sutiles e indirectos y son resultado de la interacción de diversas variables no auditivas.

2.10. Material Particulado:

El material particulado (PM) se define como conjunto de partículas suspendidas en el aire, conformadas principalmente por residuos sin combustionar, sulfatos, nitratos, amoniaco, cloro y partículas metálicas como mercurio, hierro y plomo. Estas partículas pueden clasificarse como PM_{10} cuando poseen un diámetro menor a 10 micras, mientras que las $PM_{2.5}$ presentan un diámetro inferior a 2,5 micras (Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024).

Asimismo, dichas partículas pueden ser liquidas o solidad, de origen orgánico o inorgánico, y proviene principalmente de fuentes naturales. Debido a su reducido tamaño, representan una baja velocidad de sedimentación, permitiéndoles

mantenerse suspendidas en el aire durante largos periodos y desplazarse grandes distancias desde el punto de emisión (Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024).

2.11. PM_{10}

(Jaya Lema, 2024) Las PM_{10} ($PM_{10} - _{2,5}$), conocidas también como partículas absorbentes, son partículas de menos de 10 micrómetros, pero de más de 2,5 micrómetros de diámetro. Se considera que la contaminación está formada por materiales líquidos y sólidos de muy diferente tamaño y composición, que circulan en el aire y provienen de fuentes móviles como estables, de forma natural o antrópica.

2.12. $PM_{2.5}$

(Arce Quispe, 2024) Las $PM_{2,5}$ son partículas con un diámetro inferior o igual a 2,5 µm, es decir, 100 veces más finas que el cabello humano, cuyas fuentes provienen principalmente de fuentes antropogénicas (por ejemplo, las emisiones de los vehículos diésel). Su peligro concierne a los humanos, porque su tamaño es 100% respirable, provocando problemas respiratorios.

2.13. Monitoreo de PM_{10}

(Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024) Menciona la técnica utilizada que corresponde al método gravimétrico, el cual se distingue por el paso del aire a través del filtro en el que quedan retenidas las partículas. Luego, las muestras se pesan restando las cápsulas filtrantes. En el fraccionamiento en flujo se determina la concentración de PM_{10}.

2.14. Concentración del material particulado.

(Flores Vara, 2022) el material sólido está distribuido en el aire y tiene diferentes diámetros. Al proceder de fuentes naturales, permanecen en la atmósfera durante varios meses, dependiendo de su tamaño. Las partículas de 2,5 micras o menos (≤ $PM_{2,5}$) son más nocivas para la salud. Las $PM_{2,5}$ pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar al sistema de la sangre. La exposición prolongada al material particulado incrementa el riesgo de padecer enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer pulmonar.

2.15. Material particulado sedimentable

(Lima et al., 2024) señala que el material particulado sedimentable (SPM) está formado en base a partículas sólidas contaminantes, líquidas y gaseosas cuyo diámetro es mayor o igual a 10 micras, en las dimensiones y peso los cuales están sujetos a la acción de la gravedad, razón por la cual se sedimentan y se acumulan en forma de polvo sobre diferentes superficies, como edificios , áreas verdes, avenidas y caminos asfaltados y sin pavimentar), desde donde son inyectados nuevamente a por llamados flujos turbulentos en las zonas urbana, del grupo de partículas, las más finas son las partículas más peligrosas porque poseen una mayor facilidad para ingresar al sistema respiratorio.

2.16. Estándares de calidad ambiental para Aire:

(Flores Vara, 2022) señala que el grado de concentración de compuestos, valores físicos, biológicos y químicos que están presentes en el suelo como receptores que no suponen un riesgo efectivo para la salud ni el medio ambiente.

(Flores Vara, 2022) menciona que los estándares ambientales de calidad del aire son los niveles permisibles de contaminantes en el aire, más allá de los cuales hay un riesgo de afectación al medio ambiente y a la salud humana.

Parámetros	Periodo	Valor ug/m^3	Criterio de evaluar	Método de análisis
Material Particular con diámetro menor 2,5 micras (PM2.5)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial filtración(gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particular con diámetro menor 10 micras (PM10	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial filtración(gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	

DS. 003-2017-MINAM

2.17. Tráfico vehicular:

(Coronel et al., 2018) El tráfico de vehículos ha sido identificado como una de las fuentes importante de contaminación del aire debido a las emisiones de combustión provenientes de vehículos públicos y privados, las cuales influyen en las concentraciones de partículas con diámetro aerodinámico de 10 micrómetros o menos (PM_{10}). 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$).

2.18. Influencia en la salud de las personas:

Actualmente, es difícil encontrar una población que no esté expuesta al ruido de origen antropogénico, generado por fuentes artificiales, que genera malestar y afecta la salud de las personas. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios, 2017, Ruido Ambiental)

2.19. Efectos sobre la salud del material particulado

Los efectos en salud se han asociado positivamente con la exposición a $PM_{2,5}$. Cuanto la partícula es más pequeña, más probabilidades hay de que penetre fácilmente en los pulmones, interrumpiendo en ocasiones los procesos celulares. La exposición prolongada a partículas incrementa el riesgo de padecer enfermedades respiratorias y cardiovasculares.(Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024).

El comportamiento de las partículas en el sistema respiratorio depende de su tamaño y composición. Incluido como pueden entrar partículas donde se posicionan y que tan efectivos son los mecanismo de defensa del cuerpo para expulsarlas (Espinal Guerrero & Zelada Tacilla, 2024).

(Calsina Guerra & Casani Castro, 2024) Definieron y mencionaron que La contaminación por partículas finas incluye sólidos diminutos o microgotas líquidas que, debido a su tamaño extremadamente pequeño, pueden ingresar profundamente en los pulmones y desencadenar serios problemas de salud. Entre las principales consecuencias se encuentran:

- Fallecimiento prematuro en individuos con afecciones cardíacas o pulmonares.

- Episodios de ataques cardíacos no mortales.
- Alteraciones del ritmo cardíaco.
- Empeoramiento de los síntomas de asma.
- Reducción de la capacidad pulmonar.
- Intensificación de diversos síntomas relacionados con la salud respiratoria.

2.20. Método Gravimétrico

(Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024) Se utiliza una metodología analítica cuantitativa en la que la definición de ambos componentes se obtiene por la diferencia entre el peso inicial y final. El principal método utilizado para determinar la concentración de PM_{10} es la gravimetría. Este método consiste en tomar las muestras de aire re recolectan a un flujo constante durante periodo de 24 horas, pasando el aire por un filtro en el que se conservan las partículas.

2.21. Humedad relativa y presión atmosférica:

La humedad relativa corresponde al porcentaje de vapor de agua contenido en el aire atmosférico. También es una de las variables más importantes y tiene una gran influencia en el medio ambiente (Vivanco Espinoza, 2019).

2.22. Velocidad del viento

Según la escala del anemómetro de Beaufort, la velocidad del viento con una velocidad entre 0,2 m/s y 2,0 m/s se define como el mayor porcentaje de la velocidad del viento, con un total de 55,0%. (Vivanco Espinoza, 2019).

2.23. Dirección del viento

Es crucial comprender la dirección del viento debido a su papel esencial en el transporte de polvo y posibles contaminantes. Este conocimiento también resulta indispensable para seleccionar adecuadamente la ubicación del sonómetro y garantizar mediciones precisas.(Vivanco Espinoza, 2019)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, con alcance descriptivo, debido a que estuvo orientada a determinar y caracterizar los niveles de ruido ambiental y la concentración de material particulado presentes en diferentes puntos del casco urbano de la ciudad de Tumbes. Asimismo, permitió generar información ambiental que pueden servir como referencia para la identificación de sectores con mayores niveles de contaminación

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, debido a que las variables fueron evaluadas mediante mediciones instrumentales y los resultados fueron expresados mediante valores numéricos que posteriormente fueron procesados y analizados.

El diseño de investigación fue no experimental y de campo, debido a que las variables fueron observadas y medidas directamente en el área de estudio, sin realizar manipulación deliberada de las condiciones ambientales.

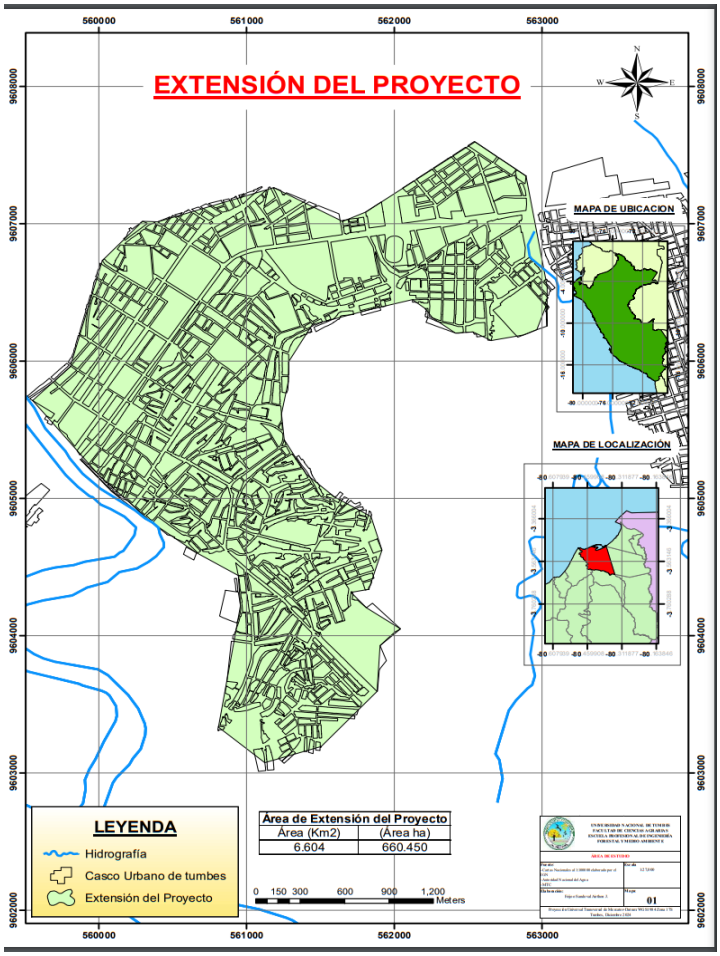
3.2. Metodología

Se evaluó los Contaminantes como el sonido excesivo y las partículas en suspensión se evaluaron en esta investigación, se calculó los siguientes parámetros durante los monitoreos que son de bastante importancia como Las condiciones climáticas como (temperatura del entorno, la humedad relativa, la intensidad y dirección del viento, las precipitaciones y la presión del aire). Estos parámetros son fundamental Según las directrices definidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Aire. (MINAM, 2019)

3.3. Ubicación

El presente estudio se desarrolló en casco Urbano del departamento de Tumbes, Perú. Con un área de aproximadamente de 6604 Km^2 y una población de 157581 mil habitantes (INEI, 2017).

El área de estudio comprende sectores urbanos donde se presenta actividad comercial, tránsito vehicular y concentración de población, condiciones que puedan contribuir a la generación de ruido ambiental y material particulado.



3.4. Puntos de muestreo.

Para la cantidad de puntos de monitoreo de material particulado y ruido ambiental se tomó como referencia e Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (MINAM, 2019), en este caso se tiene que Tumbes tiene una población aproximadamente de 157581 mil habitantes, consecuentemente se debe trabajar como mínimo diez puntos de monitoreo ambiental en el casco urbano de Tumbes.

Población o ciudadanos	Estaciones de monitoreo mínimo
0 a 249	1
250 a 749	2

750 a 999	3
1000 a 1499	4
1500 a 1999	5
2000 a 2749	6
2750 a 3749	7
3750 a 4749	8
4750 a 5999	9
≥6000	10

D.S 010-2019-MINAM,2019

3.5. Evaluación del ruido.

Para las mediciones se desarrolló teniendo en cuenta las disposiciones establecidas del R.M N° 227-2013-MINAM, el cual señala la aplicación de criterios descritos para el correcto monitoreo y evaluación de ruido ambiental.



Para realizar el monitoreo de ruido ambiental, se utilizará 01 sonómetro de clase 01 de propiedad de la Municipalidad Provincial de Tumbes con las siguientes características.

Marca: BSWA TECH

Modelo: BSWA 308

Año: 2023

3.6. Criterios para la ubicación de los puntos

La ubicación de los puntos de monitoreo se realizó tomando como base ciertos criterios técnicos entre los que resaltan (zona de mayor tránsito vehicular, zona me mayor tránsito peatonal y cercanía a Instituciones educativas de diferentes niveles, hospitales)

Se tuvo cuidado con la dirección del viento porque se puede propagar el ruido y puede variar.

Los puntos de medición seleccionados a evaluar deberán indicar coordenadas para cada área o zona donde se evaluará.

3.7. Puntos o muestras de monitoreo de Ruido

CODIGO	DESCRIPCION	COORDENADAS 17 M - UTM WGS 84		Zonificación
R1	AV. Mariscal castilla / Alfonso Urgarte N° 411, Tumbes	560384	9605254	Zona Comercial
R2	Francisco Navarrete 401	560442	9605655	Zona comercial
R3	Av. Panamericana N/La Marina	560857	9606688	Zona comercial
R4	Francisco Navarrete 167	560348	9605456	Zona comercial
R5	Av. Universitaria 531	561562	9603916	Protección especial
R6	C. Bolívar/C. Miguel Grau	560019	9605370	Zona Comercial
R7	*C. Los Tumpis / C. Tarapacá*	560438	9606595	Especial
R8	C.Arica	560248	9606121	Comercial
R9	*Panamericana Norte / 24 de Julio*	560472	9606149	Protección Especial
R10	C. el Ejercito	561251	9605428	Zona Residencial

3.8. Criterios para la instalación del sonómetro

Colocaremos el sonómetro sobre el trípode, manteniéndolo a 1,5 m del suelo. Para evitarlo, el técnico operador debe alejarse del equipo, teniendo en cuenta sus características, para eludir distorsionar las lecturas.

Anotar la verificación de calibración en el lugar tanto previo como posterior a cada medición, documentando las discrepancias en el registro de campo.

El micrófono ponerlo en dirección hacia la fuente trasmisora y posteriormente registrar las medidas durante el tiempo asignado, al cabo del cual se desplazará al siguiente punto correspondiente, realizando el mismo procedimiento anterior.

3.9. Criterio según el tipo de sonómetro

En este trabajo se utilizó un sonómetro integrado de clase 01 con características antes mencionadas de propiedad de la municipalidad provincial de Tumbes debidamente calibrado.

En cada punto de monitoreo se realizaron como mínimo 10 mediciones de un minuto de duración, registrándose los valores correspondientes al nivel máximo (Lmax), nivel mínimo (Lmin) y nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (LAeqT).

Las mediciones fueron realizadas durante el horario diurno establecido para la evaluación del ruido ambiental, comprendido entre las 7:01 y 22:00 horas, conforme a los criterios señalados en el proyecto de investigación.

3.10. Flujo vehicular

El flujo vehicular se hizo a través de la metodología del registro del tránsito vehicular mientras se evalúan los niveles de ruido y material particulado alrededor de los puntos a muestrear por un determinado tiempo.

3.11. Mapa de ruido

los mapas de ruido, se extrajeron los resultados de los monitores de ruido en dB de la ciudad de Tumbes y se realizaron en los siguientes pasos.

Los resultados obtenidos de cada punto se interpretaron en Microsoft Excel.

Los valores promedio de dB para cada punto se transfirieron de Microsoft Excel a ArcGIS.

Con ayuda de ArcGIS se generaron mapas correspondientes al ruido ambiental.

3.12. Nivel de exposición de personas al ruido.

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral de 8 horas (LEX,8h), se utilizó la ecuación establecida en la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 9612 (2010).

$$L_{EX,8h=}L_{P,A,eqT,}+10\lg\left(\frac{Te}{T0}\right)dB$$

Donde:

$L_{p,A,eqT}$: Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A.

T_e: Duración de la jornada laboral efectiva

T_0: Duración de referencia , To = 8 h.

3.13. Evaluación del material particulado.

Las mediciones se realizaron de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Aire, 2019, el cual establece pautas para una correcta evaluación del aire, con el objetivo de generar datos de alta calidad. Lo que indica criterios para la correcta evaluación del aire con el fin de generar información de calidad.



Para el monitoreo de material particulado se utilizará un monitor de masa de partículas con las siguientes características

Modelo: T640

Marca: teledyne advance pollution instrumentation de propiedad de la Universidad Nacional de Tumbes.

La estación de monitoreo se colocó en los puntos de muestreo para la respectiva evaluación de manera diaria por 24 horas por cada punto de monitoreo.

3.14. Puntos o muestras de monitoreo de material particulado.

La evaluación del material particulado en los 10 puntos de monitoreo, se realizaron de forma secuencial, considerando un día por punto de monitoreo.

CODIGO	DESCRIPCION	COORDENADAS 17 M - UTM WGS 84	
P01	C. Andes Araujo moran	560728	9605574
P02	C. Francisco Navarrete	560457	9605665

P03	Av. Piura / Mariscal castilla	560466	9605345
P04	*C. Los Andes* 341	560179	9605364
P05	A.H *24 de Julio.*	561537	9606488
P06	Jr. C. Bolívar 431, Tumbes	560268	9605760
P07	*C. Tarapacá*	559921	9605769
P08	Calle Gral Morzan	561087	9605709
P09	*Av. Panamericana / La Marina*	560843	9606671
P10	*Av. Universitaria.*	561498	9603948

3.15. Criterios técnicos de instalación de equipos de monitoreo

Para realizar un adecuado seguimiento de la calidad del aire es imprescindible seguir las indicaciones del Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire, 2019, para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Características	Criterios Técnicos	Otros aspectos a considerar
El nivel de entrada de la muestra (por encima del suelo).	1,5 m como mínimo y máximo 15 m.	Se estima que un rango de 1.5 m a 4 m es el más apropiado, dado que la medición está enfocada en la calidad del aire que inhalamos.
Separación horizontal en relación con estructuras más altas que el equipo de monitoreo.	Igual o superior a 2.5 veces la diferencia entre las alturas (altura de obstáculo – altura de entrada)	Se define como obstáculo cualquier elemento físico que actúe como barrera, como muros, edificaciones o árboles.
Separación horizontal en relación con fuentes emisoras próximas.	A una distancia mínima de 20 metros o desde los límites hacia afuera, aplicables actividades extractivas, productivas o de servicios localizados en áreas urbanas.	En caso de que la estación de monitoreo este deberá ubicarse a una distancia mínima de 50 metros a sotavento de la estación.
Separación horizontal entre dos dispositivos de monitoreo ubicados en la misma estación.	Cuando uno de los equipos de monitoreo utilice flujos superiores a 200 litros por minuto, la altura debe ser de al menos 2 m mayor o igual a un metro cuando ambos equipos de monitoreo utilicen flujos menores o iguales a 200 litros x minuto.	

Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo.	Estacion de muestreo debe estar ubicada de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujo de aire en mínimo tres de los cuatro cuadrantes (norte, oeste y sur)	Una mayor restricción de flujo de aire libre pudiera afectar la representatividad espacial de la estación de monitoreo.

3.16. Evaluación del material particulado sedimentable

Para calcular el material sedimentable se aplicó el método pasivo empleado por Arciniegas (2012), lo cual consiste colocar papel filtro en un recipiente o caja Petri en los puntos de muestreo por un periodo de 24 horas, los papeles filtro deben ser pesado antes y después de su recolección de MPS.

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{Area} x\ T$$

Donde:

PAS: Polvo atmosférico sedimentable

Pi: (Pi. Inicial) Después de salir del laboratorio

Pf: (Pf. Final) Después de estar expuesta el filtro del periodo de muestreo

Área de papel filtro: A= π*r²

T: Tiempo del monitoreo (24 horas/dia)

3.17. Concentración del material particulado PM_{10}

Para la determinar la concentración del material particulado se tomó como referencias las fórmulas establecidas en el trabajo de investigación de (Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024),

$$\boldsymbol{PM10 = (Wf - Wi) x\ 10^6 / Vstd}$$

Donde:

PM_{10}: Concentración másica de PM_{10}, ug/m^3

Wf,Wi: Pesos final - inicial del filtro que recoge las partículas PM_{10}

Vstd: Total de aire muestreado en unidades de volumen referencia en , m3

3.18. Nivel de exposición del material particulado

La determinación del nivel de exposición del material particulado se aplicó las fórmulas establecidas en el trabajo de investigación de (Flores Vara, 2022), lo cual el hace referencia a las ecuaciones establecidas en la normativa ambiental para la exposición.

$$CE = \frac{CA\ X\ TE\ X\ FrE\ X\ DuE}{PTEM}$$

Donde:

CE: Concentración modificada de exposición (ug/m^3)

CA: Concentración del contaminante en el aire (ug/m^3)

TE: Tiempo de exposición (h/d)

FrE: Frecuencia de exposición (días/años)

DuE: Duración de la exposición (años)

PTEM: DuE x días/años x horas/días = periodo de tiempo durante la exposición de promediada (h).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Evaluación de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Tumbes

4.1.1. Análisis temporal de la evaluación de ruido por punto de monitoreo

Punto (R1): Avenida Mariscal Castilla (Zonificación. Zona Comercial)

En este punto de monitoreo se registraron los niveles de presión sonora diurna con el objetivo de evaluar el comportamiento acústico en un sector de alta actividad comercial. A continuación, en la Tabla 1, se detallan las mediciones de Lmax, Lmin y LAeqT obtenidas durante el periodo de evaluación, así como su contraste frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para ruido en zona comercial.

Tabla 1

Niveles de presión sonora diurna registrados en la Av. Mariscal Castilla (Zona Comercial)

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:15	93.1	65.3	74.2	70	supera	4.2
08:15	92.2	64.6	76.3	70	supera	6.3
09:15	101.8	65.1	78.6	70	supera	8.6
10:15	98.7	66.4	77.2	70	supera	7.2
11:15	96	65.6	77.3	70	supera	7.3
12:15	97.5	64.3	78.4	70	supera	8.4
13:15	101.3	66.7	80.6	70	supera	10.6
14:15	93.1	65.7	75.3	70	supera	5.3
15:15	101.9	64.9	80.4	70	supera	10.4
16:15	77.2	64.1	77.3	70	supera	7.3
17:15	81.2	65.3	78.6	70	supera	8.6
18:15	94.3	68.2	76.4	70	supera	6.4
19:15	98.6	69.7	80.3	70	supera	10.3
20:15	98.9	66.7	76.8	70	supera	6.8
21:15	92.3	60.7	72.7	70	supera	2.7
Promedio	94.54	65.55	77.36	70	supera	7.36

En la tabla 01 se presentan los resultados de las mediciones de presión sonora realizadas a lo largo del horario diurno (07:15 a 21:15 horas) en la Av. Mariscal

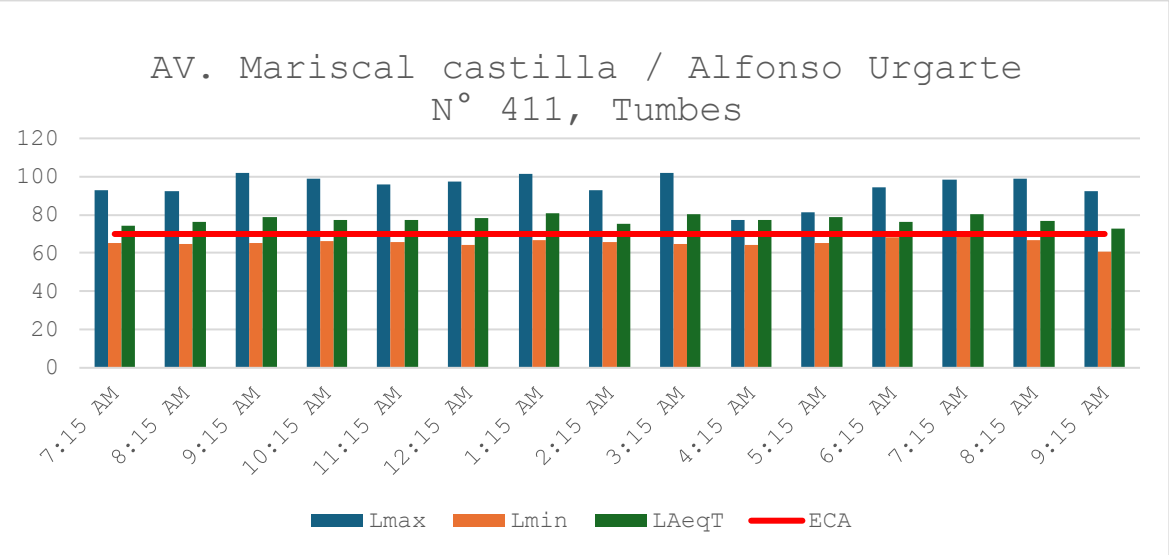
castilla, sector clasificado como zona comercial cuyo estándar de calidad ambiental (ECA) permisible es de 70 dBA según el D.S N° 0085-2003-PCM.

Los datos evidencian que el 100% de los registros de ruido superan el ECA establecido. Los niveles continuos equivalentes (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 72.7 dBA (a las 21:15) y un valor máximo de 80.6 dBA (Registrado a las 13:15 horas). El promedio general de presión sonora equivalente en este punto alcanzo los 77.36 Dba, superando el límite normativo por un margen promedio de 7.36 dBA.

Asimismo, los niveles máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos críticos de hasta 101.8 Dba (a las 9:15 horas) y 101.9 dBA (a las 15:15 horas), lo cual denota una fuerte congestión vehicular y actividad comercial intensa en las horas punta de la mañana y la tarde. Estos resultados confirman que la población y los trabajadores de la Av. Mariscal Castilla se encuentran expuestos de manera constante a contaminación acústica por encima de los umbrales seguros para la salud humana.

Figura 1

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (L_{max}, L_{min}, $LA_{eq}T$) frente al ECA en la Av. Mariscal Castilla / Alfonso Ugarte N° 411, Tumbes



En la Figura 01, se ilustra de manera gráfica el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora registrados en el punto de monitoreo de la Av. Mariscal Castilla (cruce con Alfonso Ugarte N° 411). Las barras representan los valores máximos Lmax , mínimos Lmin y el nivel continuo equivalente (LAeqT) por cada hora de evaluación, los cuales se contrastan con la línea de referencia del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fijada en 70 dBA

dBA (línea horizontal roja). A través de la representación gráfica se observa claramente que todas las barras verdes correspondientes al nivel continuo equivalente (LAeqT) y las barras azules de los picos máximos (Lmax) se ubican por encima de la línea roja del ECA a lo largo de toda la jornada de monitoreo. Esto evidencia visualmente que la contaminación acústica en este sector comercial no es un evento aislado u ocasional, sino una condición persistente y sostenida durante todo el horario diurno, impulsada principalmente por el flujo vehicular continuo y la aglomeración comercial de la zona.

Figura 2

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (L_max, L_min y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Mariscal Castilla / Alfonso Ugarte N° 411, Tumbes.

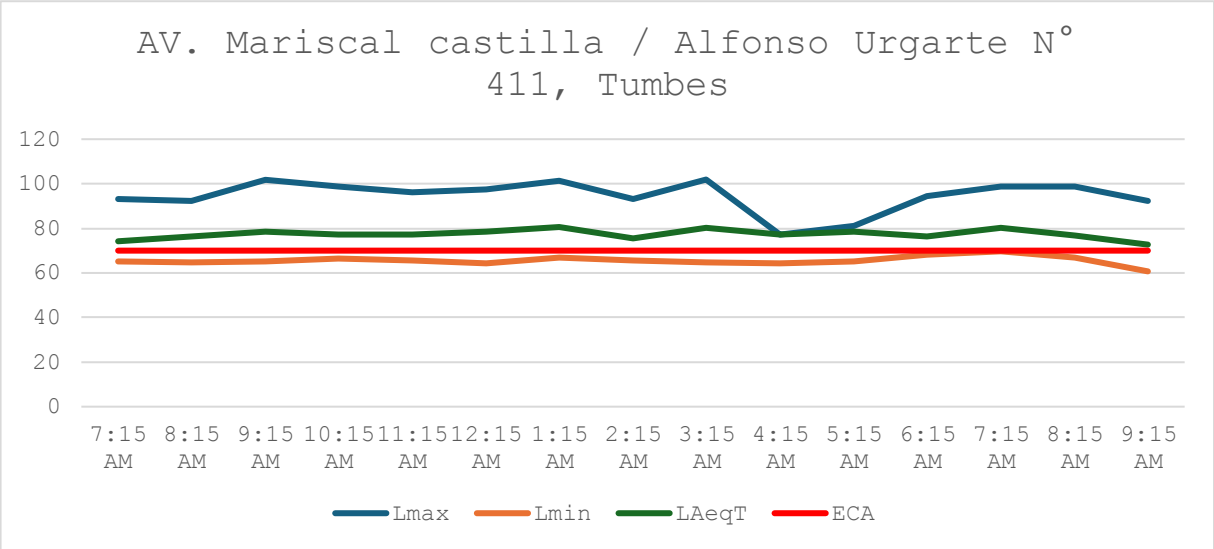


Figura 02: Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeq) en la Av. Mariscal Castilla frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA). En la Figura Y se representa el comportamiento evolutivo del nivel

de ruido a lo largo de la jornada diurna en el punto de monitoreo de la Av. Mariscal Castilla. A través de las trayectorias de las líneas se aprecia con claridad la dinámica acústica del sector: Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT), Se mantiene de forma constante por encima de la línea roja de referencia del ECA (70 dBA), exhibiendo ligeros incrementos que coinciden con las horas punta de mayor afluencia vehicular y comercial (alrededor de las 09:15 AM, 01:15 PM y 03:15 PM, donde alcanza los picos de mayor intensidad).Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax), Muestra una alta volatilidad con fluctuaciones marcadas que superan los 90 dBA en casi toda la franja horaria, llegando a los puntos más críticos por encima de los 100 dBA. Esto evidencia la ocurrencia de eventos sonoros repentinos y de alta intensidad, típicamente asociados al uso de bocinas, aceleraciones bruscas de vehículos pesados y congestión vehicular. Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin), Se sitúa por debajo del ECA (oscilando entre los 60 dBA y 68 dBA), lo cual indica que aun en los momentos de aparente menor intensidad vehicular, el ruido residual o de fondo del entorno urbano ya se encuentra muy cerca o rozando el límite máximo permitido. En conjunto, el gráfico confirma que la zona comercial evaluada carece de periodos de tranquilidad acústica durante el día, evidenciando una presión sonora continua que infringe la normativa ambiental vigente.

Punto (R2): Calle Franscisco Navarrete 401 (Zonificación: Comercial)

Tabla 2

Niveles de presión sonora diurna registrados en la Francisco Navarrete 401 (Zona Comercial)

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
7:30 AM	85.5	60.2	71.6	70	Supera	1.6
8:30 AM	88.6	61.2	75.5	70	Supera	5.5
9:30AM	98.6	57.2	77.2	70	Supera	7.2
10:30 AM	92.6	55.2	74.2	70	Supera	4.2
11:30AM	89.6	60.7	74.2	70	Supera	4.2
12:30AM	88.2	62.3	73.5	70	Supera	3.5
1:30PM	91.8	58.7	73.6	70	Supera	3.6
2:30PM	93.1	58	74.1	70	Supera	4.1
3:30PM	93.3	58.6	73.2	70	Supera	3.2
4:30PM	87.7	56	73	70	Supera	3
5:30PM	90.6	58.9	72.6	70	Supera	2.6
6:30PM	95	59.4	76.4	70	Supera	6.4
7:30 PM	103.1	64.2	77	70	Supera	7
8:30PM	99.6	58.7	74.9	70	Supera	4.9
9:30PM	98.5	57.4	75.2	70	Supera	5.2
Promedio	93.05	59.11	74.41	70.00	Supera	4.41

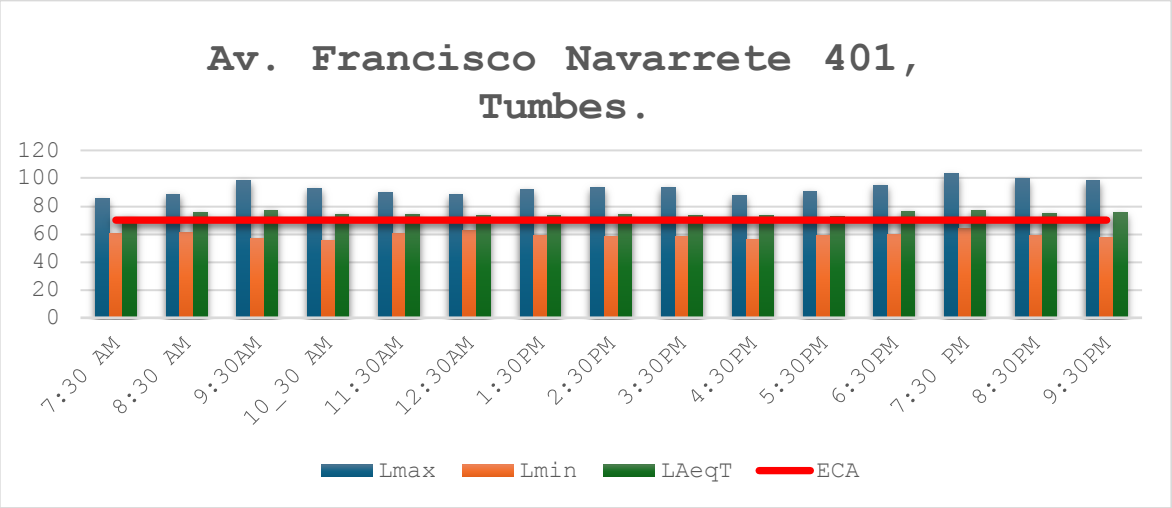
En la Tabla 2, se muestran los resultados de las mediciones de presión sonora realizadas en horario diurno (desde las 07:30 AM hasta las 09:30 PM) en la Av. Francisco Navarrete 401, sector categorizado como zona comercial cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permisible es de 70 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM).

Los datos obtenidos revelan que el 100% de los registros horarios superan el ECA establecido. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) oscilaron entre un valor mínimo de 71.6 dBA (a las 7:30 AM) y un valor máximo de 77.0 dBA (a las 7:30 PM). El promedio global del nivel equivalente en este punto fue de 74.41 dBA, superando el límite normativo por un margen promedio de 4.41 dBA.

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos de intensidad muy elevados, destacando las 7:30 PM con 103.1 dBA, lo que demuestra una alta congestión vehicular y saturación acústica en las horas punta de la noche.

Figura 3

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Av. Francisco Navarrete 401, Tumbes.

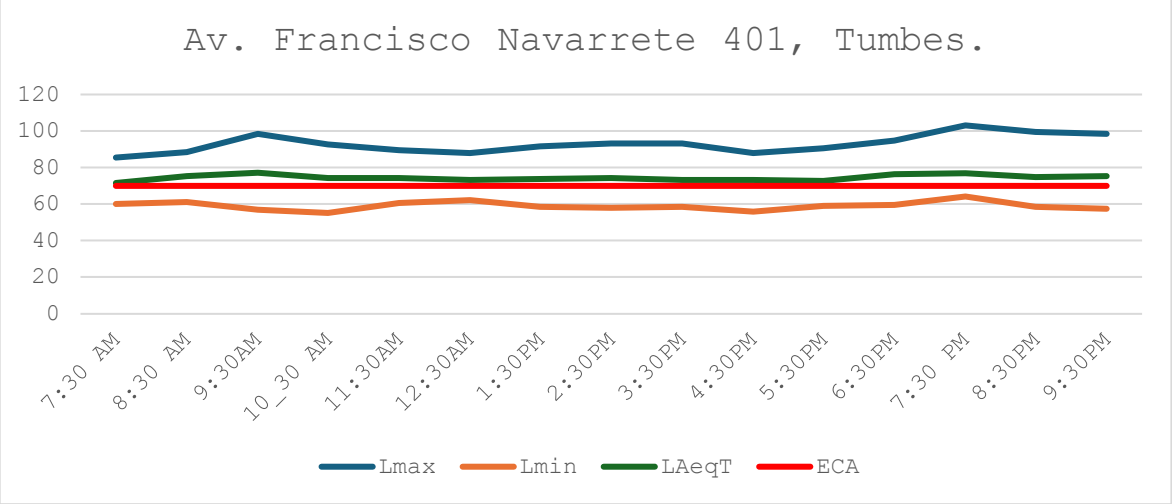


En la Figura 3 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora registrados en la Av. Francisco Navarrete 401. En los ejes cartesianos se representan las franjas horarias frente a los valores en decibeles dBA, contrastándolos con la línea roja horizontal del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fijada en 70 dBA.

A través de la representación visual se observa claramente que todas las barras verdes correspondientes al nivel continuo equivalente (LAeqT) se posicionan por encima de la línea roja del ECA a lo largo de toda la jornada. De igual forma, las barras azules de los picos máximos (Lmax) rebasan de manera constante los 80 dBA y 90 dBA, evidenciando que la contaminación acústica en este sector comercial es un problema continuo e ininterrumpido durante todo el día.

Figura 4

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax,Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Francisco Navarrete 401, Tumbes.



En la Figura 4 se representa la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en el punto de la Av. Francisco Navarrete 401. Mediante las trayectorias de las líneas en los ejes cartesianos se detalla la dinámica acústica del sector:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene de forma constante por encima de la línea de referencia del ECA (70 dBA), experimentando un incremento progresivo hacia las horas de la noche (alcanzando los 77 dBA a las 7:30 PM), lo que indica una mayor concentración vehicular al atardecer.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Muestra fluctuaciones pronunciadas con picos críticos que superan los 90 dBA y llegan hasta los 103.1 dBA, reflejando eventos repentinos de ruido intenso como el uso de cláxones y aceleraciones de vehículos pesados.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se mantiene por debajo del ECA (entre 55 dBA y 64 dBA), lo que señala que incluso en los momentos de menor actividad, el ruido de fondo o residual del entorno urbano se encuentra muy próximo al límite legal permitido.

Punto 03(R3): Avenida Panamericana norte / la marina (Zonificación: comercial)

Tabla 3

Niveles de presión sonora diurna registrados en la Av. Panamericana N/ La Marina (Zona Comercial).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:00	93.5	63	78.2	70	Supera	8.2
08:00	91.9	63.2	75.5	70	Supera	5.5
09:00	93.5	59.1	74.8	70	Supera	4.8
10:00	87.6	68.9	73.6	70	Supera	3.6
11:00	90.5	59.8	73.3	70	Supera	3.3
12:00	96	62.7	76.6	70	Supera	6.6
13:00	95.3	68.4	77.1	70	Supera	7.1
14:00	93.8	62.4	74.6	70	Supera	4.6
15:00	92.2	59.2	71.9	70	Supera	1.9
16:00	99.3	60.6	75.9	70	Supera	5.9
17:00	88.4	58.9	71.4	70	Supera	1.4
18:00	98.4	60.8	74.4	70	Supera	4.4
19:00	88.6	60.8	71.4	70	Supera	1.4
20:00	86.9	55.4	71.3	70	Supera	1.3
21:00	90.4	59.3	71.5	70	Supera	1.5
Promedio	92.42	61.5	74.1	70	Supera	4.1

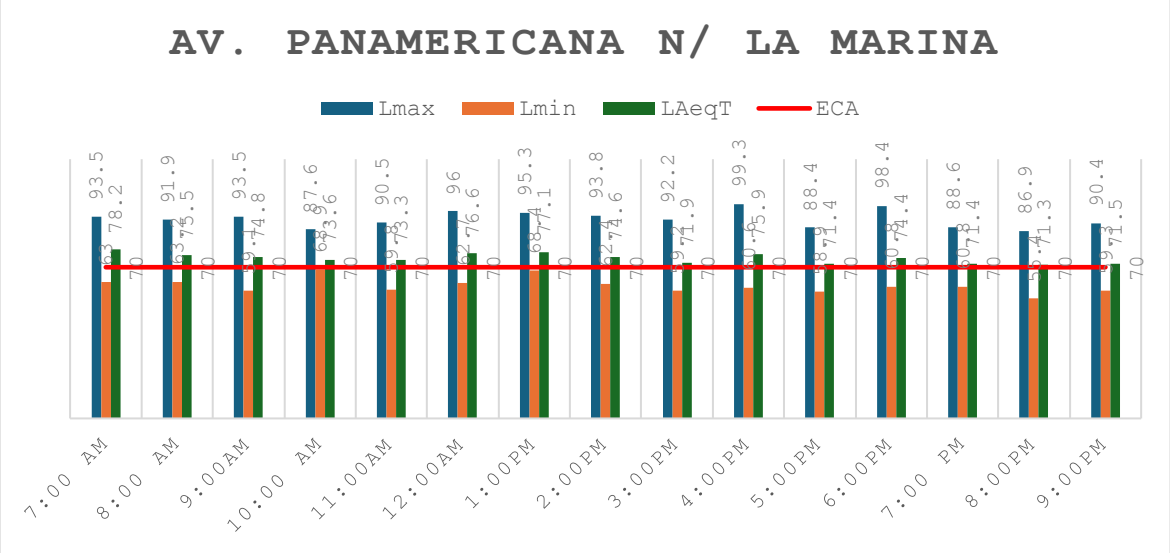
En la Tabla 3 se exponen los resultados de las mediciones de presión sonora efectuadas a lo largo del horario diurno (desde las 07:00 AM hasta las 09:00 PM) en la Av. Panamericana N/ La Marina, sector categorizado como zona comercial cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permisible es de 70 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM).

Los registros indican que el 100% de los intervalos horarios superan el límite establecido por la normativa. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 71.3 dBA (a las 20:00 horas) y un valor máximo de 78.2 dBA (a las 07:00 horas). El promedio general del nivel equivalente en este punto fue de 74.1 dBA, superando el ECA por un margen promedio de 4.1 dBA .

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) registraron picos críticos de intensidad, destacando las 16:00 horas con 99.3 dBA y las 18:00 horas con 98.4 dBA, lo que evidencia una fuerte saturación acústica derivada del alto tráfico vehicular pesado y liviano que transita por esta importante vía arterial.

Figura 5

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Av. Panamericana N/ La Marina, Tumbes.

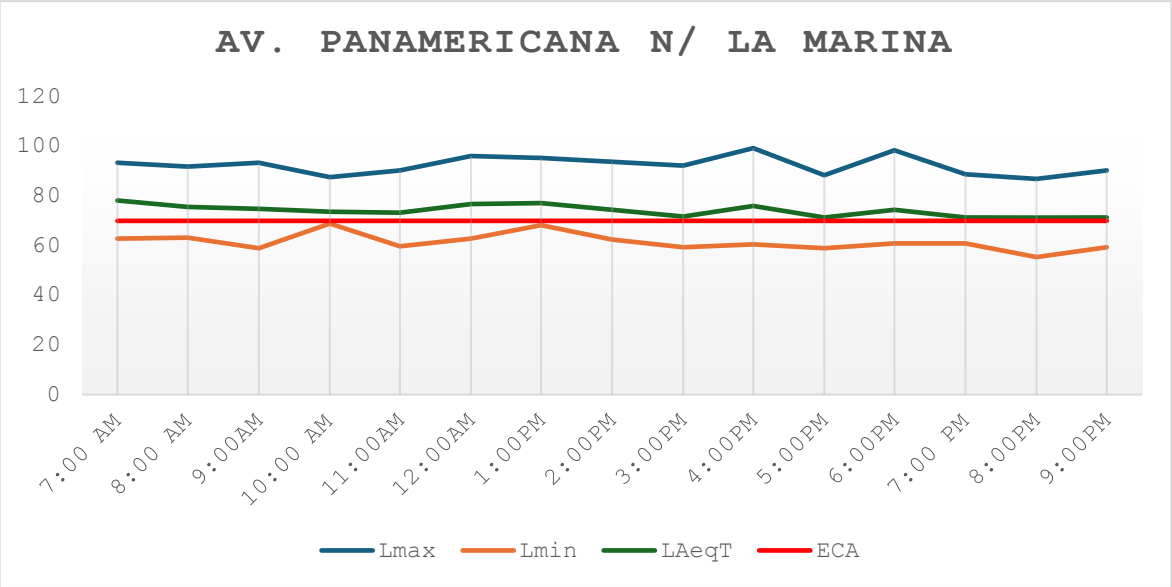


En la Figura 5 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora en la Av. Panamericana N/ La Marina. En los ejes cartesianos se representan las franjas horarias frente a los valores en decibeles dBA, contrastándolos con la línea horizontal roja del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA

A través de la representación visual se observa de manera directa que todas las barras verdes, correspondientes al nivel continuo equivalente (LAeqT), se ubican por encima de la línea roja del ECA durante toda la jornada. Asimismo, las barras azules de los picos máximos (Lmax) rebasan de forma constante los 85 dBA y rozan los 100 dBA, confirmando que la contaminación acústica en este corredor vial es continua, intensa y sostenida a lo largo de todo el día.

Figura 6

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT), frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Panamericana N/ La Marina, Tumbes.



En la Figura 6 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en el punto de la Av. Panamericana N/ La Marina. Mediante las trayectorias de las líneas en los ejes cartesianos se detalla la dinámica acústica del sector:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene de manera invariable por encima de la línea de referencia del ECA (70 dBA), con ligeros ascensos matutinos y vespertinos que coinciden con las horas de mayor circulación vehicular en la vía nacional.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Muestra fluctuaciones marcadas con picos pronunciados que alcanzan hasta los 99.3 dBA, reflejando la ocurrencia de eventos sonoros repentinos propios del flujo vehicular pesado y la velocidad de desplazamiento en la panamericana.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Oscila por debajo del ECA (entre 55 dBA y 68 dBA), indicando que el ruido de fondo o residual del sector ya se encuentra permanentemente cerca del límite legal permitido.

Punto de monitoreo 04 (R4): Calle Francisco Navarrete 167 (Zonificación: Comercial)

Tabla 4

Niveles de presión sonora diurna registrados en Francisco Navarrete 167

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:43	79.3	55.3	67.2	70	No supera	-2.8
08:43	77.5	52.3	65	70	No supera	-5
09:43	90.5	52.4	69.9	70	No supera	-0.1
10:43	84.3	53.1	65.3	70	No supera	-4.7
11:43	$8_{2.5}$	52.4	67.7	70	No supera	-2.3
12:43	88.7	52.4	66	70	No supera	-4
13:43	91.5	54.4	69	70	No supera	-1
14:43	81.5	53.6	66.3	70	No supera	-3.7
15:43	94.9	52.9	68.1	70	No supera	-1.9
16:43	88.3	54.1	67.1	70	No supera	-2.9
17:43	69.2	54.1	69.2	70	No supera	-0.8
18:43	83.3	54.6	66.3	70	No supera	-3.7
19:43	89.8	53.8	67.1	70	No supera	-2.9
20:43	88.2	51.1	65	70	No supera	-5
21:43	85.3	55.2	66.4	70	No supera	-3.6

Promedio	84.9866667	53.4466667	67.04	70	No supera	-2.96

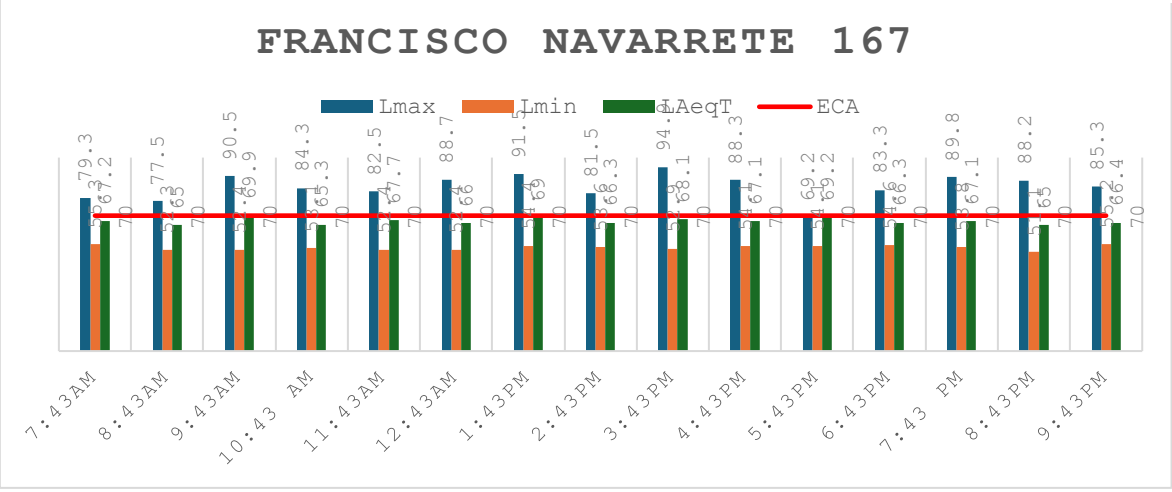
En la Tabla 4 se presentan los resultados de las mediciones de presión sonora diurna (desde las 07:43 AM hasta las 09:43 PM) correspondientes al Punto 04. A diferencia de los puntos anteriores evaluados en corredores altamente comerciales, en este sector el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM) no fue superado en su promedio general.

Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 65.0 dBA (a las 08:43 AM) y un valor máximo de 69.9 dBA (a las 09:43 AM). El promedio global del nivel equivalente se situó en 67.04 dBA, encontrándose por debajo del límite normativo por un margen promedio de -2.96 dBA.

No obstante, se observa que los niveles máximos de (Lmax) alcanzaron picos puntuales de hasta 94.9 dBA (a las 03:43 PM) y 91.5 dBA (a la 01:43 PM), lo que indica que, a pesar de mantener un promedio general conforme a la ley, la zona experimenta episodios esporádicos de ruido intenso debido al tránsito vehicular ocasional.

Figura 7

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en Francisco Navarrete 167, Tumbes.

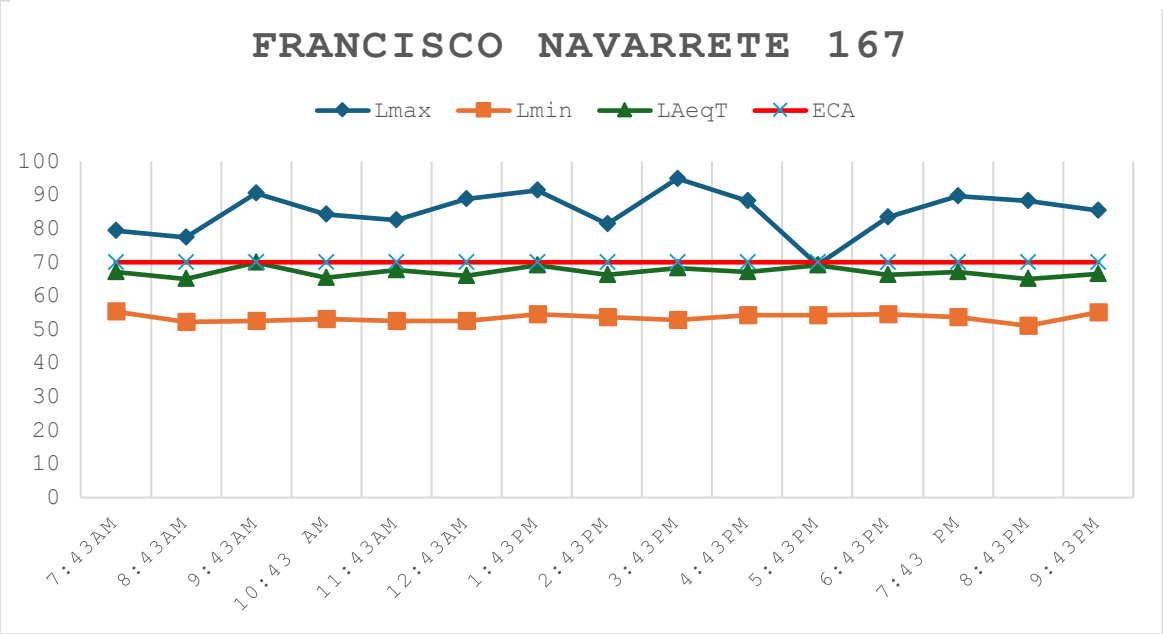


En la Figura 7 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora en Francisco Navarrete 167, contrastado con la línea horizontal roja del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA.

A través de la representación visual se aprecia que la gran mayoría de las barras verdes (LAeqT) se ubican ligeramente por debajo de la línea roja de referencia del ECA, reflejando un cumplimiento normativo en el promedio de las mediciones horarias. Sin embargo, las barras azules de los picos máximos (Lmax) se elevan de forma marcada por encima del umbral permitido, evidenciando que la zona no está exenta de ruidos súbitos derivados de la circulación vehicular puntual.

Figura 8

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en Francisco Navarrete 167, Tumbes.



En la Figura 8 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en el Punto 04. Mediante el trazado en los ejes cartesianos se observa la siguiente dinámica:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene de manera estable por debajo o muy cerca de la línea roja del ECA (70 dBA),

demostrando un ambiente acústico más controlado en comparación con las zonas comerciales críticas.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax- línea azul): Presenta oscilaciones pronunciadas con picos que superan los 90 dBA en horas específicas de la tarde, lo que confirma la presencia de fuentes móviles de ruido intermitente.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se mantiene estable con un promedio de 53.44 dBA, reflejando el nivel de ruido residual o de fondo propio de esta zona urbana.

Punto de Monitoreo (R5): Avenida Universitaria (Zona de protección Especial)

Tabla 5

Niveles de presión sonora diurna registrados en la AV. Universitaria (Zona de Protección Especial).

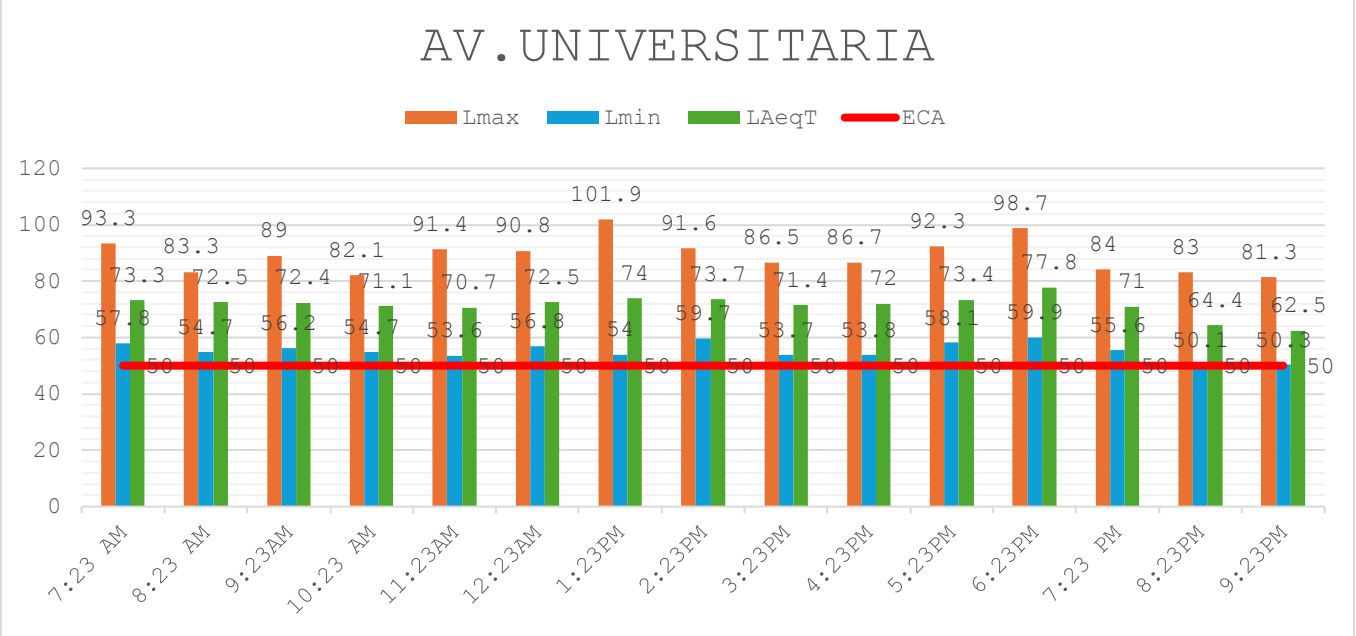
Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:23	93.3	57.8	73.3	50	Supera	23.3
08:23	83.3	54.7	72.5	50	Supera	22.5
09:23	89	56.2	72.4	50	Supera	22.4
10:23	82.1	54.7	71.1	50	Supera	21.1
11:23	91.4	53.6	70.7	50	Supera	20.7
12:23	90.8	56.8	72.5	50	Supera	22.5
13:23	101.9	54	74	50	Supera	24
14:23	91.6	59.7	73.7	50	Supera	23.7
15:23	86.5	53.7	71.4	50	Supera	21.4
16:23	86.7	53.8	72	50	Supera	22
17:23	92.3	58.1	73.4	50	Supera	23.4
18:23	98.7	59.9	77.8	50	Supera	27.8
19:23	84	55.6	71	50	Supera	21
20:23	83	50.1	64.4	50	Supera	14.4
21:23	81.3	50.3	62.5	50	Supera	12.5
Promedio	89.06	55.27	71.51	50	Supera	21.51

En la Tabla 5 se exponen los resultados de las mediciones de presión sonora diurna (desde las 07:23 AM hasta las 09:23 PM) correspondientes a la Av. Universitaria, sector clasificado como Zona de Protección Especial debido a su alta sensibilidad acústica, cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permitido es de 50 dBA en horario diurno, conforme al D.S. N° 085-2003-PCM. Los datos obtenidos revelan una situación ambiental crítica: El 100% de los registros horarios superan de manera flagrante el ECA establecido. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 62.5 dBA (a las 21:23 horas) y un valor máximo de 77.8 dBA (a las 18:23 horas). El promedio global del nivel equivalente en este punto se elevó a 71.51 dBA, rebasando el límite normativo por un margen crítico de +21.51 dBA en promedio.

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos extremos de hasta 101.9 dBA (a la 01:23 PM) y 98.7 dBA (a las 06:23 PM). Esta severa superación del estándar en un área de protección especial evidencia un alto impacto negativo sobre la salud de la población vulnerable (como estudiantes o pacientes), interfiriendo gravemente en la comunicación verbal y generando riesgos de afectación psico-emocional y auditiva.

Figura 9

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Av. Universitaria, Tumbes.



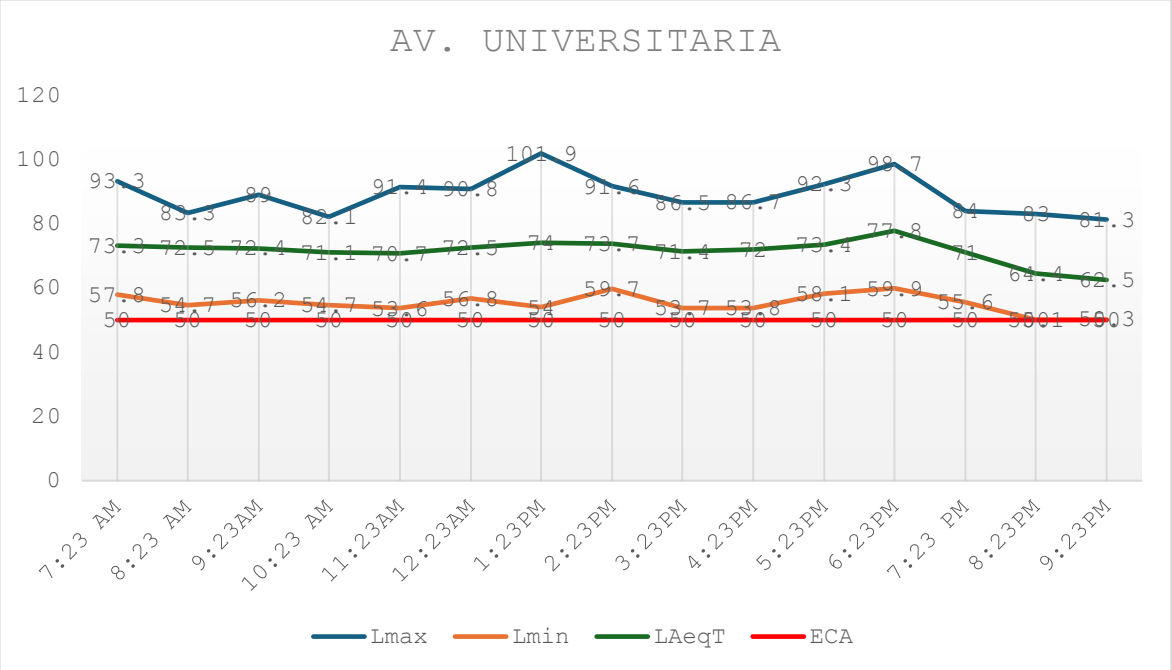
En la Figura 9 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora registrados en la Av. Universitaria (Punto 05, Zona de Protección Especial). En los ejes cartesianos se representan las franjas horarias frente a los valores en decibeles dBA, contrastándolos con la línea roja horizontal del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 50 dBA.

A través de la representación visual se evidencia de manera contundente que la totalidad de las barras verdes, correspondientes al nivel continuo equivalente (LAeqT), se ubican muy por encima de la línea roja del ECA a lo largo de toda la jornada. Asimismo, las barras naranjas de los picos máximos (Lmax) rebasan de forma extrema los 80 dBA y 90 dBA, alcanzando un valor crítico de 101.9 dBA a la

Figura 10

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Av. Universitaria, Tumbes.

01:23 PM. Esto demuestra que la zona escolar o sensible se encuentra sometida a una severa y continua contaminación acústica que transgrede drásticamente el límite normativo.



En la Figura 10 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora en la Av. Universitaria a lo largo de las horas evaluadas. Mediante el trazado de las líneas en los ejes cartesianos se observa la siguiente dinámica:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene de forma permanente y elevada por encima de la línea roja del ECA (50 dBA), registrando su punto más alto hacia las 06:23 PM (77.8 dBA), lo que refleja el impacto acumulativo del tráfico vehicular en horarios de alta circulación.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Muestra fluctuaciones con picos agudos muy pronunciados durante todo el día, reflejando eventos puntuales de ruido intenso y repentino característicos de la zona.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin- línea anaranjada): Se sitúa por encima del ECA normativo (oscilando entre 50.1 dBA y 59.9 dBA), lo cual indica que incluso el ruido de fondo o residual del sector supera el límite máximo permitido para zonas de protección especial.

Punto de monitoreo 06 (R6): Calle Bolívar / Calle Miguel Grau (Zona Comercial)

Tabla 6

Niveles de presión sonora diurna registrados en el cruce de C. Bolívar/C. Miguel Grau (Zona Comercial).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:00	71.2	54.2	61	70	Estable	-9
08:00	72.3	54	61.9	70	Estable	-8.1
09:00	78.7	54.8	63.4	70	Estable	-6.6
10:00	90.5	56.9	67.9	70	Estable	-2.1
11:00	83.7	59.3	66.5	70	Estable	-3.5
12:00	85.2	58.6	66.9	70	Estable	-3.1
13:00	87.2	59.6	67	70	Estable	-3
14:00	85.3	55.7	65.9	70	Estable	-4.1
15:00	87.2	56.1	67.4	70	Estable	-2.6
16:00	87.3	59.9	74	70	superado	4
17:00	91.4	61.1	73.6	70	superado	3.6
18:00	97.5	57.1	70.1	70	superado	0.1
19:00	86.8	58.6	69.6	70	Estable	-0.4

20:00	90.4	56.9	69.7	70	Estable	-0.3
21:00	81.1	54	64.9	70	Estable	-5.1
Promedio	85.05	57.12	67.32	70	Estable	-2.68

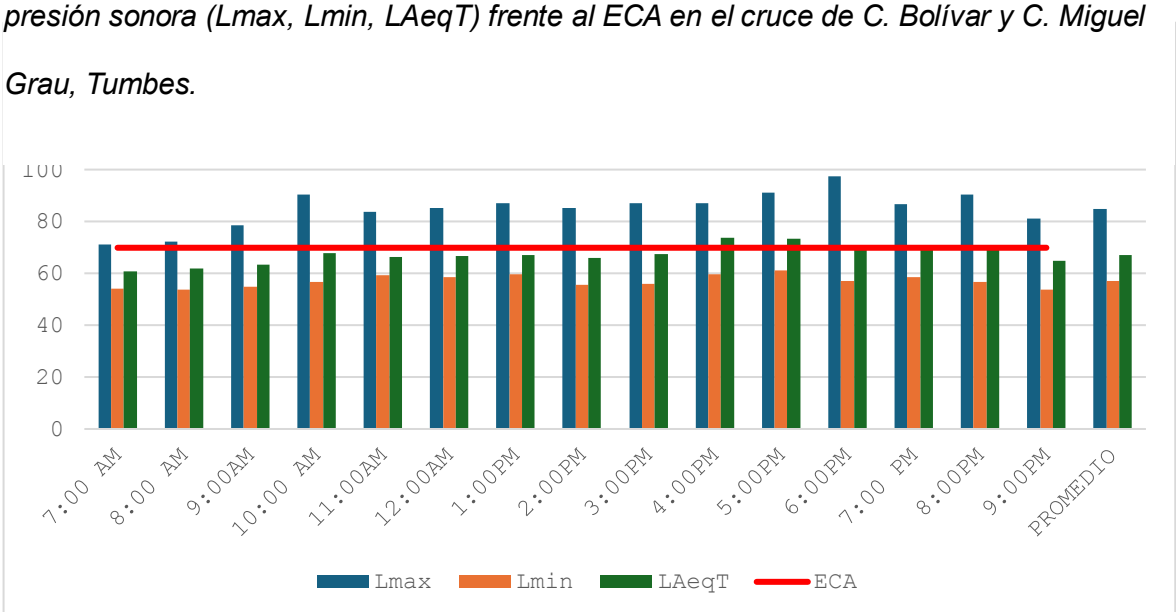
En la Tabla 6 se presentan los resultados de las mediciones de presión sonora diurna (desde las 07:00 AM hasta las 09:00 PM) efectuadas en el punto correspondiente a la intersección de la Calle Bolívar y la Calle Miguel Grau, sector categorizado como zona comercial cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permisible es de 70 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM).

Los datos indican que el promedio general del nivel equivalente se mantuvo estable (67.32 dBA), cumpliendo con la normativa en el global de la jornada. Sin embargo, se identificaron franjas horarias específicas donde el ECA fue rebasado: a las 16:00 horas (74.0 dBA), a las 17:00 horas (73.6 dBA) y a las 18:00 horas (70.1 dBA), coincidiendo con la hora punta de mayor congestión vehicular y comercial de la tarde.

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos de hasta 97.5 dBA (a las 18:00 horas) y 91.4 dBA (a las 17:00 horas), lo que evidencia que, a pesar de mantener periodos estables, el sector experimenta eventos repentinos de alta saturación acústica.

Figura 11

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en el cruce de C. Bolívar y C. Miguel Grau, Tumbes.

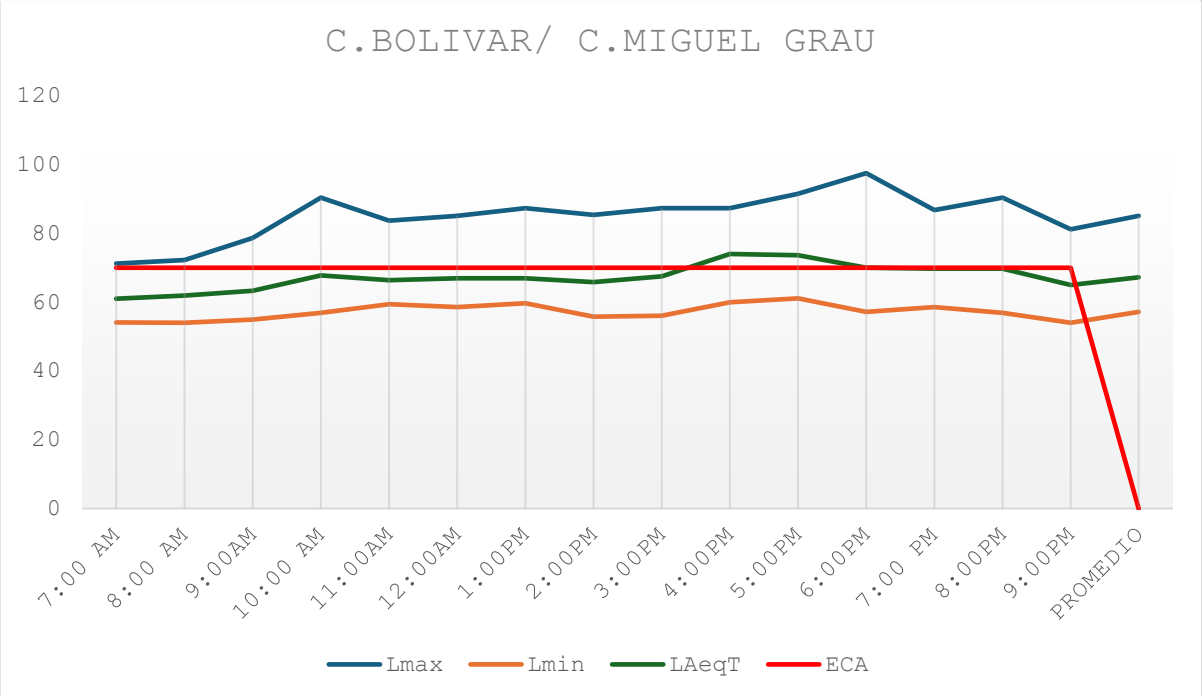


En la Figura 11 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora en el cruce de la Calle Bolívar y la Calle Miguel Grau, contrastado con la línea roja horizontal del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA .

Mediante la representación visual se observa que la gran mayoría de las barras verdes (LAeqT) se sitúan por debajo de la línea roja del ECA, reflejando un comportamiento acústico mayormente estable durante la mañana y primeras horas de la tarde. No obstante, las barras correspondientes a las 16:00, 17:00 y 18:00 horas sobrepasan el umbral normativo, al igual que los picos de las barras azules (Lmax), que escalan de manera notable en la franja vespertina debido al incremento del flujo vehicular comercial.

Figura 12

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en el cruce de C. Bolívar y C. Miguel Grau, Tumbes.



En la Figura 12 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en el punto de la Calle Bolívar y Calle Miguel Grau. Mediante el trazado en los ejes cartesianos se observa la siguiente dinámica:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Mantiene una trayectoria estable y por debajo del ECA durante la mayor parte del día, pero experimenta una curva ascendente clara entre las 15:00 y las 18:00 horas, superando la línea roja de referencia antes de volver a descender hacia la noche.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Presenta oscilaciones moderadas en la mañana que se incrementan de forma notable al caer la tarde, alcanzando su punto crítico de 97.5 dBA a las 18:00 horas.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se mantiene con un promedio estable de 57.12 dBA, reflejando el nivel de ruido residual o de fondo característico de este entorno comercial céntrico.

Punto de monitoreo 07 (R7): Calle los Tumpis / calle Tarapacá (Zonificación: Especial)

Tabla 7

Niveles de presión sonora diurna registrados en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá (Zona de Protección Especial).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:15	95.2	58.1	78.6	50	SUPERA	28.6
08:15	90.1	57.6	71.2	50	SUPERA	21.2
09:15	83.7	53.2	69.6	50	SUPERA	19.6
10:15	88.9	52.7	70.4	50	SUPERA	20.4
11:15	86.9	54.2	69.1	50	SUPERA	19.1
12:15	88.7	61.4	71.1	50	SUPERA	21.1
13:15	91.7	58.9	73.2	50	SUPERA	23.2
14:15	89.1	54.8	69.4	50	SUPERA	19.4
15:15	87.8	50.6	66.3	50	SUPERA	16.3
16:15	83.5	49.4	66.8	50	SUPERA	16.8
17:15	92	53	69.2	50	SUPERA	19.2
18:15	89.4	57.8	71	50	SUPERA	21
19:15	85.5	50.1	68.3	50	SUPERA	18.3

20:15	74.7	48.3	66	50	SUPERA	16
21:15	72.4	43	62.5	50	SUPERA	12.5
Promedio	86.64	53.54	69.51	50	SUPERA	19.51

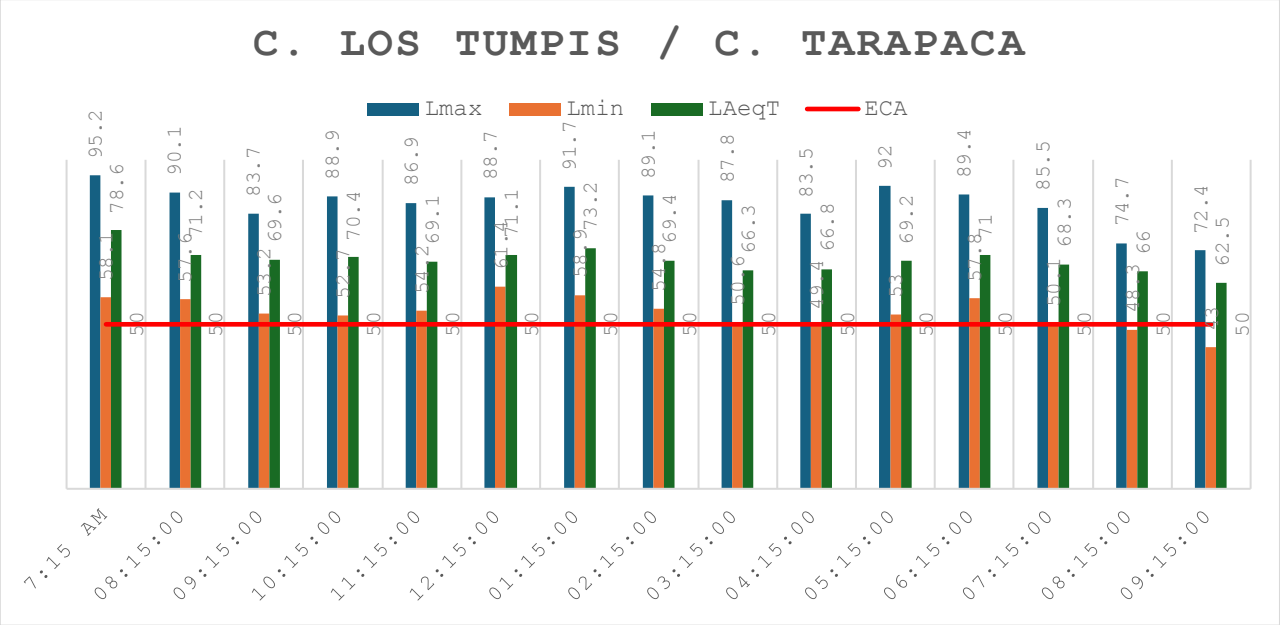
En la Tabla 7 se exponen los resultados de las mediciones de presión sonora diurna (desde las 07:15 AM hasta las 09:15 PM) realizadas en el cruce de la Calle Los Tumpis y la Calle Tarapacá, sector clasificado como Zona de Protección Especial cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permitido es de 50 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM).

Los registros demuestran una situación crítica: el 100% de los intervalos horarios superan de manera categórica el ECA establecido. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 62.5 dBA (a las 21:15 horas) y un valor máximo de 78.6 dBA (a las 07:15 horas). El promedio global del nivel equivalente en este punto alcanzó los 69.51 dBA, superando el límite normativo por un margen crítico promedio de +19.51 dBA.

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) registraron picos extremos de hasta 95.2 dBA (a las 07:15 horas) y 91.7 dBA (a la 01:15 PM). Esta excesiva presión sonora en un área de alta sensibilidad acústica evidencia un severo impacto negativo que vulnera el bienestar de la población protegida y afecta las condiciones del entorno urbano.

Figura 13

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá, Tumbes.



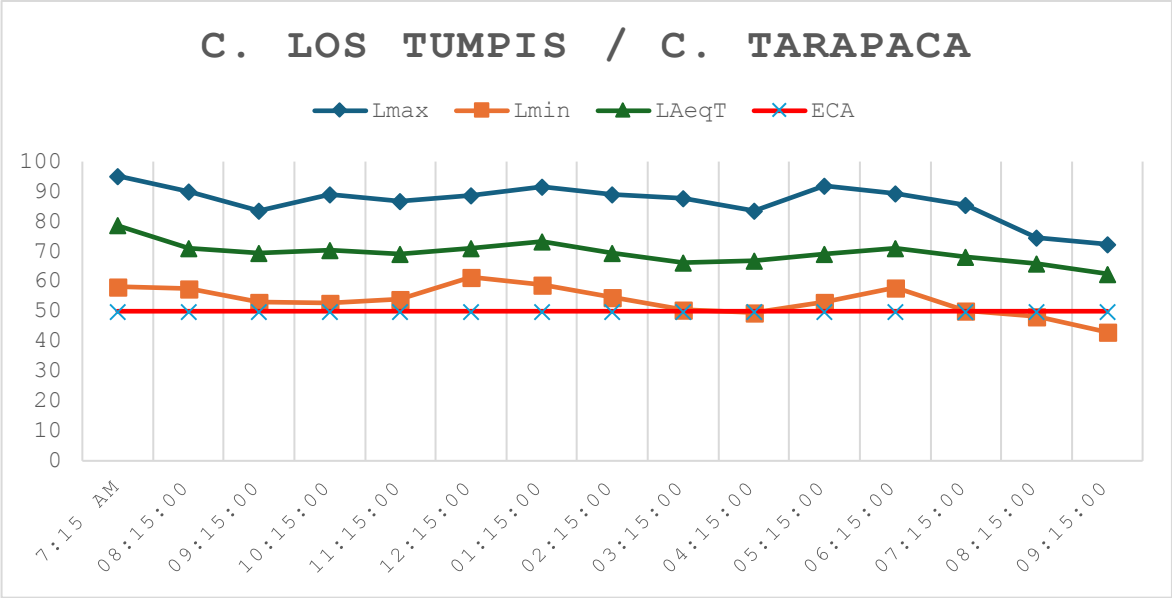
En la Figura 13 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora en el cruce de la Calle Los Tumpis y la Calle Tarapacá, contrastado con la línea horizontal roja del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 50 dBA.

A través de la representación visual se observa con total claridad que la totalidad de las barras verdes (LAeqT) se posicionan muy por encima de la línea roja del ECA a lo largo de toda la jornada. De igual forma, las barras azules de los picos máximos (Lmax) rebasan de manera continua los 80 dBA y 90 dBA, confirmando

que este sector de protección especial experimenta una contaminación acústica severa, ininterrumpida y altamente lesiva para la tranquilidad pública.

Figura 14

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en el cruce de C. Los Tumpis y C. Tarapacá, Tumbes.



En la Figura 14 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en el cruce de las calles Los Tumpis y Tarapacá. Mediante el trazado en los ejes cartesianos se detalla la siguiente dinámica:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene de manera permanente y elevada por encima de la línea roja del ECA (50 dBA), registrando su nivel más alto en la primera hora de la mañana (78.6 dBA) y manteniéndose sostenido durante todo el día por encima de los 65 dBA.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Muestra oscilaciones pronunciadas con picos agudos durante las horas de la mañana y mediodía, reflejando el tránsito vehicular intenso en esta zona sensible.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Aunque desciende ligeramente hacia la noche, se mantiene rozando o superando el límite

del ECA en gran parte del día, lo que indica que el ruido de fondo o residual del sector ya infringe por sí solo la normativa de protección especial.

Punto de monitoreo 08 (R8): Calle Arica (Zonificación: Comercial)

Tabla 8

Niveles de presión sonora diurna registrados en la Calle Arica (Zona de estudio).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:29	85.2	55.2	73.1	70	SUPERA	3.1
08:29	84.9	56.9	71.2	70	SUPERA	1.2
09:29	87.8	54.6	71.5	70	SUPERA	1.5
10:29	92.2	55.2	70.4	70	SUPERA	0.4
11:29	94.1	56.6	70.5	70	SUPERA	0.5
12:29	83.5	55	72.8	70	SUPERA	2.8
13:29	87.6	56.5	71.8	70	SUPERA	1.8
14:29	82.1	54.8	69.1	70	SUPERA	-0.9
15:29	79.9	53.7	67.3	70	SUPERA	-2.7
16:29	86.9	51.5	67.7	70	SUPERA	-2.3
17:29	97.6	55.3	72.9	70	SUPERA	2.9
18:29	89	55.6	70.4	70	SUPERA	0.4
19:29	92.2	52.1	68.2	70	SUPERA	-1.8
20:29	77.4	50.4	65.8	70	SUPERA	-4.2
21:29	68.6	50.1	63.2	70	SUPERA	-6.8
PROMEDIO	85.93	54.23	69.73	70	SUPERA	-0.27

En la Tabla 8 se exponen los resultados de las mediciones de presión sonora diurna (desde las 07:29 AM hasta las 09:29 PM) realizadas en el punto de la Calle Arica, sector evaluado frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA (D.S. N° 085-2003-PCM).

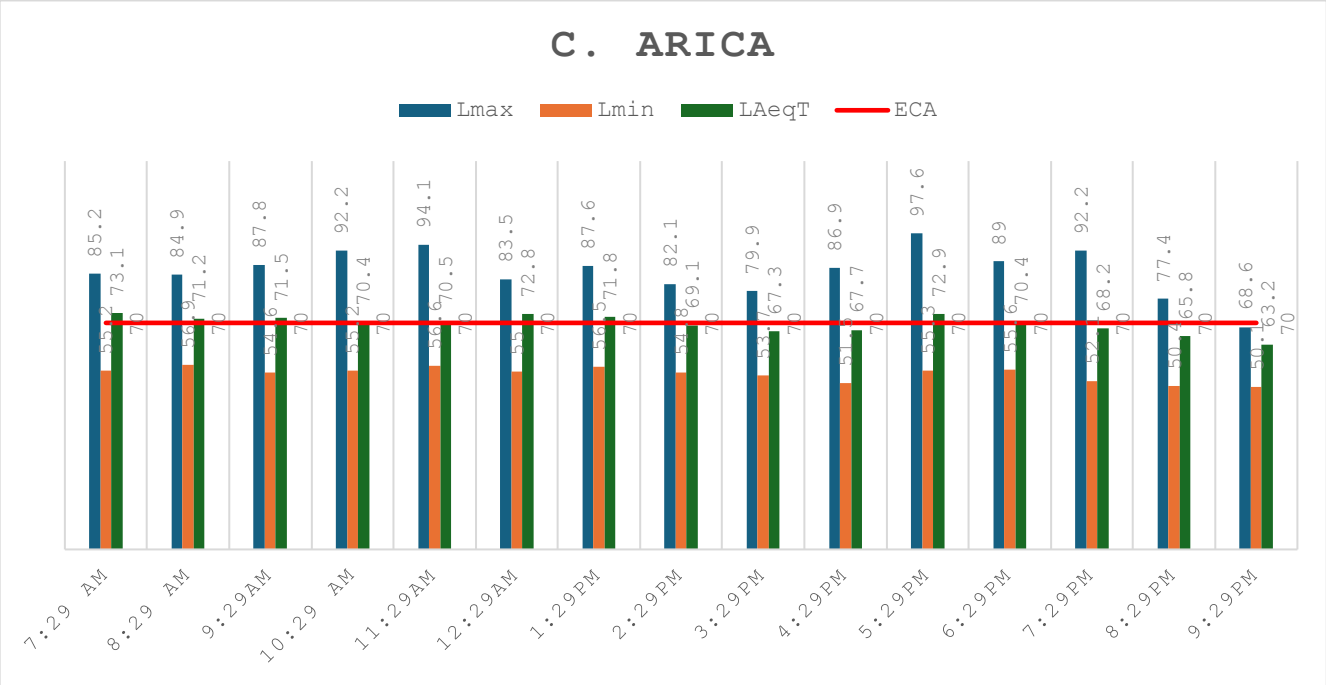
Los datos revelan que los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron entre un valor mínimo de 63.2 dBA (a las 21:29 horas) y un valor máximo de 73.1 dBA (a las 07:29 horas). Aunque el promedio global del nivel equivalente se situó en 69.73 dBA (quedando marginalmente por debajo del límite normativo global por -0.27 dBA), se observa que el ECA es superado de manera recurrente en 7 de los

intervalos horarios evaluados, principalmente durante la franja matutina y al atardecer.

Asimismo, los valores máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos considerables de hasta 97.6 Dba (a las 17:29 horas) y 94.1 dBA (a las 11:29 horas), lo que indica la presencia de eventos sonoros intensos y puntuales derivados del tránsito vehicular de la zona.

Figura 15

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Calle Arica, Tumbes.



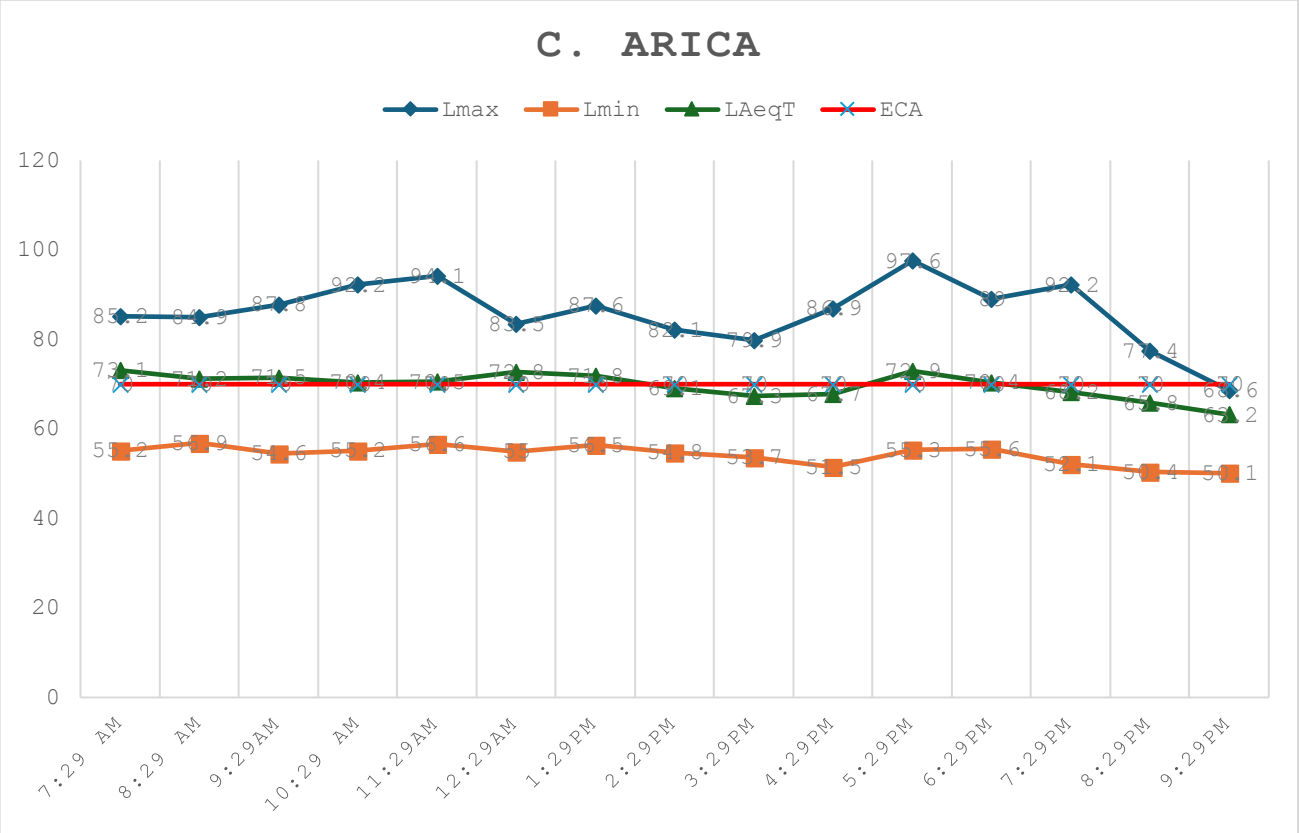
En la Figura 15 se ilustra mediante un diagrama de barras el comportamiento diurno de los niveles de presión sonora en la Calle Arica, contrastado con la línea horizontal roja del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 70 dBA.

A través de la representación visual se aprecia que las barras verdes del nivel equivalente (LAeqT) alternan su posición alrededor de la línea roja del ECA, superándola en las horas de mayor actividad matutina y vespertina, y descendiendo ligeramente hacia la noche. Por su parte, las barras azules de los picos máximos

(Lmax) muestran elevaciones constantes que superan los 80 dBA y rozan los 98 dBA, evidenciando una presión sonora variable pero persistente.

Figura 16

tendencia comparativa de los niveles de ruido en la ciudad de Tumbes frente a las normativas del ECA



En la Figura 16 se plasma la tendencia evolutiva de la presión sonora a lo largo del tiempo en la Calle Arica. Mediante el trazado en los ejes cartesianos se observa la siguiente dinámica:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Se mantiene oscilando muy cerca de la línea roja de referencia del ECA (70 dBA), cruzándola por encima en las horas punta de la mañana y al final de la tarde, lo que denota una correlación directa con los flujos de desplazamiento urbano.

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Muestra fluctuaciones con crestas pronunciadas, destacando el pico de 97.6 dBA registrado a las 17:29 horas, característico de aceleraciones vehiculares o tráfico pesado momentáneo.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se mantiene estable con un promedio de 54.23 dBA, representando el nivel de ruido residual o de fondo del entorno urbano de la calle evaluada.

Punto de monitoreo de ruido 09 (R9): Panamericana Norte / 24 de julio (Zona de Protección Especial)

Tabla 9

Niveles de presión sonora diurna registrados en Panamericana Norte / 24 de Julio (Zona de Protección Especial - Hospital).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:42	102.3	65.2	79.5	50	SUPERA	29.5
08:42	99.1	63.8	77.9	50	SUPERA	27.9
09:42	98	64	77.6	50	SUPERA	27.6
10:42	97.5	64.1	75.3	50	SUPERA	25.3
11:42	96.2	64.7	75.7	50	SUPERA	25.7
12:42	97.8	69.5	78.9	50	SUPERA	28.9
13:42	91.5	63.1	75.2	50	SUPERA	25.2
14:42	89.9	62.1	73.5	50	SUPERA	23.5
15:42	88.8	60.8	72.5	50	SUPERA	22.5
16:42	99.6	59.4	76.2	50	SUPERA	26.2
17:42	107.1	62.6	80.5	50	SUPERA	30.5
18:42	94.5	63.8	75.8	50	SUPERA	25.8
19:42	87.8	60.6	72.1	50	SUPERA	22.1
20:42	102.1	59.7	76.1	50	SUPERA	26.1
21:42	84.8	56.9	68.3	50	SUPERA	18.3
PROMEDIO	95.8	62.69	75.67	50	SUPERA	25.67

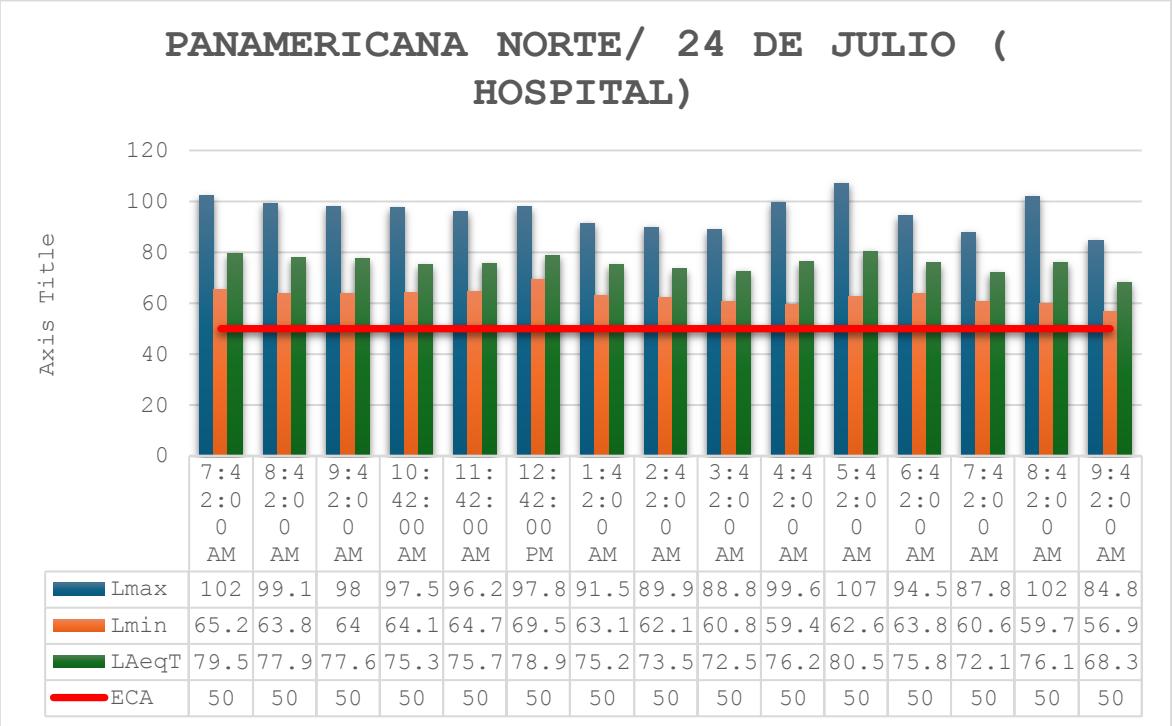
En la Tabla 9 se presentan los resultados del monitoreo de presión sonora diurna (de 07:42 AM a 09:42 PM) realizado en la intersección de la Panamericana Norte y la Av. 24 de Julio, sector clasificado como Zona de Protección Especial por la presencia del establecimiento de salud (Hospital). En esta categoría, la legislación nacional vigente (D.S. N° 085-2003-PCM) fija un límite máximo permisible de 50 dBA para salvaguardar el reposo y la recuperación de los pacientes.

Los datos obtenidos demuestran una condición ambiental de extrema gravedad: el 100% de los registros horarios superan ampliamente el ECA normativo. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron desde un mínimo de 68.3 dBA (a las 21:42 horas) hasta un máximo de 80.5 dBA (a las 17:42 horas). El promedio global de presión sonora equivalente se elevó a 75.67 dBA, excediendo el estándar permitido por un margen promedio crítico de +25.67 dBA.

Asimismo, los niveles máximos de ruido (Lmax) alcanzaron picos alarmantes de 107.1 dBA (a las 17:42 horas), 102.3 dBA (a las 07:42 horas) y 102.1 dBA (a las 20:42 horas). Estos hallazgos evidencian que el entorno hospitalario se encuentra expuesto de forma ininterrumpida a niveles de ruido nocivos provenientes del tránsito pesado y fluido vehicular de la Panamericana Norte.

Figura 17

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en Panamericana Norte / 24 de Julio (Hospital),



	7:42:00 AM	8:42:00 AM	9:42:00 AM	10:42:00 AM	11:42:00 AM	12:42:00 PM	1:42:00 AM	2:42:00 AM	3:42:00 AM	4:42:00 AM	5:42:00 AM	6:42:00 AM	7:42:00 AM	8:42:00 AM	9:42:00 AM
Lmax	102	99.1	98	97.5	96.2	97.8	91.5	89.9	88.8	99.6	107	94.5	87.8	102	84.8
Lmin	65.2	63.8	64	64.1	64.7	69.5	63.1	62.1	60.8	59.4	62.6	63.8	60.6	59.7	56.9
LAeqT	79.5	77.9	77.6	75.3	75.7	78.9	75.2	73.5	72.5	76.2	80.5	75.8	72.1	76.1	68.3
ECA	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

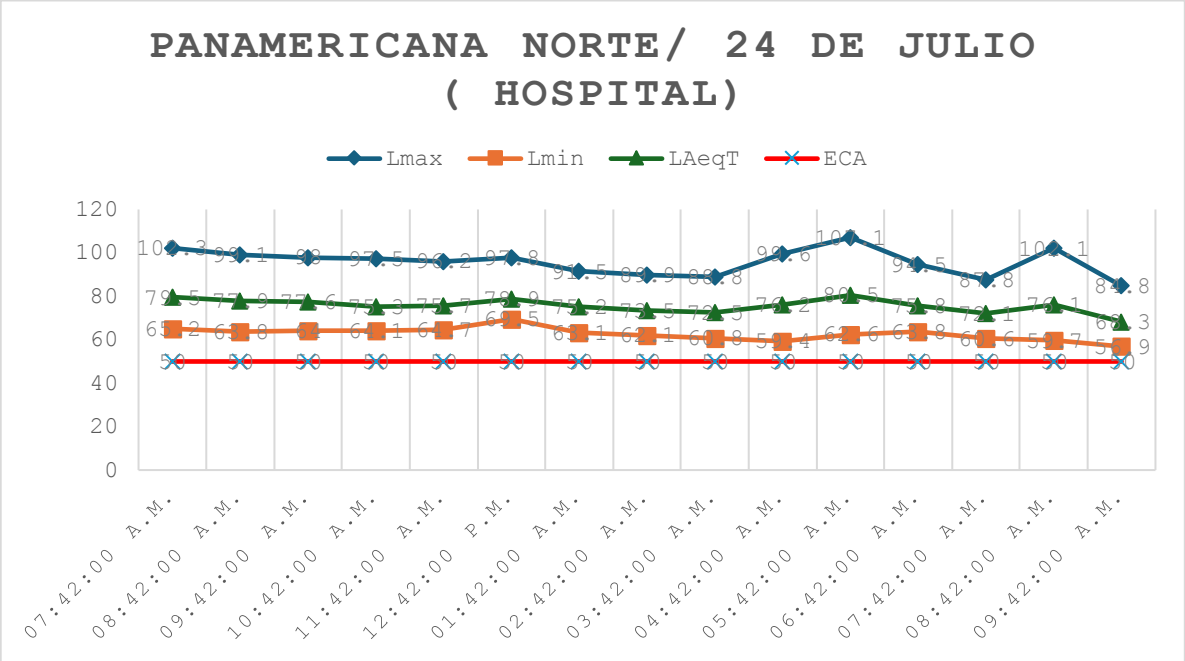
En la Figura 17, se ilustra mediante un diagrama de barras la evaluación diurna de la presión sonora en la Panamericana Norte / Av. 24 de Julio (Hospital). En los ejes cartesianos se representan las franjas horarias frente a los valores en decibeles

(Dba), contrastándolos con la línea roja horizontal del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fijada en 50 dBA.

La representación gráfica evidencia con notable claridad que la totalidad de las barras verdes (LAeqT) se sitúan desmedidamente por encima de la línea roja del ECA durante toda la jornada diurna. Incluso las barras anaranjadas, que corresponden a los niveles mínimos de ruido (Lmin), rebasan la línea del estándar en cada una de las horas. Por su parte, las barras azules de los picos máximos (Lmax) sobrepasan constantemente los 90 dBA y 100 dBA, reflejando una agresión acústica severa y continua sobre la zona hospitalaria

Figura 18

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en Panamericana Norte / 24 de Julio (Hospital), Tumbes.



En la Figura 18 se plasma la tendencia evolutiva de los niveles de ruido a lo largo del tiempo en el punto hospitalario. Mediante las líneas trazadas en los ejes cartesianos se observa la dinámica acústica del área:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Mantiene una trayectoria permanentemente elevada y paralela por encima del ECA (50 dBA), registrando crestas en las horas de mayor flujo vehicular de la mañana (79.5 dBA) y al caer la tarde (80.5 dBA).

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul): Exhibe fluctuaciones con picos extremos superiores a 100 dBA, propios del sonido de cláxones, sirenas, frenados y aceleraciones bruscas de vehículos pesados en la carretera panamericana. Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se sitúa de manera ininterrumpida por encima de la línea del ECA (oscilando entre 56.9 dBA y 69.5 dBA). Esto confirma que el ruido de fondo o residual de la zona es, por sí solo, superior al estándar permitido por la ley, imposibilitando cualquier periodo de calma acústica en las instalaciones del hospital.

Punto de monitoreo R_{10}: Calle el Ejercito (Zonificación: Residencial)

Tabla 10

Niveles de presión sonora diurna registrados en la Calle El Ejército (Zona Residencial).

Hora	Lmax	Lmin	LAeqT	ECA	ESTADO	DIFERENCIA
07:46	90.8	53.5	70.1	60	Supera	10.1
08:46	92.9	53.6	72.2	60	Supera	12.2
09:46	84.9	49.1	68.5	60	Supera	8.5
10:46	86.1	49	69.9	60	Supera	9.9
11:46	102.7	51.2	76.4	60	Supera	16.4
12:46	90.8	58.2	73.9	60	Supera	13.9
13:46	88.6	52.3	71.4	60	Supera	11.4
14:46	90.1	51	69	60	Supera	9
15:46	90.8	49.8	69.3	60	Supera	9.3
16:46	98.7	53.7	71.3	60	Supera	11.3
17:46	86	53.5	68.6	60	Supera	8.6
18:46	88.4	51.2	69.6	60	Supera	9.6
19:46	85	44.3	67.9	60	Supera	7.9
20:46	86.2	50.8	69.3	60	Supera	9.3
21:46	85.3	50.3	68.2	60	Supera	8.2
PROMEDIO	89.8	51.4	70.4	60	Supera	10.3733333

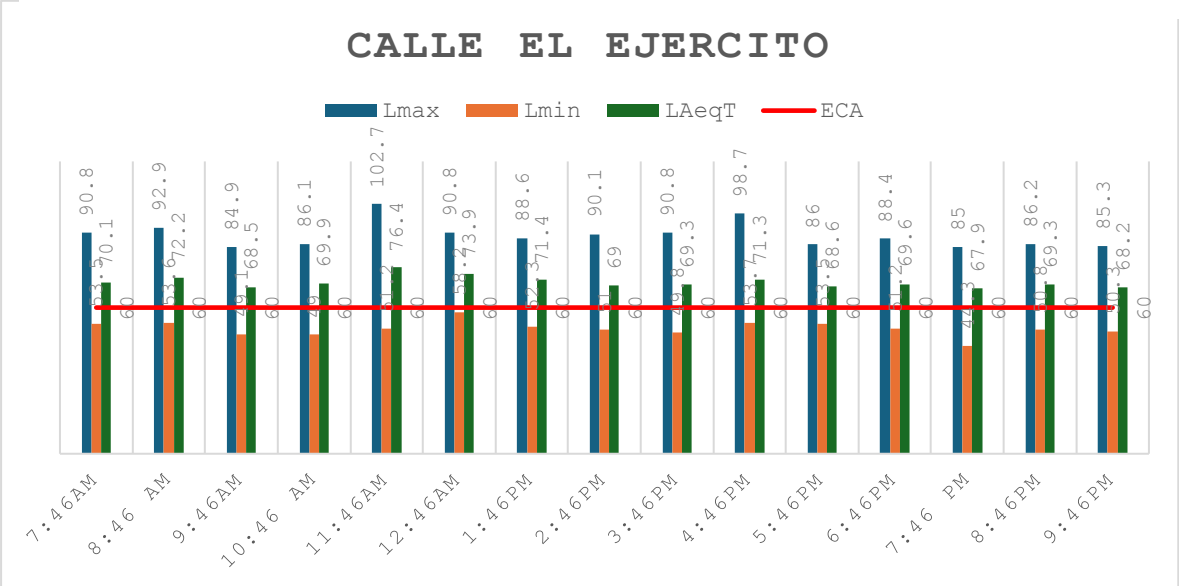
En la Tabla 10 se exponen los resultados del monitoreo de presión sonora diurna (desde las 07:46 AM hasta las 09:46 PM) realizado en la Calle El Ejército, sector zonificado como Zona Residencial cuyo Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permitido es de 60 dBA en horario diurno, conforme al D.S. N° 085-2003-PCM.

Los datos obtenidos revelan una transgresión constante de la normativa ambiental: el 100% de las mediciones horarias superan el ECA residencial establecido. Los niveles equivalentes continuos (LAeqT) fluctuaron desde un mínimo de 67.9 dBA (a las 19:46 horas) hasta un máximo de 76.4 dBA (a las 11:46 horas). El promedio global de presión sonora equivalente alcanzó los 70.4 dBA, rebasando el estándar legal por un margen promedio significativo de +10.37 dBA.

Asimismo, los niveles máximos de ruido (Lmax) registraron picos críticos de hasta 102.7 dBA (a las 11:46 horas) y 98.7 dBA (a las 16:46 horas). Estos resultados confirman que la tranquilidad del vecindario residencial se ve alterada de forma continua por la circulación vehicular y el ruido ambiental del sector.

Figura 19

Comparación gráfica por barras de los niveles máximos, mínimos y equivalentes de presión sonora (Lmax, Lmin, LAeqT) frente al ECA en la Calle El Ejército, Tumbes.



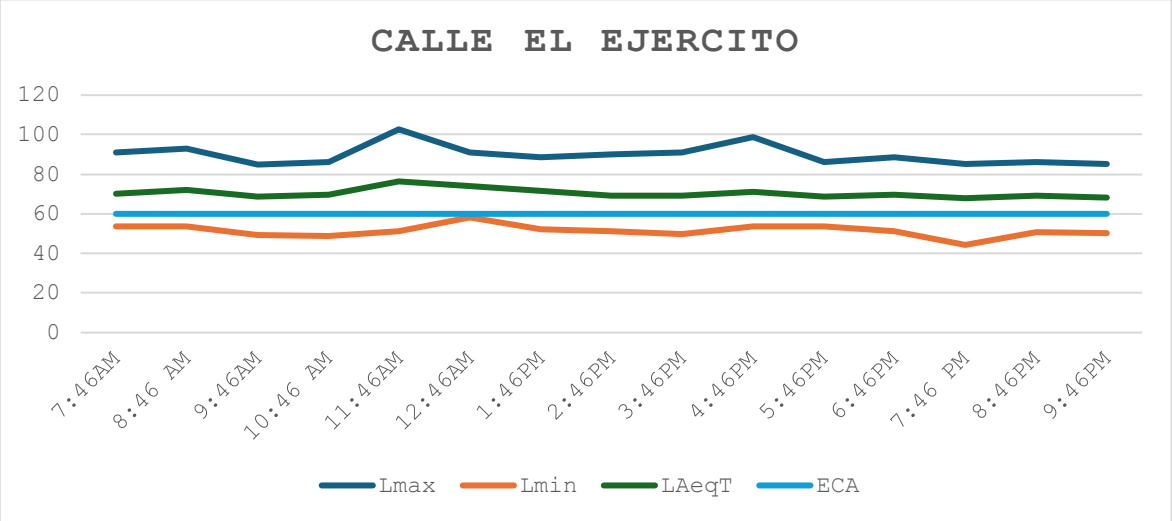
En la Figura 19 se ilustra mediante un diagrama de barras la evaluación diurna de la presión sonora en la Calle El Ejército. En los ejes cartesianos se representan las

franjas horarias frente a los valores en decibeles dBA, contrastándolos con la línea roja horizontal del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 60 dBA.

La representación visual muestra con claridad que todas las barras verdes (LAeqT) sobrepasan la línea roja del ECA en cada hora del día. Del mismo modo, las barras azules de los picos máximos (Lmax) se mantienen constantemente por encima de los 85 dBA y 90 dBA, evidenciando que la exposición sonora que soporta la población residente es elevada e ininterrumpida.

Figura 20

Tendencia temporal del comportamiento de los niveles de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) frente al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Calle El Ejército, Tumbes



En la Figura 20 se muestra la tendencia evolutiva de los niveles de ruido a lo largo de la jornada en la Calle El Ejército. Mediante el trazado de las líneas en los ejes cartesianos se observa la dinámica acústica del sector residencial:

Comportamiento del Nivel Equivalente (LAeqT - línea verde): Discurre de forma sostenida por encima de la línea azul horizontal de referencia del ECA (60 dBA), registrando su cresta más pronunciada a las 11:46 AM (76.4 dBA).

Comportamiento de los Valores Máximos (Lmax - línea azul superior): Exhibe oscilaciones constantes con un pico elevado que supera los 100 dBA hacia el mediodía, derivado del paso de vehículos y uso de bocinas.

Comportamiento de los Valores Mínimos (Lmin - línea anaranjada): Se mantiene en la franja de los 44.3 dBA a 58.2 dBA, manteniéndose por debajo del ECA y representando el ruido de fondo o residual del sector.

4.1.2. Niveles promedios de presión sonora de los puntos de monitoreo de la ciudad de Tumbes.

Tabla 11

Niveles promedio de presión sonora (Lmax, Lmin y LAeqT) registrados en los diez puntos de monitoreo en la ciudad de Tumbes y su comparación con los ECA.

PROMEDIO DE TODOS LOS PUNTOS EVALUADOS										
DESCRIPCION	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Lmax	94.54	93.05	92.42	84.99	89.06	85.05	86.64	85.93	95.80	89.82
Lmin	65.55	59.11	61.50	53.45	55.27	57.12	53.54	54.23	62.69	51.43
LAeqT	77.36	74.41	74.10	67.04	71.51	67.32	69.51	69.73	75.67	70.37
ECA- Protección Especial	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
ECA- Residencial	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
ECA-Comercial	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00

En la Tabla 11 se consolida la síntesis comparativa de los valores promedio de presión sonora obtenidos durante el monitoreo ambiental en los 10 puntos evaluados en el casco urbano de la ciudad de Tumbes.

Identificación del punto más crítico: El valor promedio equivalente (LAeqT) más alto de toda la investigación se registró en el Punto 1 (Av. Mariscal Castilla) con 77.36 dBA, seguido muy de cerca por el Punto 9 (Panamericana Norte - Hospital) con 75.67 dBA y el Punto 2 (Av. Francisco Navarrete) con 74.41 dBA.

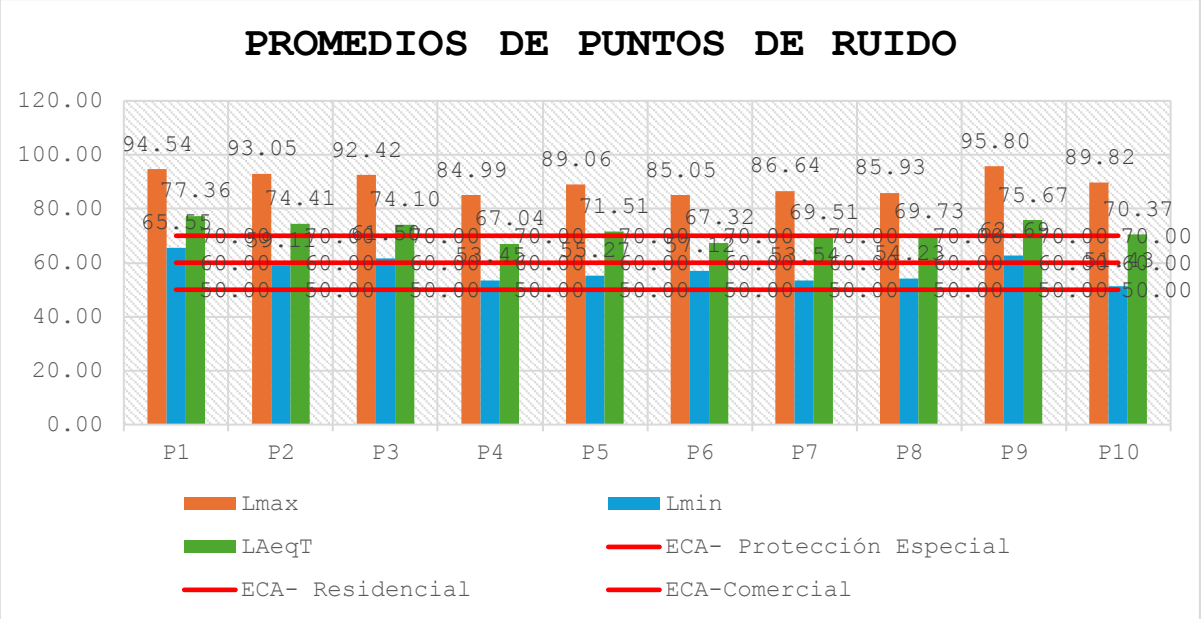
Niveles máximos extremos (Lmax): El mayor pico de presión sonora máxima promedio lo obtuvo el Punto 9 (Hospital) con 95.80 dBA, seguido del Punto 1 con

94.54 dBA, evidenciando agresiones sonoras severas asociadas al tránsito vehicular en arterias principales.

Evaluación de la gravedad del nivel de ruido: Al comparar los promedios equivalentes (LAeqT) con los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N° 085-2003-PCM), se evidencia que el 100% de los puntos evaluados superan el ECA de Protección Especial (50 dBA) y el ECA Residencial (60 dBA). Asimismo, 6 de los 10 puntos (P2, P3, P5, P9 y P10) sobrepasan incluso el ECA Comercial (70dBA), confirmando que la contaminación acústica en Tumbes es generalizada y elevada.

Figura 21

Comparación gráfica por barras de los niveles promedio equivalentes, máximos y mínimos (LAeqT, Lmax, Lmin) de los 10 puntos de monitoreo frente a las tres categorías del ECA.

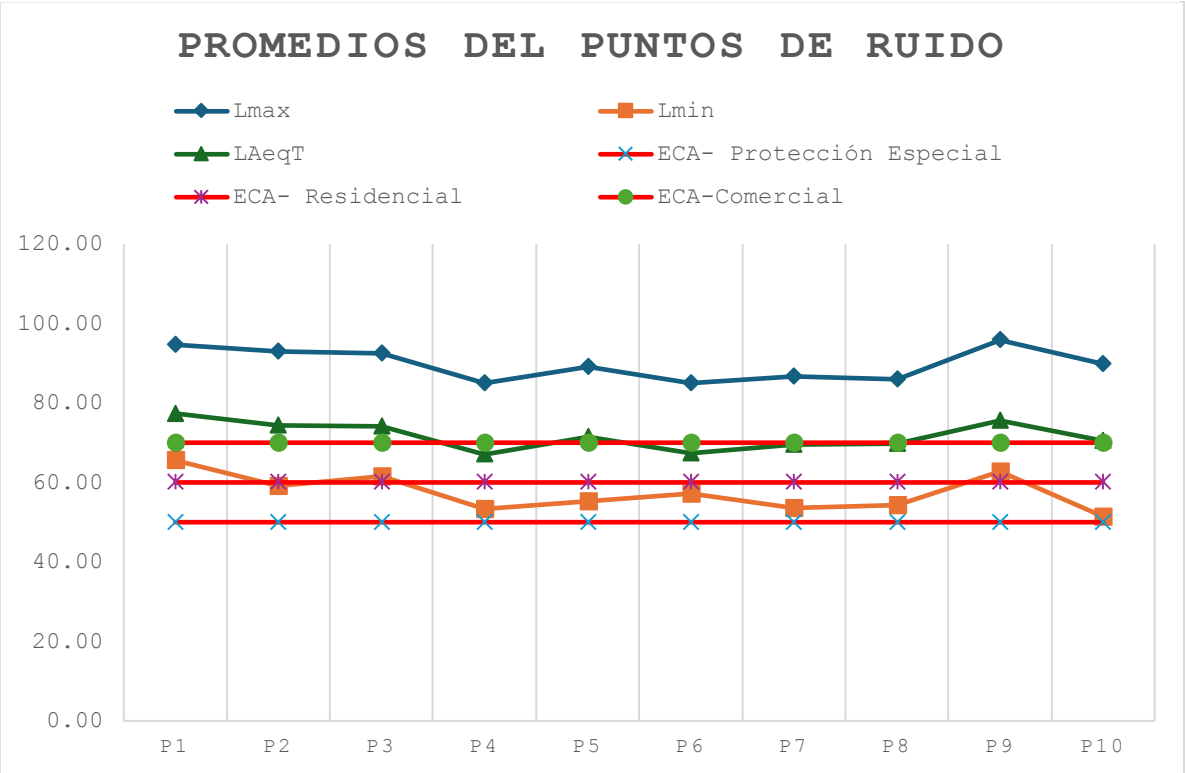


En la Figura 21 se muestra el diagrama comparativo de barras de todos los puntos de monitoreo frente a las tres líneas de referencia de los Estándares de Calidad Ambiental (líneas rojas horizontales de 50 dBA, 60 dBA y 70 dBA).

La representación gráfica permite constatar visualmente la magnitud del problema: las barras verdes (LAeqT) y las barras naranjas (Lmax) sobrepasan holgadamente las líneas de protección especial y residencial en todos los sectores. El Punto 1 y el Punto 9 destacan visualmente como las cúspides de mayor impacto sonoro la ciudad.

Figura 22

Perfil y tendencia comparativa de los niveles promedio de ruido en la ciudad de Tumbes frente a las normativas del ECA.



En la Figura 22 se ilustra el perfil longitudinal del comportamiento del ruido a través de los 10 puntos de muestreo. Se observa que la trayectoria del nivel equivalente (LAeqT - línea verde) discurre casi en su totalidad por encima de la línea del ECA Comercial 70 dBA y muy distanciada del ECA de Protección Especial (línea azul ,50 dBA). Esto confirma que en el espacio urbano de Tumbes no existen diferencias sustanciales entre zonas residenciales, comerciales o sensibles, estando toda la población expuesta a niveles de presión sonora excesivos.

4.1.3. Flujo vehicular evaluado en la ciudad de Tumbes

Tabla 12

Conteo de flujo vehicular en el casco urbano de Tumbes

Punto	Ubicación / Intersección	LAeqT (dBA)	Auto	Colectivo	Motocicletas / Mototaxis	Camionetas	Micro / Combi/ vans	Bus / Camión	Total Vehículos
P1 (R1)	Av. Mariscal Castilla / Alfonso Ugarte N° 411	77.36	1320	340	1210	360	310	35	3575
P2 (R2)	Francisco Navarrete 401	74.41	980	250	950	280	240	14	2714
P3 (R3)	Av. Panamericana N. / La Marina	74.1	910	275	640	395	285	95	2600
P4 (R4)	Francisco Navarrete 167	67.04	390	90	380	110	65	2	1037
P5 (R5)	Av. Universitaria 531	71.51	760	195	680	235	175	18	2063
P6 (R6)	C. Bolívar / C. Miguel Grau	67.32	410	95	415	115	60	2	1097
P7 (R7)	C. Los Tumpis / C. Tarapacá	69.51	580	135	560	170	115	5	1565

P8 (R8)	C. Arica	69.73	605	145	575	175	120	6	1626
P9 (R9)	Panamericana Norte / 24 de Julio	75.67	1140	330	790	430	340	115	3145
P10 (R10)	C. El Ejército	70.37	650	160	615	195	135	12	1767

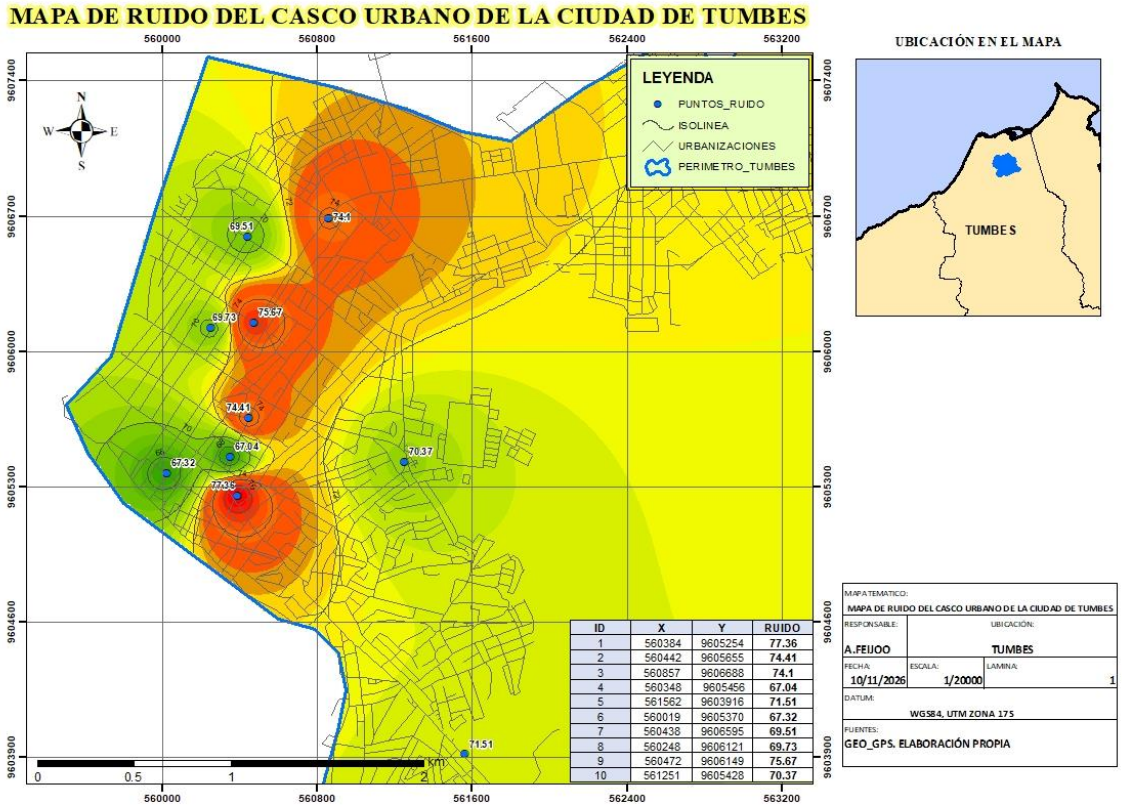
El análisis de la distribución espacial del ruido ambiental en la ciudad de Tumbes evidencia una marcada correspondencia entre los niveles sonoros equivalentes (LAeqT) y la jerarquía funcional de las vías evaluadas. En primer lugar, los ejes de mayor envergadura como la Panamericana Norte / 24 de Julio (R9) y la Panamericana Norte / La Marina (R3) concentran un flujo vehicular pesado y dinámico caracterizado por el tránsito constante de buses interprovinciales, camiones de carga pesada, camionetas y colectivos, reduciendo proporcionalmente la presencia de mototaxis. Esta dinámica explica que el punto R9 alcance uno de los niveles equivalentes más altos de la red con 75.67dBA y el pico máximo absoluto (Lmax = 95.80dBA). Por otro lado, el núcleo urbano y comercial, representado por la intersección de la Av. Mariscal Castilla con Alfonso Ugarte (R1) y la cuadra 401 de la calle Francisco Navarrete (R2), registra niveles de 77.36 Dba y 74.41dBA respectivamente. En estas zonas, la contaminación acústica está fuertemente influenciada por la congestión comercial y la alta concentración de vehículos menores, como mototaxis y motocicletas, además de automóviles y combis cuyas aceleraciones continuas y el uso frecuente de bocinas elevan la presión sonora.

En contraste, los tramos de carácter residencial e institucional, como el sector de la calle Francisco Navarrete 167 (R4), muestran una disminución notoria del nivel equivalente hasta los 67.04 dBA, debido a la ausencia de tráfico pesado y a un menor flujo de transporte público masivo.

4.1.4. Mapas de Ruido

Figura 23

Mapa de Ruido del casco Urbano de la ciudad de Tumbes



Para el proceso de elaboración de mapas de ruido, se tuvo que transferir los datos obtenidos del programa Microsoft Excel en este caso los promedios obtenidos en dB de los 10 puntos de monitoreo. al programa ArcGIS 10.6

Pasos que se realizaron en el programa ArcGIS para la elaboración de mapas de ruido.

- Se ha transferido la base de datos del Microsoft Excel (dB y UTM)
- Se importó datos de hoja Excel a ArcGIS, para ubicar las coordenadas en UTM
- Se importó y georreferenciar el mapa de ubicaciones y calles desde Google Earth pro.

- Se ingresó a la pestaña toolboxes > Arctoolbox> Interpolar donde se realizará el proceso de interpolación (IDW) para referencia los valores en dB, según un color establecidos (clasificación de colores)
- Se utilizó 9 rangos para determinar el mapa de ruido
- Finalmente, se insertó la leyenda, rotulado, nort arrow, título y escalado, plot A4 e importar Pdf.

4.1.5. Nivel de exposición de las personas al ruido de una jornada laboral de 10 horas

Tabla 13 Nivel de exposición sonora diario (LEx,8h)) considerando una jornada laboral/efectiva de en los diez puntos de monitoreo 10 horas diarias

CODIGO	DESCRIPCION	LAeqT	Te(h)	To(h)	$10\log_{10}$(Te/To)	$LEX,_{10}h$
R1	Av. Mariscal castilla	77.36	10	8	0.97	78.33
R2	Franscisco Navarrete 401	74.41	10	8	0.97	75.38
R3	AV. Panamericana norte / la marina	74.1	10	8	0.97	75.07
R4	Francisco Navarrete 167	67.04	10	8	0.97	68.01
R5	Av. Universitaria	71.51	10	8	0.97	72.48
R6	C. Bolívar/C. Miguel Grau	67.32	10	8	0.97	68.29
R7	C. Los Tumpis / C. Tarapacá	69.51	10	8	0.97	70.48
R8	Calle Arica	69.73	10	8	0.97	70.70
R9	Panamericana Norte / 24 de Julio	75.67	10	8	0.97	76.64
R_{10}	Calle El Ejército	70.4	10	8	0.97	71.37

Para el cálculo de la exposición sonora diaria (LEX,8h), se consideró un escenario operativo con una jornada efectiva ampliada de 10 horas diarias (Te = $_{10}$ h) frente a la referencia estándar de 8 horas (T0 = 8 h). Bajo este parámetro, se aplica un logaritmo sobre los niveles equivalentes registrados en campo.

Como se detalla en la Tabla 13, los niveles de exposición ajustados varían entre un mínimo de 68.01 dBA en la estación R4 y un máximo crítico de 78.33 dBA en la

estación R1. Esta prolongación de la jornada laboral o comercial evidencia un incremento proporcional en la carga acústica acumulada, reforzando la vulnerabilidad de la población ante los elevados niveles de presión sonora predominantes en las vías de mayor congestión vehicular en Tumbes.

4.2. Evaluación de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Punto de monitoreo 01 (P1): Calle Andrés Araujo Moran.

Tabla 14

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Andrés Araujo Morán.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	7:16 - 8:15	27.57	354.40	325.84	360.30	28.56	37.81
2	8:16 - 9:15	29.06	894.23	841.76	912.89	52.46	34.89
3	9:16-$_{10}$:15	30.29	965.02	907.84	990.06	57.79	34.82
4	$_{10}$:16-11:15	31.27	720.22	668.43	741.08	51.80	34.87
5	11:16-12:15	31.73	782.95	730.97	807.12	51.98	34.78
6	12:16-13:15	32.50	1577.29	1466.54	1631.47	110.76	34.76
7	13:16-14:15	32.30	1315.58	1233.55	1361.10	82.03	34.62
8	14:16-15:15	31.74	819.38	767.85	846.60	51.53	34.80
9	15:16-16:15	31.29	594.77	552.64	613.82	42.01	34.81
$_{10}$	16:16-17:15	29.84	610.31	570.24	626.91	40.07	34.88
11	17:16-18:15	29.05	716.19	672.03	733.47	44.16	34.88
12	18:16-19:15	28.46	438.57	407.62	448.11	30.95	34.93
13	19:16-20:15	28.50	290.03	264.63	296.22	25.40	34.94
14	20:16-21:15	28.40	142.17	124.06	145.06	18.11	34.93
15	21:16-22:15	28.05	98.38	83.27	100.22	15.11	34.95
16	22:16-23:15	28.04	215.75	192.06	219.74	23.69	34.93
17	23:16-00:15	28.38	163.74	144.07	166.95	19.64	34.91
18	00:16-1:15	28.37	79.08	63.59	80.68	15.50	34.92
19	1:16-2:15	28.29	74.26	57.91	75.79	16.35	34.90
20	2:16-3:15	27.91	64.45	46.78	65.72	17.67	34.92

21	3:16-4:15	27.75	71.37	54.10	72.75	17.27	34.94
22	4:16-5:15	27.68	82.96	65.22	84.53	17.75	34.93
23	5:16-6:15	27.45	98.06	81.37	99.81	16.69	34.94
24	6:16-7:15	27.27	183.69	160.58	186.75	23.11	34.97

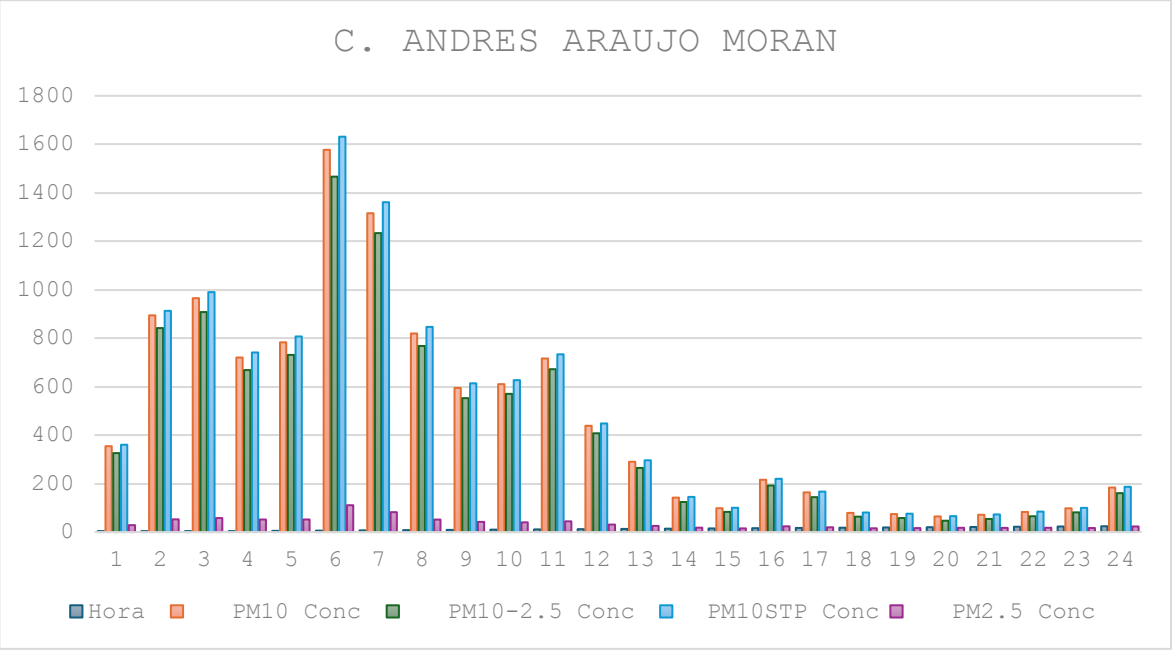
En la Tabla 14 se presentan los registros horarios continuos durante un periodo de 24 horas (desde las 07:16 AM hasta las 07:15 AM del día siguiente) correspondientes a la Calle Andrés Araujo Morán (Punto 01). Se evaluaron las concentraciones de material particulado PM_{10} (en condiciones ambientales y estándar STP), la fracción gruesa ($PM_{10-2.5}$) y el material particulado fino ($PM_{2.5}$), en forma conjunta con la temperatura ambiental y la humedad relativa de la muestra.

Comportamiento de PM_{10}: Las concentraciones horarias de PM_{10} mostraron variaciones extremas a lo largo del ciclo diurno y nocturno. Durante la jornada diurna (de 08:16 AM a 15:15 PM) se alcanzaron los valores más elevados, destacando el punto crítico en la Hora 6 (12:16 PM a 13:15 PM) con una concentración máxima de 1577.29 µg/m3 (en condiciones ambientales) y 1631.47 µg/m3 (en condiciones STP). Por el contrario, durante la madrugada (Horas 18 a 21) las concentraciones descendieron a valores mínimos oscilando entre 64.45 µg/m3 y 79.08 µg/m3. El promedio ponderado de 24 horas superó ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA Aire - D.S. N° 003-2017-MINAM) establecido en 100 µg/m3 para 24 horas.

Comportamiento de $PM_{2.5}$: De manera análoga, el material particulado fino registraciones picos significativos durante las horas de mayor actividad comercial y tráfico vehicular, alcanzando su nivel máximo en la Hora 6 con 110.76 $\mu g/m^3$. Este valor sobrepasa drásticamente el límite normativo de 24 horas fijado por la legislación nacional 50 µg/m3. Durante el periodo nocturno y de madrugada, los niveles se estabilizaron por debajo de los 25 µg/m3.

Figura 24

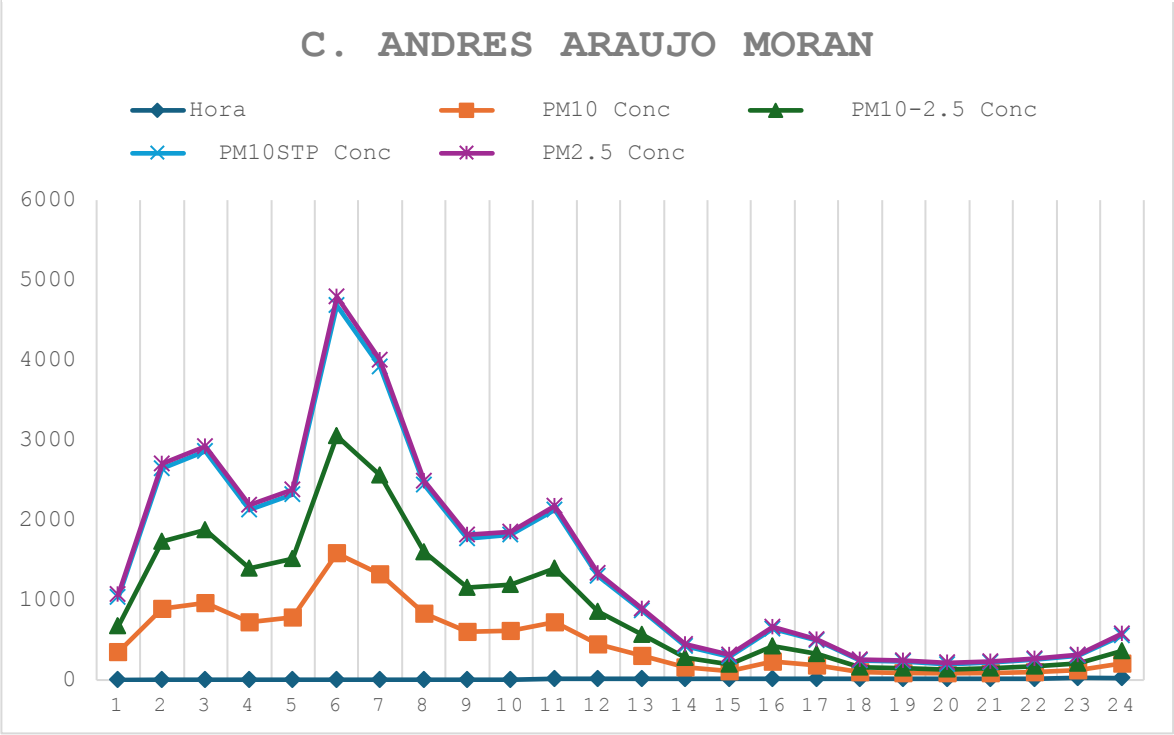
Distribución horaria por barras de las concentraciones de PM_{10},$PM_{10-2.5}$, $PM_{10}STP$ y $PM_{2.5}$ en la Calle Andrés Araujo Morán.



En la Figura 24 se ilustra la distribución por barras de las distintas fracciones de partículas medidas en la Calle Andrés Araujo Morán durante las 24 horas de monitoreo. La representación gráfica evidencia que las partículas de mayor masa (PM_{10} y $PM_{10}STP$, representadas por las barras anaranjadas, verdes y azules) dominan ampliamente la composición del material particulado en el sector. Se aprecia con claridad una cúspide pronunciada en el mediodía (Horas 6 y 7), período que coincide con la mayor intensidad de tráfico vehicular y la suspensión de polvo de las vías no pavimentadas o en mal estado.

Figura 25

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la Calle Andrés Araujo Morán.



En la Figura 25 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de partículas a lo largo del ciclo continuo de 24 horas. Mediante el trazado de las líneas en los ejes cartesianos se identifican tres fases bien definidas:

Fase de ascenso matutino (Horas 1 a 5): Elevación progresiva de los niveles de material particulado impulsada por el inicio de las actividades comerciales y el flujo vehicular matutino.

Pico crítico del mediodía (Horas 6 a 8): Máxima acumulación de contaminación atmosférica por material particulado, favorecida por la temperatura ambiental más elevada (32.50 °C) y la turbulencia generada por el paso frecuente de vehículos.

Fase de atenuación nocturna (Horas 13 a 24): Descenso sostenido de las concentraciones debido al cese progresivo del tránsito y las actividades antropogénicas, alcanzando niveles de estabilización durante la madrugada.

Evaluación del material particulado punto 02 (P2) en Calle Francisco Navarrete

Tabla 15

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Francisco Navarrete.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	7:51-8:50	28.0581733	87.63	66.89	89.33	20.73	35.05
2	8:51-9:50	28.80	78.54	63.17	80.24	15.38	34.85
3	9.51-10:50	30.11	84.42	64.95	86.61	19.46	34.43
4	10:5111:50	30.61	82.04	65.19	84.32	16.85	34.71
5	11:5112:50	31.05	68.24	53.22	70.30	15.02	34.69
6	12:51-1:50	31.46	71.98	55.60	74.30	16.38	34.70
7	1:51-2:50	30.13	58.95	45.94	60.63	13.01	34.88
8	2:51-3:50	29.41	58.58	42.83	60.14	15.75	34.88
9	3:51-4:50	28.95	62.21	42.45	63.89	19.82	34.91
10	4:51-5:50	28.21	68.38	47.58	69.94	20.81	34.93
11	5:51-6:50	27.86	65.80	45.81	67.19	19.96	34.98
12	6:51-7:50	27.27	57.59	41.17	58.66	16.42	35.02
13	7:51-8:50	26.65	48.75	34.23	49.53	14.53	35.01
14	8:51-9:50	26.95	62.24	45.24	63.27	16.99	34.98
15	9:51-10:50	28.32	88.00	69.44	89.88	18.56	34.97
16	10:5111:50	27.52	58.26	38.51	59.33	19.75	34.97
17	11:5112:50	27.67	44.36	29.91	45.21	14.45	34.95
18	12:51-1:50	27.86	36.28	21.60	37.02	14.68	34.96
19	1:51-2:50	27.20	40.38	25.92	41.13	14.47	34.79
20	2:51-3:50	26.79	65.23	49.90	66.38	15.33	34.86
21	3:51-4:50	27.13	62.35	46.31	63.54	16.04	34.87
23	5:51-6:50	25.97	119.00	94.67	120.74	24.33	37.05
24	6:51-7:50	25.91	143.80	121.10	145.84	22.70	34.88

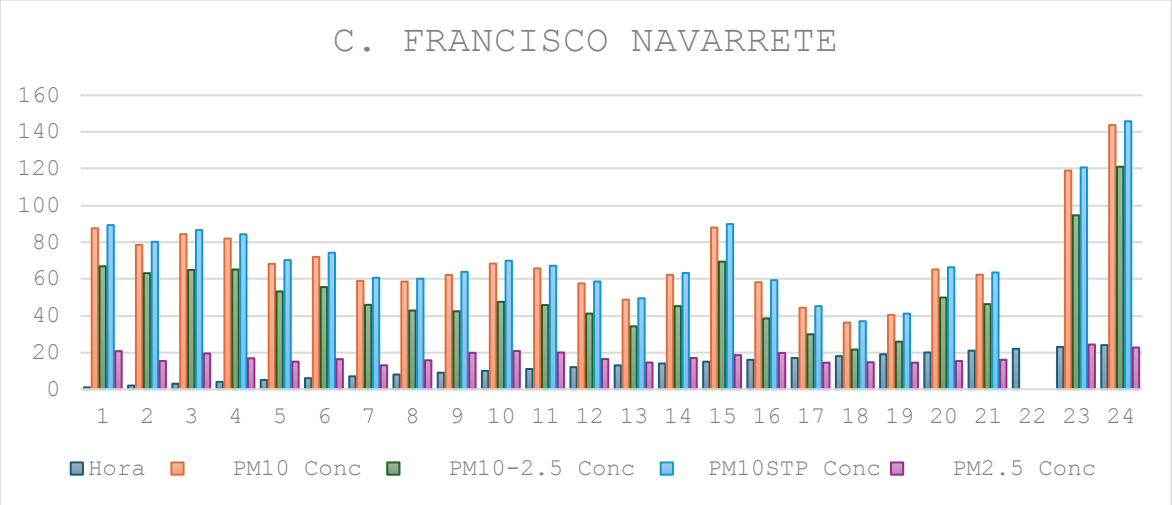
En la Tabla 15 se exponen los registros de 24 horas de monitoreo atmosférico en la Calle Francisco Navarrete (Punto 02), evaluando las fracciones de material particulado en relación con la temperatura ambiente y la humedad relativa.

A diferencia del patrón diurno observado en otros sectores, este punto exhibe una dinámica particular: si bien durante el día se mantienen concentraciones moderadas (con un promedio estable de PM_{10} rondando los 60 a 80 µg/m^3.), se registra un incremento anómalo y marcado al cierre del ciclo de medición, específicamente en las Horas 23 y 24 (correspondientes a la madrugada), donde el PM_{10} se eleva hasta los 119.00 µg/m^3. y 143. µg/m^3, superando el ECA de 24 horas (100 µg/m^3.). Por su parte, el material particulado fino ($PM_{2.5}$) se mantuvo mayormente por debajo de los 25 µg/m^3 en casi todo el ciclo, con un leve repunte a 24.33 µg/m^3. al final de la madrugada. Este comportamiento nocturno tardío sugiere la influencia de factores de arrastre eólicos locales o actividades específicas de limpieza o transporte urbano en la zona comercial durante la madrugada.

Asimismo, cabe señalar que durante el ciclo de monitoreo se presentó un vacío de datos en la Hora 22 (evidenciado en la Tabla 13 y los gráficos), situación atribuida a una interrupción imprevista en el suministro eléctrico del equipo o a un ciclo de autolimpieza y reinicio del sistema de muestreo en campo. No obstante, esta incidencia puntual no afectó la integridad del análisis general, dado que se logró capturar la tendencia de las 23 horas restantes del ciclo continuo de evaluación.

Figura 26

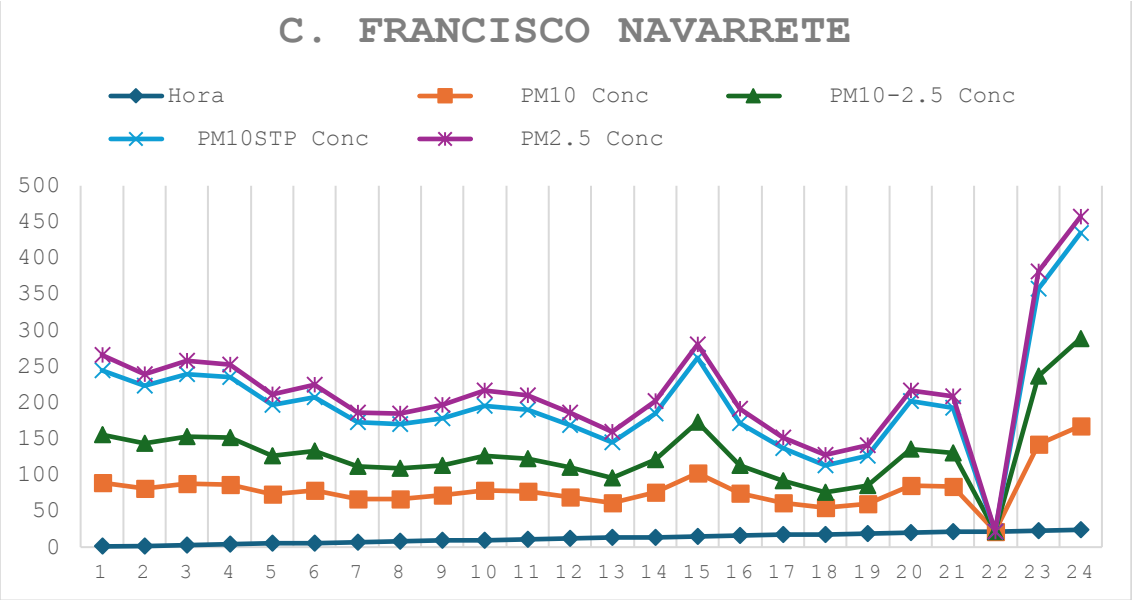
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Francisco Navarrete.



En la Figura 26 se ilustra la distribución gráfica mediante barras de las concentraciones particuladas en la Calle Francisco Navarrete. Visualmente destaca la uniformidad de las barras a lo largo de la mayor parte de las horas diurnas y vespertinas, lo que denota un comportamiento atmosférico relativamente constante en dicho tramo. Sin embargo, el análisis visual enfoca la atención en el extremo derecho del gráfico (Horas 23 y 24), donde las barras anaranjadas y celestes experimentan un estiramiento vertical abrupto, reflejando gráficamente el pico de acumulación de partículas gruesas ($PM_{10-2.5}$) al amanecer.

Figura 27

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Francisco Navarrete.



Evaluación de material particulado punto 03 (P3) en Av. Piura / Mariscal castilla

Tabla 16

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Piura con Mariscal Castilla.

Hora	PUNTOS	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	7:33-8:32	26.70	133.62	102.42	135.57	31.20	34.73
2	8:33-9:32	28.49	119.80	75.27	122.22	44.53	34.66

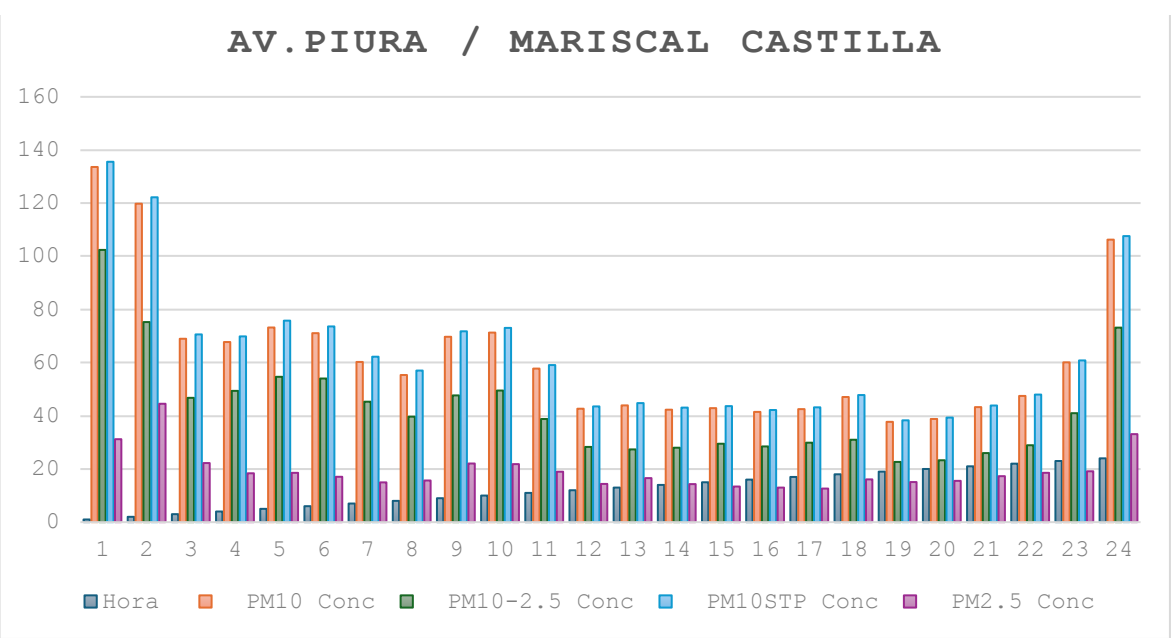
3	9:33-10:32	29.38	68.99	46.76	70.62	22.22	34.74
4	10:33-11:32	31.45	67.76	49.38	69.88	18.38	34.60
5	11:33-12:32	32.46	73.22	54.67	75.80	18.55	34.74
6	12:33-1:32	32.25	71.09	54.03	73.62	17.06	34.70
7	1:33-2:32	31.29	60.27	45.31	62.23	14.95	34.65
8	2:33-3:32	30.44	55.35	39.69	57.02	15.67	34.73
9	3:33-4:32	30.21	69.73	47.68	71.79	22.06	34.63
10	4:33-5:32	28.88	71.31	49.51	73.07	21.83	34.85
11	5:33-6:32	28.46	57.77	38.80	59.09	18.97	34.92
12	6:33-7.32	27.85	42.67	28.30	43.53	14.37	34.94
13	7:33-8:32	27.84	43.92	27.36	44.78	16.56	34.93
14	8:33-9:32	27.70	42.30	28.00	43.09	14.31	34.95
15	9:33-10:32	27.60	42.89	29.49	43.65	13.39	34.97
16	10:33-11:32	27.46	41.48	28.48	42.18	13.00	34.97
17	11:33-12:32	27.05	42.51	29.89	43.19	12.63	34.97
18	12:33-1:32	26.73	47.08	31.00	47.81	16.08	34.88
19	1:33-2:32	26.42	37.73	22.65	38.30	15.08	34.92
20	2:33-3:32	25.80	38.81	23.28	39.34	15.53	34.84
21	3:33-4:32	25.86	43.27	25.98	43.88	17.29	34.84
22	4:33-5:32	24.91	47.48	28.93	47.99	18.55	34.89
23	5:33-6:32	25.36	60.12	40.99	60.84	19.13	34.89
24	6:33-7:32	25.61	106.28	73.17	107.61	33.11	34.84

En la Tabla 16 se detallan los resultados del monitoreo atmosférico de 24 horas continuas en la intersección de la Av. Piura y la Av. Mariscal Castilla (Punto 03), sector caracterizado por un flujo vehicular mixto y alta dinámica comercial. Los datos revelan un patrón de distribución temporal singular: los picos más altos de contaminación por material particulado se concentran en el inicio del ciclo de medición (Hora 1 y Hora 2) y al final de la madrugada (Hora 24). Específicamente, en la Hora 1 (07:33 AM a 08:32 AM) se registró una concentración de PM_{10} de 133.62 $\mu g/m^3$ (superando el ECA de 24 horas fijado en $_{10}0$ $\mu g/m^3$) y un valor de $PM_{2.5}$ de 31.20 $\mu g/m^3$. Esta condición extrema se repite en la Hora 24 con $_{10}6.28$ $\mu g/m^3$para PM_{10} y 33.11 $\mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$. Durante el resto de la jornada diurna y la tarde, los niveles descendieron y se estabilizaron en un rango moderado (promedios de PM_{10} entre 40 y 70 $\mu g/m^3$), lo que indica que el impacto atmosférico

en este sector está fuertemente asociado a la hora punta matutina de ingreso laboral y escolar.

Figura 28

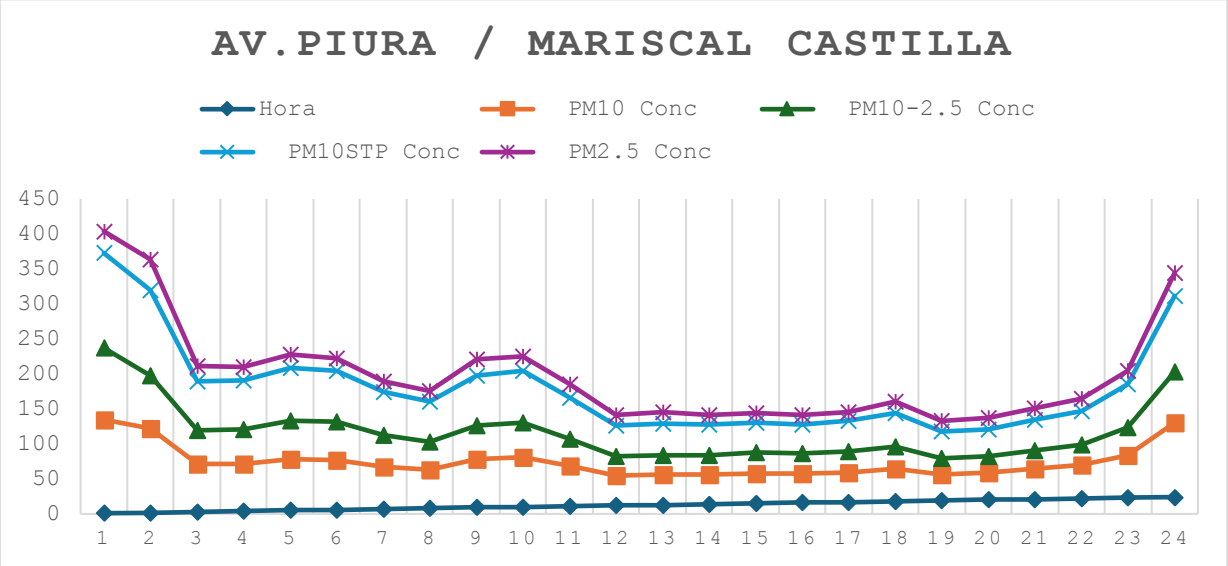
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$,PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Piura / Mariscal Castilla.



En la Figura 28 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución horaria de las concentraciones particuladas en la intercesión de la Av. Piura y Mariscal Castilla. Visualmente, el gráfico destaca por presentar barras marcadamente elevadas en los dos extremos del eje horizontal (primeras y últimas horas del ciclo), reflejando de manera gráfica el impacto de la congestión vehicular de las primeras horas de la mañana. En el tramo central del día (desde la Hora 7 hasta la Hora 22), las barras disminuyen de tamaño y muestran una relativa estabilidad, sugiriendo una dispersión atmosférica más favorable debido al incremento de la temperatura ambiental (32.46 °C en la Hora 5).

Figura 29

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Piura / Mariscal Castilla.



En la Figura 29 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de material particulado a lo largo de las 24 horas de evaluación. El trazado de las líneas evidencia un comportamiento en forma de "U" pronunciada:

Fase inicial crítica (Horas 1 y 2): Se observa una cresta abrupta y elevada al inicio de la medición, impulsada por la alta densidad vehicular matutina en una de las arterias viales más congestionadas de Tumbes.

Fase de valle diurno (Horas 3 a 22): Una disminución y meseta sostenida con ligeras fluctuaciones, donde las partículas finas ($PM_{2.5}$) y gruesas ($PM_{10\text{-}2.5}$) mantienen un comportamiento paralelo y controlado.

Fase de repunte nocturno/madrugada (Horas 23 y 24): Un nuevo incremento vertical de las líneas de tendencia al aproximarse el amanecer, coincidiendo con la disminución de la temperatura y la reactivación prematura del parque automotor.

Evaluación del material particulado en el punto 04 (P4) en la calle los Andes.

Tabla 17

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Los Andes.

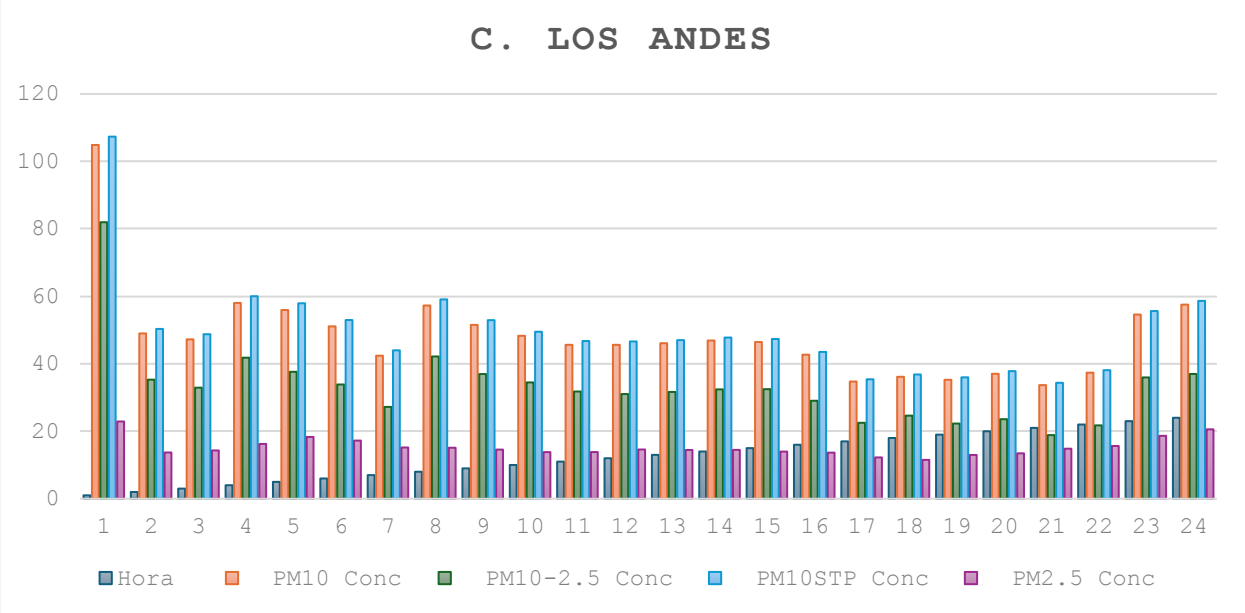
Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	8:07-9:06	28.91	104.87	81.98	107.34	22.90	35.29
2	9:007-10:06	29.99	49.00	35.30	50.34	13.70	34.71
3	10:07-11:06	31.36	47.24	32.93	48.78	14.31	34.61
4	11:07-12:06	31.67	58.05	41.81	60.04	16.24	34.73
5	12:07-1:06	31.85	55.94	37.63	57.94	18.32	34.62
6	1:07-2:06	31.99	51.10	33.87	52.98	17.23	34.54
7	2:07-3:06	31.92	42.41	27.22	43.99	15.19	34.59
8	3:07-4:06	30.22	57.29	42.17	59.09	15.11	34.76
9	4:07-5:06	28.93	51.53	36.96	52.94	14.56	34.91
10	5:07-6:06	28.44	48.30	34.48	49.50	13.82	34.92
11	6:07-7:06	28.51	45.63	31.79	46.75	13.84	34.94
12	7:07-8:06	27.92	45.62	31.03	46.63	14.59	34.96
13	8:07-9:06	27.53	46.10	31.65	47.02	14.45	34.96
14	9:007-10:06	27.52	46.90	32.42	47.78	14.48	34.97
15	10:07-11:06	27.79	46.45	32.48	47.35	13.97	34.97
16	11:07-12:06	27.69	42.70	29.04	43.52	13.66	34.96
17	12:07-1:06	27.58	34.75	22.51	35.41	12.24	34.97
18	1:07-2:06	27.48	36.15	24.64	36.84	11.51	34.99
19	2:07-3:06	27.77	35.26	22.29	35.99	12.97	34.85
20	3:07-4:06	27.97	37.03	23.58	37.83	13.45	34.92
21	4:07-5:06	27.60	33.68	18.86	34.37	14.83	34.97
22	5:07-6:06	27.32	37.38	21.75	38.11	15.63	34.97
23	6:07-7:06	27.37	54.60	35.96	55.64	18.65	34.97
24	7:07-8:06	27.60	57.55	36.98	58.66	20.57	34.96

En la Tabla 17 se presentan los registros de calidad del aire obtenidos durante el ciclo continuo de 24 horas en la Calle Los Andes (Punto 04).Los datos evidencian un comportamiento particular en este sector: la gran mayoría de los registros

horarios a lo largo del día se mantienen por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) fijado en 100 µg/m^3 para PM_{10} en 24 horas, oscilando los valores diurnos y vespertinos entre 33.68 µg/m^3y 58.05 µg/m^3.No obstante, el límite normativo es superado de manera puntual únicamente en la Hora 1 (08:07 AM a 09:06 AM), registrando un pico de 104.87 µg/m^3para PM_{10} y 22.90 µg/m^3para $PM_{2.5}$. Tras este evento matutino, la atmósfera del sector muestra una estabilidad prolongada durante el resto de la tarde y noche, con concentraciones reducidas que garantizan el cumplimiento normativo en su promedio global diario.

Figura 30

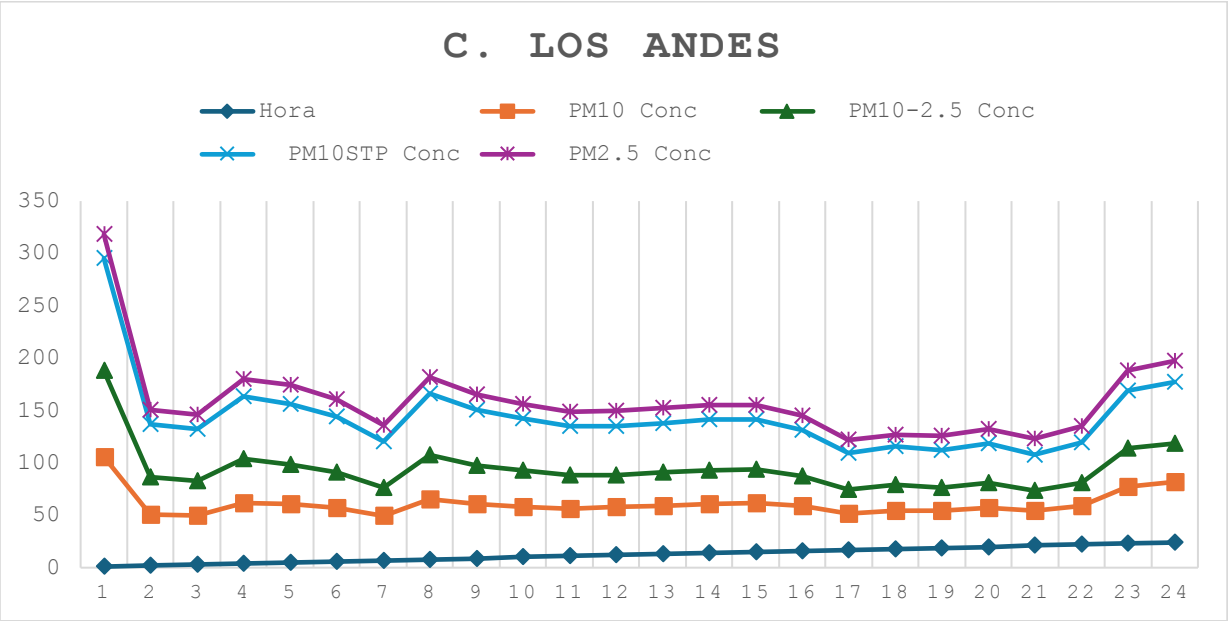
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Los Andes



En la Figura 30 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Calle Los Andes. Visualmente, el gráfico destaca por una marcada asimetría, la barra correspondiente a la Hora 1 sobresale de manera notoria en comparación con el resto del ciclo, reflejando el impacto transitorio de la emisión matutina. Del mismo modo, se observa que en las horas centrales y vespertinas (desde la Hora 2 hasta la Hora 22), las barras mantienen una altura baja y uniforme, lo que denota condiciones de dispersión atmosférica favorables en dicho sector residencial y comercial.

Figura 31

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Los Andes.



En la Figura 31 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de material particulado a lo largo de las 24 horas de evaluación en la Calle Los Andes. El trazado cartesiano permite apreciar una dinámica muy estable:

Punto crítico inicial: Una cresta elevada y aguda al inicio del monitoreo (Hora 1), vinculada a la congestión vehicular propia de la hora punta matutina.

Meseta de estabilidad prolongada: Una línea horizontal casi continua que se extiende desde la Hora 2 hasta la Hora 22, donde las concentraciones de partículas finas ($PM_{2.5}$) se estabilizan por debajo de los 18 $\mu g/m^3$ y las fracciones gruesas se mantienen contenidas.

Leve repunte final: Un ligero incremento al amanecer (Horas 23 y 24) debido al reinicio de las actividades urbanas, sin llegar a rebasar los límites críticos observados al inicio del ciclo.

Evaluación de material particulado en el punto 05 (P5) calle 24 de Julio

Tabla 18

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. 24 de Julio.

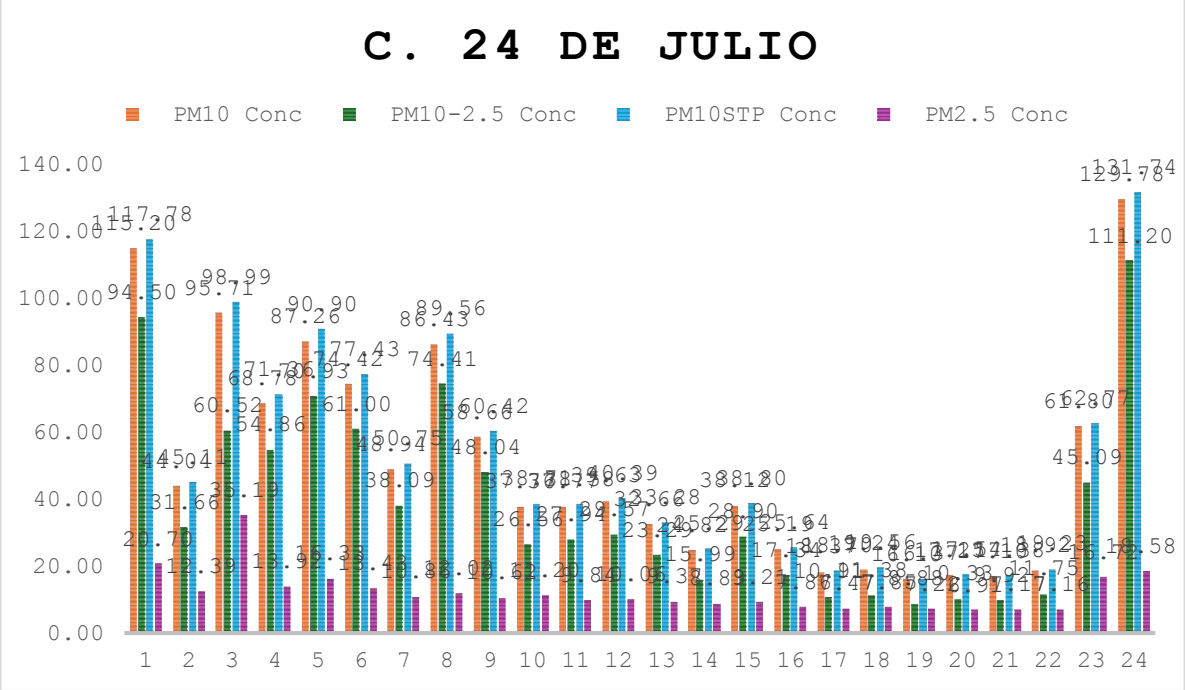
Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	8:11-9:10	29.57	115.20	94.50	117.78	20.70	35.61
2	9:11-10:10	29.67	44.04	31.66	45.11	12.39	34.90
3	10:11-11:10	32.01	95.71	60.52	98.99	35.19	34.81
4	11:11-12:10	33.05	68.78	54.86	71.36	13.92	34.71
5	12:11-1:10	34.22	87.26	70.93	90.90	16.33	34.40
6	1:11-2:10	33.74	74.42	61.00	77.43	13.43	34.56
7	2:11-3:10	32.46	48.94	38.09	50.75	10.86	34.74
8	3:11-4:10	31.78	86.43	74.41	89.56	12.02	34.81
9	4:11-5:10	30.25	58.66	48.04	60.42	10.62	34.91
10	5:11-6:10	29.24	37.76	26.56	38.71	11.20	34.93
11	6:11-7:10	28.14	37.77	27.94	38.58	9.84	34.99
12	7:11-8:10	27.73	39.63	29.57	40.39	10.06	35.00
13	8:11-9:10	27.85	32.66	23.29	33.28	9.37	34.97
14	9:11-10:10	28.05	24.82	15.99	25.29	8.83	34.95
15	10:11-11:10	27.94	38.12	28.90	38.80	9.21	34.99
16	11:11-12:10	27.94	25.19	17.34	25.64	7.86	35.00
17	12:11-1:10	27.75	18.37	10.91	18.70	7.47	35.01
18	1:11-2:10	27.47	19.24	11.38	19.56	7.85	35.02
19	2:11-3:10	27.33	16.10	8.88	16.37	7.22	35.02
20	3:11-4:10	27.27	17.25	10.33	17.54	6.91	35.01
21	4:11-5:10	27.14	17.10	9.92	17.38	7.17	35.01
22	5:11-6:10	27.15	18.92	11.75	19.23	7.16	34.99
23	6:11-7:10	27.06	61.80	45.09	62.77	16.72	34.99
24	7:11-8:10	27.09	129.78	111.20	131.74	18.58	35.03

En la Tabla 18 se exponen los resultados del monitoreo continuo de 24 horas realizado en la Calle 24 de Julio (Punto 05), registrando las concentraciones de material particulado en relación con la temperatura ambiental y la humedad relativa.

Los datos revelan un comportamiento atmosférico caracterizado por picos de concentración en los extremos del ciclo horario. Específicamente, se registraron rebasamientos del Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100 µg/m^3 para PM_{10} en 24 horas durante la Hora 1 (08:11 AM a 09:$_{10}$ AM) con 115.20 µg/m^3 y, de manera más crítica, al final del ciclo en la Hora 24 (07:11 AM a 08:$_{10}$ AM del día siguiente) alcanzando los 129.78 µg/m^3 Asimismo, el material particulado fino ($PM_{2.5}$) mostró un valor elevado en la Hora 3 con 35.19 µg/m^3 Durante las horas centrales de la tarde y primeras de la noche (desde la Hora 13 hasta la Hora 22), los niveles disminuyeron notablemente, registrando los valores más limpios del ciclo con mínimos de hasta 16.10 µg/m^3 para PM_{10}.

Figura 32

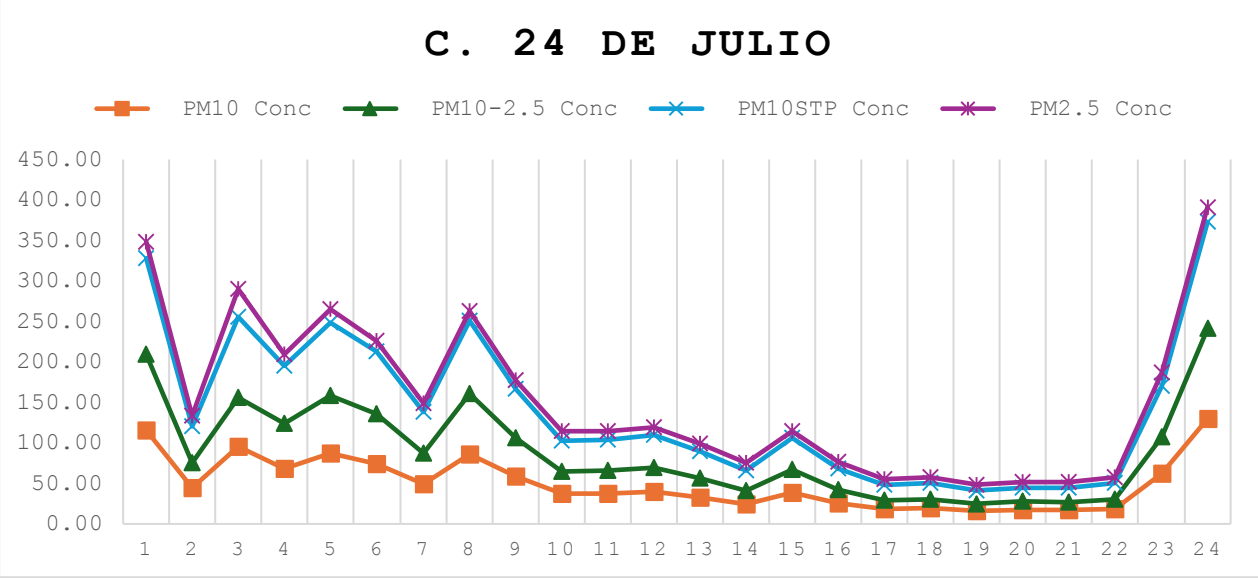
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, $PM_{10}STP$ y $PM_{2.5}$) en la Calle 24 de Julio.



En la Figura 32 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las distintas fracciones particuladas en la Calle 24 de Julio. Visualmente, el gráfico evidencia una estructura simétrica en los extremos: barras con mayor altura en las primeras horas de la mañana y un crecimiento vertical pronunciado en las últimas horas (Horas 23 y 24). En contraste, el tramo intermedio del día muestra barras de menor dimensión y gran estabilidad, lo que denota una reducción temporal de las emisiones vehiculares y una mejor dispersión de los contaminantes favorecida por temperaturas que alcanzaron los 34.22 °C en la Hora 5.

Figura 33

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle 24 de Julio.



En la Figura 33 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de partículas a lo largo de las 24 horas en la Calle 24 de Julio. El trazado cartesiano permite identificar una dinámica particular:

Fluctuaciones matutinas y vespertinas (Horas 1 a 12): Se observa una serie de oscilaciones moderadas con crestas alternadas (como en las Horas 1, 3, 5 y 8) vinculadas al flujo vehicular intermitente de la zona.

Valle de menor concentración (Horas 13 a 22): Un descenso sostenido y prolongado de las líneas de tendencia durante la tarde y noche, donde las concentraciones se mantienen en niveles bajos y estables.

Repunte crítico nocturno – amanecer (Horas 23 y 24): Un incremento exponencial y vertical de todas las líneas al aproximarse el nuevo amanecer, reflejando el encierro atmosférico nocturno y la reactivación anticipada del tráfico urbano.

Evaluación de monitoreo de material particulado en el punto 06 (P6) en la C. Bolívar.

Tabla 19

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Bolívar.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	6:49-7:48	26.51	146.47	133.67	148.50	12.80	36.63
2	7:49-8:48	27.77	75.42	66.87	76.76	8.56	34.79
3	8:49-9:48	28.99	65.95	54.97	67.38	10.99	34.82
4	9:49-10:48	30.22	75.26	64.03	77.22	11.21	34.72
5	10:49-11:48	30.27	63.25	53.20	64.95	10.07	34.84
6	11:49-12:48	30.83	65.22	55.36	67.15	9.86	34.73
7	12:49-1:48	30.78	70.87	61.48	73.01	9.39	34.79
8	1:49-2:48	30.29	76.56	65.46	78.80	11.10	34.64
9	2:49-3:48	29.33	72.07	59.71	73.99	12.37	34.92
10	3:49-4:48	28.55	73.25	59.75	74.99	13.49	34.93
11	4:49-5:48	28.18	68.55	56.44	70.08	12.11	34.94
12	5:49-6:48	27.90	70.15	56.71	71.61	13.45	34.98
13	6:49-7:48	27.52	74.01	58.24	75.40	15.78	34.98
14	7:49-8:48	27.13	64.99	50.78	66.09	14.21	35.03
15	8:49-9:48	27.30	115.53	95.69	117.50	19.84	35.00
16	9:49-10:48	27.54	99.26	82.40	100.96	16.87	34.99
17	10:49-11:48	27.69	77.99	64.67	79.38	13.31	34.98
18	11:49-12:48	27.83	138.50	121.91	141.13	16.58	34.94
19	12:49-1:48	27.67	80.39	64.86	81.85	15.52	34.92
20	1:49-2:48	27.33	121.08	100.87	123.19	20.21	34.85
21	2:49-3:48	26.81	138.46	114.96	140.66	23.50	34.84
22	3:49-4:48	26.52	144.90	119.92	147.09	24.98	34.91
23	4:49-5:48	26.21	139.62	114.91	141.57	24.71	34.92
24	5:49-6:48	26.05	207.02	179.85	209.74	27.18	34.81

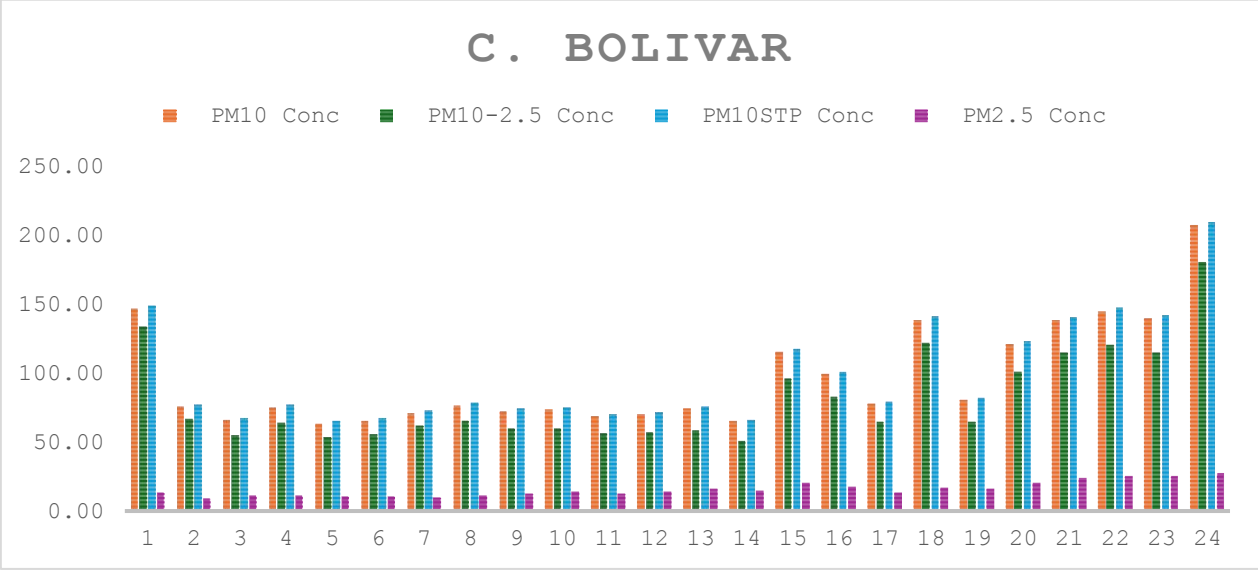
En la Tabla 19 se exponen los registros de calidad del aire obtenidos durante las 24 horas de monitoreo continuo en la Calle Bolívar (Punto 06), sector zonificado como comercial.

Los resultados demuestran una situación ambiental crítica y sostenida, la mayoría de los registros horarios de PM_{10} superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100 µg/m^3 para 24 horas en múltiples tramos de la jornada.

Específicamente, se aprecian concentraciones elevadas al inicio de la medición en la Hora 1 con 146.47 µg/m^3 ,un segundo repunte vespertino en la Hora 18 con 138.50 µg/m^3, y valores máximos extremos durante la noche y madrugada, destacando la Hora 22 con 144.90 µg/m^3 y la Hora 24 con un pico crítico de 207.02 µg/m^3. Por su parte, el material particulado fino ($PM_{2.5}$) también muestra niveles elevados durante la noche, alcanzando un valor máximo de 27.18 µg/m^3 en la Hora 24. Esto evidencia una alta carga contaminante generada por la intensa actividad comercial y vehicular de la zona.

Figura 34

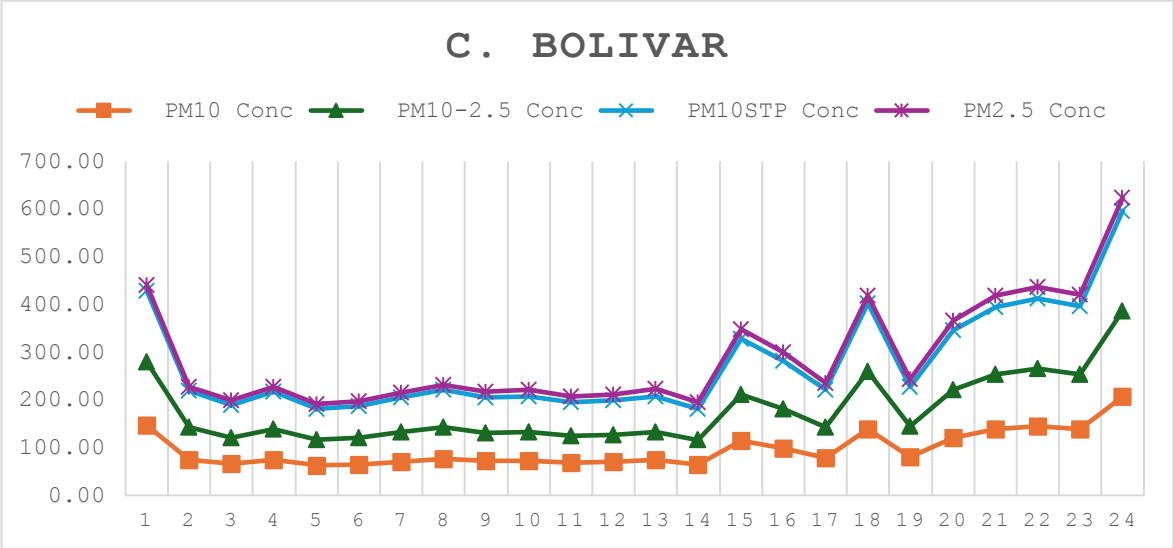
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Bolívar.



En la Figura 34 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Calle Bolívar. Visualmente, el gráfico destaca por mostrar barras elevadas tanto al inicio (Hora 1) como de forma progresiva a partir de la Hora 15, culminando en las barras más altas del ciclo en las últimas horas de la madrugada (Horas 20 a 24). En contraste, el tramo diurno medio (desde la Hora 2 hasta la Hora 14) presenta barras estables con alturas moderadas, reflejando que la dispersión atmosférica diurna atenúa parcialmente la acumulación de partículas gruesas y finas en este corredor comercial.

Figura 35

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Bolívar.



En la Figura 35 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de material particulado a lo largo de las 24 horas en la Calle Bolívar. El trazado cartesiano permite identificar una dinámica particular:

Pico matutino inicial (Hora 1): Una cresta alta al comienzo de la evaluación, vinculada al tráfico vehicular y la reactivación comercial de primera hora.

Meseta de estabilidad intermedia (Horas 2 a 14): Un comportamiento horizontal sostenido donde las líneas de tendencia muestran oscilaciones leves con concentraciones de PM_{10} bordeando los 60 a 75\ $\mu g/m^3$

Ascenso y pico crítico nocturno (Horas 15 a 24): Un incremento progresivo y escalonado de las líneas que se dispara exponencialmente hacia la medianoche y madrugada, alcanzando el punto máximo absoluto del ciclo en la Hora 24. Este fenómeno responde al confinamiento atmosférico nocturno y al flujo vehicular pesado permitido en horarios nocturnos en el centro comercial.

Evaluación del material particulado en el punto 07 (P7) de la calle Tarapacá.

Tabla 20

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Tarapacá.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	7:24 - 8:23	31.18	108.40	85.71	111.66	22.66	33.02
2	8:24 - 9:23	34.40	188.36	161.13	195.91	27.28	27.77
3	9:24 - 10:23	35.42	214.80	191.12	224.13	23.68	26.32
4	10:24 - 11:23	36.12	140.43	118.01	146.95	22.43	29.45
5	11:24 - 12:23	34.74	190.60	171.76	198.55	18.84	33.91
6	12:24 - 1:23	34.78	161.35	143.71	168.29	17.72	34.27
7	1:24 - 2:23	34.77	158.76	139.86	165.67	18.73	34.37
8	2:24 - 3:23	34.33	147.09	129.41	153.37	17.68	34.45
9	3:24 - 4:23	31.53	152.23	125.66	157.33	26.66	34.56
10	4:24 - 5:23	30.17	108.76	88.72	111.91	20.05	34.86
11	5:24 - 6:23	29.42	146.35	128.14	150.12	18.21	34.85
12	6:24 - 7:23	29.12	134.01	117.70	137.23	16.30	34.91
13	7:24 - 8:23	28.76	92.91	79.57	94.99	13.33	34.93
14	8:24 - 9:23	28.61	74.59	63.12	76.17	11.42	34.93
15	9:24 - 10:23	28.57	59.73	49.16	60.94	10.56	34.91
16	10:24 - 11:23	28.59	45.72	36.21	46.64	9.50	34.94
17	11:24 - 12:23	28.23	48.03	37.89	48.94	10.13	34.96
18	12:24 - 1:23	27.91	29.83	20.74	30.37	9.09	34.96
19	1:24 - 2:23	28.16	29.03	17.95	29.61	11.09	34.93
20	2:24 - 3:23	27.29	39.10	25.94	39.79	13.15	34.95
21	3:24 - 4:23	26.96	45.02	28.90	45.77	16.12	35.01
22	4:24 - 5:23	27.41	32.86	21.95	33.45	10.91	35.03
23	5:24 - 6:23	27.26	23.79	14.28	24.20	9.50	34.99

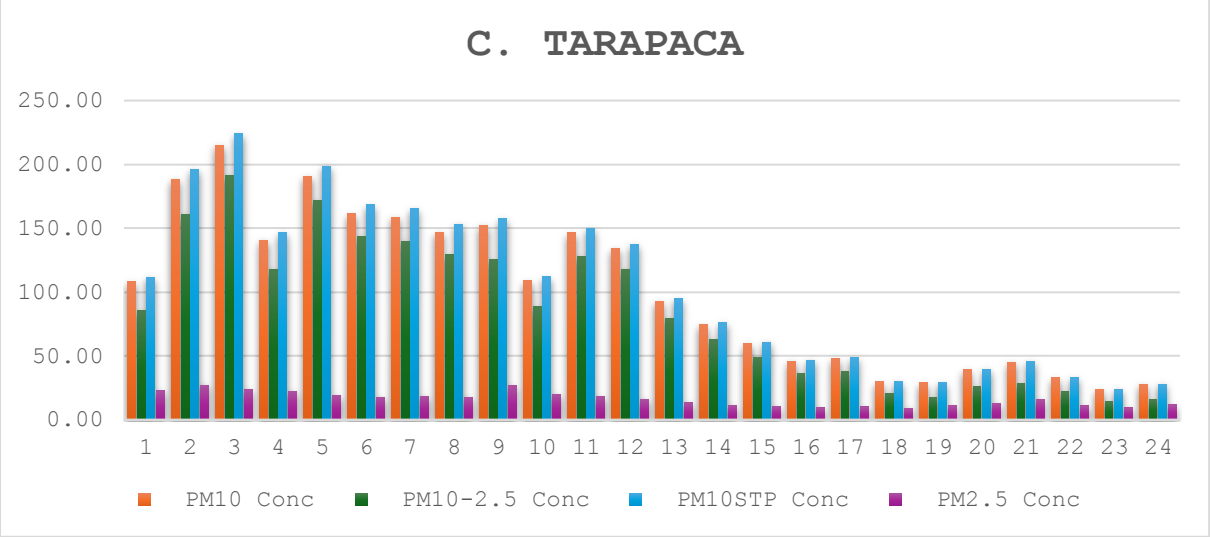
24	6:24 - 7:23	25.77	27.80	15.88	28.13	11.92	35.07

En la Tabla 20 se presentan los registros de calidad del aire obtenidos durante el ciclo continuo de 24 horas en la Calle Tarapacá (Punto 07), evaluando las fracciones particuladas en relación con la temperatura ambiental y la humedad relativa.

Los datos revelan una condición ambiental severamente afectada, la mayor parte del ciclo diurno y vespertino presenta concentraciones de PM_{10} que superan ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100 $\mu g/m^3$para 24 horas. Específicamente, los niveles críticos se concentran desde la Hora 1 hasta la Hora 12, destacando el pico máximo absoluto en la Hora 3 (09:24 AM a 10:23 AM) con una concentración de 214.80 $\mu g/m^3$ para PM_{10} y un valor elevado de 23.68\ $\mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$. Por su parte, los niveles disminuyen notablemente recién a partir de la Hora 16, manteniéndose en rangos limpios durante la noche y madrugada (por debajo de los 50 $\mu g/m^3$), lo que evidencia que la contaminación en este punto está estrechamente ligada a la actividad antropogénica y vehicular diurna.

Figura 36

Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, $PM_{10}STP$ y $PM_{2.5}$) en la Calle Tarapacá.

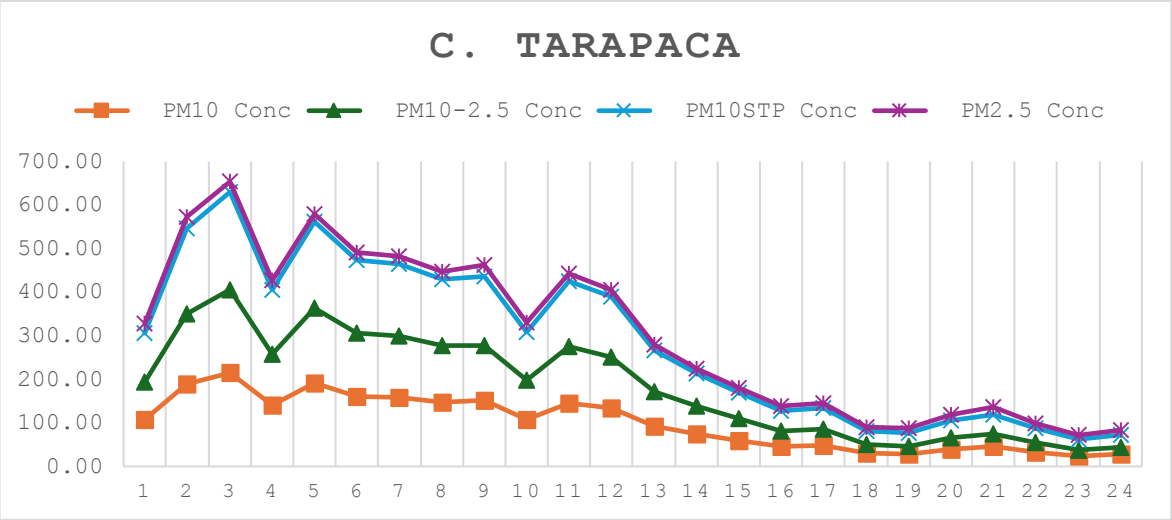


En la Figura 36 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Calle Tarapacá. Visualmente, el gráfico destaca por una estructura asimétrica muy marcada: las barras correspondientes a

las primeras 12 horas del ciclo muestran una altura considerable y sostenida, reflejando la alta carga de partículas gruesas ($PM_{10-2.5}$) en suspensión. A partir de la Hora 13, las barras experimentan un descenso gradual y pronunciado, reduciendo su tamaño de forma uniforme durante todo el tramo nocturno.

Figura 37

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Tarapacá.



En la Figura 37 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones de material particulado a lo largo de las 24 horas en la Calle Tarapacá. El trazado cartesiano permite identificar una dinámica clara.

Fase de alerta diurna (Horas 1 a 12): Un inicio elevado con una cresta pronunciada que alcanza su punto máximo en la Hora 3 (214.80 µg/m^3), manteniéndose en una meseta de alta contaminación durante toda la mañana y mediodía debido al tráfico continuo y la Re suspensión de polvo.

Fase de caída vespertina (Horas 13 a 16): Un descenso abrupto y sostenido de las líneas de tendencia conforme avanza la tarde.

Fase de estabilización nocturna (Horas 17 a 24): Un trayecto horizontal cercano al eje inferior, donde las concentraciones se estabilizan en valores mínimos debido al cese de la actividad comercial y vehicular en el sector.

Evaluación del material particulado en el punto 08 (P8) la Calle Gral Morzan.

Tabla 21

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la C. Gral. Morán.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	7:17 - 8:16	27.68	228.79	200.85	233.33	27.94	37.01
2	8:17 - 9:16	28.59	512.48	455.22	524.19	57.27	34.81
3	9:17 - 10:16	30.50	247.45	218.85	254.72	28.60	34.78
4	10:17 - 11:16	31.89	131.08	108.81	135.43	22.29	34.72
5	11:17 - 12:16	33.61	74.85	58.39	77.85	16.43	34.52
6	12:17 - 13:16	33.39	228.41	186.69	237.50	41.72	34.69
7	13:17 - 14:16	33.67	146.64	118.35	152.76	28.28	34.67
8	14:17 - 15:16	33.58	103.15	85.64	107.49	17.50	34.80
9	15:17 - 16:16	32.62	132.26	110.43	137.45	21.83	34.75
10	16:17 - 17:16	31.40	154.25	127.03	159.64	27.22	34.82
11	17:17 - 18:16	30.19	165.14	142.78	170.19	22.36	34.91
12	18:17 - 19:16	30.20	215.61	173.96	222.12	41.65	34.91
13	19:17 - 20:16	29.99	196.71	168.89	202.40	27.82	34.91
14	20:17 - 21:16	29.98	279.04	250.15	286.94	28.89	34.92
15	21:17 - 22:16	29.95	134.98	116.94	138.72	18.04	34.88
16	22:17 - 23:16	29.97	189.19	166.01	194.41	23.18	34.88

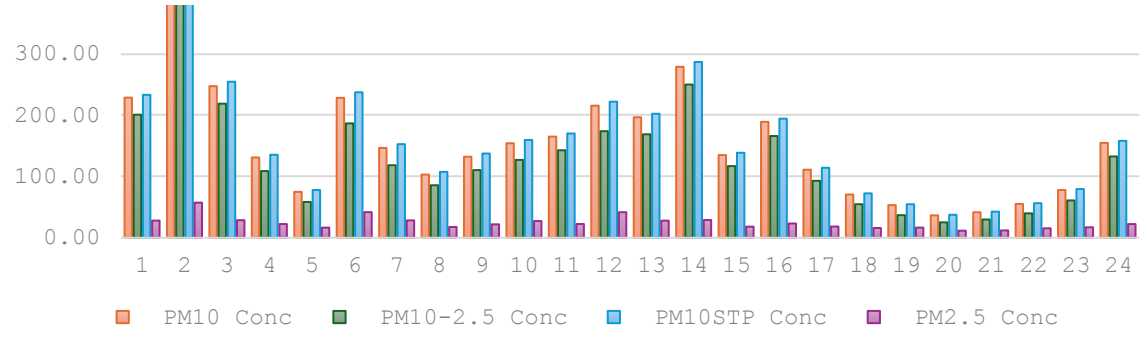
17	23:17 - 00:16	29.86	111.13	92.88	114.16	18.25	34.88
18	00:17 - 1:16	29.62	70.52	54.68	72.41	15.84	34.89
19	1:17 - 2:16	29.29	53.23	36.79	54.63	16.44	34.85
20	2:17 - 3:16	28.83	36.53	25.07	37.45	11.44	34.84
21	3:17 - 4:16	28.29	41.56	29.69	42.57	11.88	34.88
22	4:17 - 5:16	27.89	55.11	39.78	56.38	15.33	34.86
23	5:17 - 6:16	27.48	77.83	60.85	79.48	16.98	34.85
24	6:17 - 7:16	27.66	154.87	132.69	158.16	22.23	34.81

En la Tabla 21 se presentan los resultados del monitoreo continuo de 24 horas llevado a cabo en la Calle Gral. Morán (Punto 08), detallando las concentraciones horarias de material particulado en relación con la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Los datos revelan un escenario de contaminación atmosférica severo: la gran mayoría de los registros horarios diurnos y vespertinos superan de manera flagrante el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100 µg/m^{3}para PM_{10} en 24 horas. El hallazgo más crítico se registra en la Hora 2 (08:17 AM a 09:16 AM), donde la concentración de PM_{10} asciende hasta un pico extraordinario de 512.48 µg/m^3 (y 524.19 µg/m^3 en condiciones STP, acompañado de un nivel de $PM_{2.5}$ de 57.27 µg/m^3. Asimismo, se observan otros incrementos notables en la Hora 12 (215.61 µg/m^3) y en la Hora 14 (279.04 µg/m^3). Los niveles descienden recién hacia

Figura 38

Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Calle Gral. Morán.

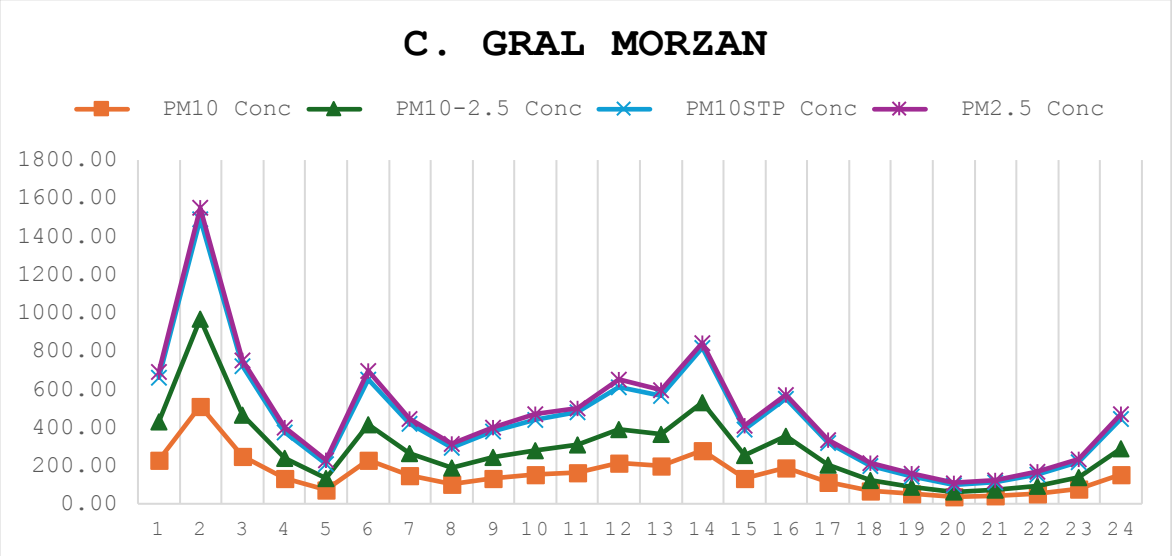


la madrugada (Horas 19 a 22), evidenciando que el sector soporta una alta carga de partículas por la dinámica vehicular y el polvo re suspendido de la zona.

En la Figura 38 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Calle Gral. Morán. Visualmente, el gráfico destaca por una barra de magnitud desproporcionada en la Hora 2, la cual sobresale drásticamente frente a todo el conjunto de datos. Del mismo modo, se aprecian barras de altura moderada a alta distribuidas de manera intermitente a lo largo de las horas diurnas y primeras de la noche, reflejando pulsos recurrentes de emisiones contaminantes antes de estabilizarse en el tramo final de la madrugada.

Figura 39

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Calle Gral. Morán.



En la Figura 39 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones particuladas a lo largo de las 24 horas en la Calle Gral. Morán. El trazado cartesiano permite identificar una dinámica sumamente activa:

Cresta crítica matutina (Hora 2): Un pico agudo y vertical al inicio de la jornada que marca el nivel más alto de concentración del punto (512.48 µg/m^3), asociado a la hora punta de mayor congestión vehicular.

Fluctuaciones diurnas y vespertinas (Horas 3 a 16): Una serie de oscilaciones con crestas secundarias pronunciadas (como en las Horas 6, 12 y 14), que denotan la influencia directa del tránsito pesado y las actividades comerciales del sector.

Valle de atenuación nocturna (Horas 17 a 24): Un descenso progresivo de las líneas de tendencia hasta tocar los valores mínimos durante la madrugada, favorecido por la reducción del flujo vehicular y la estabilidad del entorno.

Evaluación del material particulado en el punto 09 (P9) en la Avenida Panamericana / La Marina.

Tabla 22

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Panamericana con La Marina.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	8:54 - 9:53	31.24	468.33	416.97	482.83	51.36	34.85
2	9:54 - 10:53	31.61	253.18	224.30	261.44	28.87	34.62
3	10:54 - 11:53	30.65	142.61	122.54	146.85	20.07	34.75
4	11:54 - 12:53	30.30	126.16	108.75	129.83	17.41	34.86
5	12:54- 13:53	30.01	120.96	104.81	124.48	16.15	34.70
6	13:54 - 14:53	30.73	111.71	89.90	115.33	21.81	34.40
7	14:54- 15:53	31.23	110.75	93.37	114.55	17.35	34.31
8	15:54 - 16:53	30.78	108.03	89.88	111.62	18.15	34.67
9	16:54- 17:53	29.25	83.05	67.36	85.30	15.69	34.97
10	17:54 - 18:53	28.45	121.93	102.25	124.79	19.68	35.03
11	18:54 - 19:53	28.23	118.82	100.51	121.49	18.32	34.99
12	19:54- 20:53	28.13	150.02	129.95	153.27	20.07	35.00

13	20:54 - 21:53	27.85	155.75	135.02	158.87	20.73	35.03
14	21:54 - 22:53	27.88	200.54	175.01	204.45	25.53	35.01
15	22:54 - 23:53	28.26	238.40	209.81	243.27	28.59	35.01
16	23:54 - 00:53	27.94	196.35	171.26	200.22	25.15	35.02
17	00:54 - 1:53	27.90	188.93	163.73	192.69	25.19	34.68
18	1:54 - 2:53	27.69	164.51	142.19	167.76	22.32	34.81
19	2:54 - 3:53	27.31	128.29	106.66	130.69	21.63	34.84
20	3:54 - 4:53	26.99	112.64	92.94	114.63	19.70	34.88
21	4:54 - 5:53	26.78	181.48	152.68	184.47	28.81	34.84
22	5:54- 6:53	26.87	215.04	184.24	218.53	30.80	34.88
23	6:54- 7:53	27.72	306.69	271.44	312.26	35.25	34.85
24	7:54- 8:53	28.55	264.56	231.27	269.96	33.29	34.80

En la Tabla 22 se exponen los registros del monitoreo continuo de 24 horas realizado en la intersección de la Av. Panamericana y La Marina (Punto 09), detallando las concentraciones de material particulado en relación con la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Los resultados evidencian una severa contaminación atmosférica vinculada al tráfico vehicular pesado de la vía panamericana, la mayor parte del ciclo horario supera de manera sistemática el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100

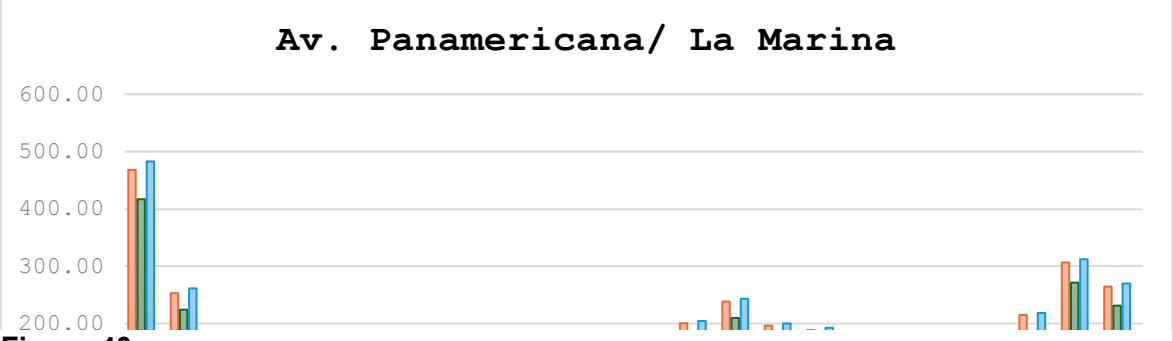


Figura 40

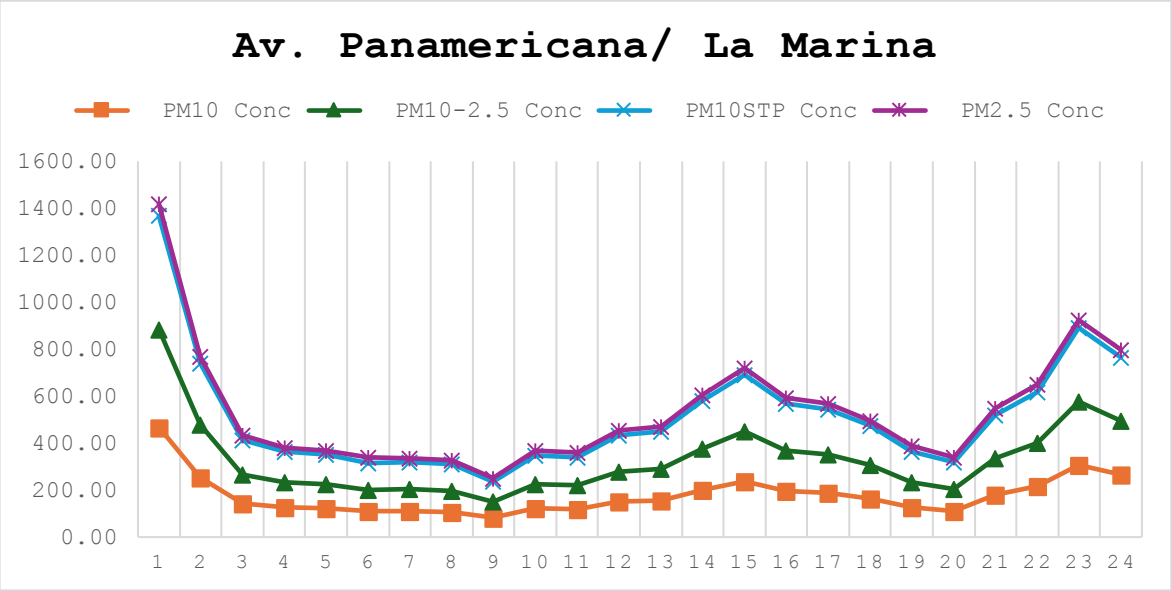
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Panamericana / La Marina.

µg/m^3 para PM_{10} en 24 horas. El valor más crítico se registra en la Hora 1 (08:54 AM a 09:53 AM) con una concentración máxima de 468.33 µg/m^3 para PM_{10} y 51.36 µg/m^{3}para $PM_{2.5}$. Asimismo, se observan incrementos prolongados durante la noche y la madrugada, destacando las Horas 15 y 23 con 238.40 µg/m^{3}y 306.69 µg/m^3 respectivamente. Los niveles más bajos se limitaron a un breve tramo vespertino (Hora 9 con 83.05 µg/m^3), confirmando que el punto se encuentra permanentemente impactado por emisiones vehiculares.

En la Figura 40 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Av. Panamericana / La Marina. Visualmente, el gráfico destaca por la barra de gran altura en la Hora 1, reflejando el impacto inicial del flujo vehicular matutino. Del mismo modo, se aprecia que las barras se mantienen persistentemente elevadas durante la tarde, noche y madrugada, evidenciando una presencia continua de material particulado grueso ($PM_{10-2.5}$) en suspensión a lo largo de casi todo el ciclo de monitoreo.

Figura 41

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Panamericana / La Marina.



En la Figura 41 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones particuladas a lo largo de las 24 horas en este sector vial. El trazado cartesiano permite identificar una dinámica compleja:

Pico extremo inicial (Hora 1): Una cresta vertical muy pronunciada al comienzo de la evaluación (468.33 µg/m^3), asociada a la alta congestión vehicular de la mañana.

Descenso transitorio (Horas 2 a 9): Una caída gradual de las líneas hasta alcanzar un valle moderado en el mediodía.

Reactivación y picos nocturnos (Horas 10 a 24): Un nuevo ascenso sostenido a partir de la tarde, con crestas secundarias marcadas en la noche y madrugada (Horas 15, 22 y 23), impulsadas por el paso de transporte pesado interprovincial y la inversión térmica nocturna característica de la zona.

Evaluación del material particulado en el punto $_{10}$ (P_{10}) Av. Universitaria

Tabla 23

Concentraciones horarias de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y variables meteorológicas registradas durante 24 horas en la Av. Universitaria.

Hora	PUNTOS P1	Ambient Temp	PM_{10} Conc	$PM_{10-2.5}$ Conc	PM_{10}STP Conc	$PM_{2.5}$ Conc	Sample RH
1	8:44 - 9:43	29.94	239.23	212.55	245.54	26.69	35.20
2	9:44 - 10:43	30.24	305.57	252.31	314.08	53.26	34.83
3	10:44 - 11:43	29.83	187.29	156.87	192.36	30.43	34.90
4	11:44 - 12:43	30.50	169.99	144.63	175.13	25.36	34.88
5	12:44- 13:43	31.49	228.91	203.56	236.87	25.35	34.82
6	13:44 - 14:43	30.11	156.79	135.98	161.62	20.82	34.82
7	14:44- 15:43	30.00	151.95	131.84	156.65	20.07	34.77
8	15:44 - 16:43	29.48	188.34	164.53	193.90	23.80	34.82
9	16:44- 17:43	28.85	189.67	164.90	194.90	24.77	34.89
10	17:44 - 18:43	28.46	105.40	82.65	108.05	22.76	34.92
11	18:44 - 19:43	27.99	103.90	87.05	106.23	16.85	34.93
12	19:44- 20:43	27.60	862.12	581.73	879.94	280.39	34.95

13	20:44 - 21:43	27.31	269.73	193.75	274.88	75.91	34.96
14	21:44 - 22:43	27.07	131.20	111.57	133.54	19.63	34.97
15	22:44 - 23:43	27.06	139.20	120.78	141.60	18.41	34.99
16	23:44 - 00:43	27.38	44.08	31.46	44.89	12.61	34.99
17	00:44 - 1:43	27.44	48.46	35.69	49.38	12.76	34.96
18	1:44 - 2:43	27.61	36.85	24.47	37.61	12.38	34.96
19	2:44 - 3:43	27.28	36.75	24.66	37.49	12.09	34.96
20	3:44 - 4:43	27.06	43.02	30.54	43.85	12.48	34.97
21	4:44 - 5:43	26.76	63.36	48.19	64.49	15.17	34.98
22	5:44- 6:43	26.30	103.47	84.06	105.08	19.41	34.97
23	6:44- 7:43	26.96	272.96	235.74	277.65	37.21	34.98
24	7:44- 8:43	28.05	220.64	189.19	225.26	31.45	34.96

En la Tabla 22 se presentan los registros del ciclo continuo de 24 horas correspondientes a la Av. Universitaria (Punto 10), evaluando las concentraciones de material particulado en función de la temperatura ambiental y la humedad relativa.

Los resultados demuestran una condición ambiental de extrema criticidad marcada por un evento extraordinario de contaminación: la casi totalidad de las horas diurnas y nocturnas superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Aire) de 100 µg/m^3 para PM_{10} en 24 horas. El aspecto más sobresaliente se concentra en la Hora 12 (19:44 PM a 20:43 PM), donde se registró un pico máximo absoluto de altísima magnitud: 862.12 µg/m^3 para PM_{10} (alcanzando los 879.94 µg/m^3 en condiciones STP y un valor alarmante de 280.39 µg/m^3 para $PM_{2.5}$. Asimismo, se registraron

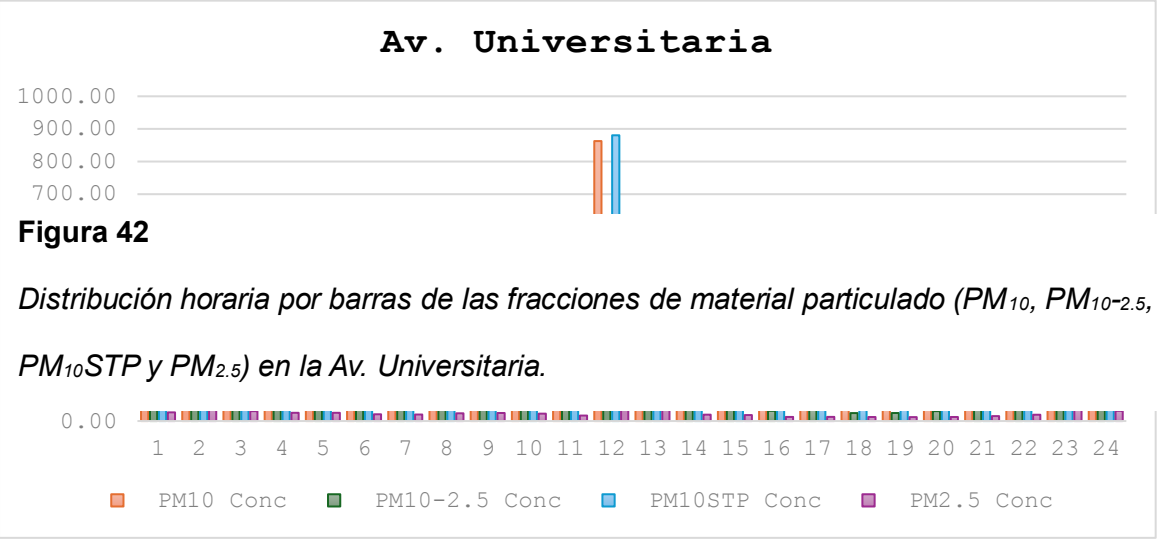


Figura 42

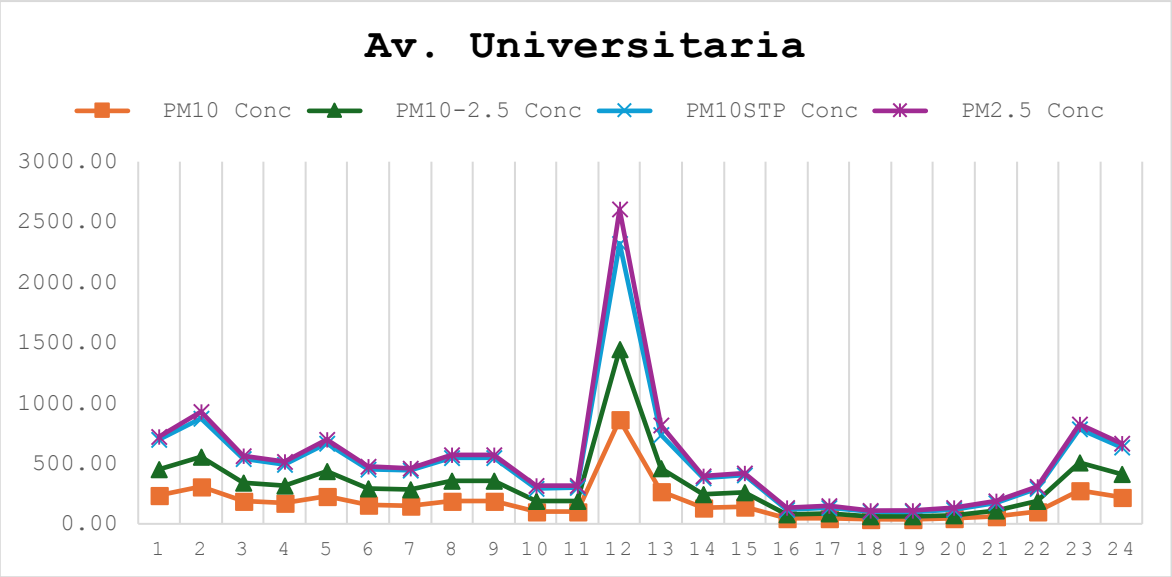
Distribución horaria por barras de las fracciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}STP y $PM_{2.5}$) en la Av. Universitaria.

otros excesos importantes al inicio de la jornada (Hora 2 con 305.57 µg/m^3) y al amanecer (Hora 23 con 272.96 µg/m^3). Los niveles más limpios se restringieron al tramo de la madrugada (Horas 16 a 20), evidenciando que el sector sufre fuertes impactos por Re suspensión de polvo vehicular y congestión.

En la Figura 42 se ilustra mediante un diagrama de barras la distribución de las diferentes fracciones particuladas en la Av. Universitaria. Visualmente, el gráfico destaca de forma contundente por la presencia de una barra de una altura desproporcionada ubicada en la Hora 12, la cual sobresale de todo el conjunto de datos y refleja la magnitud del evento de emisión o Re suspensión ocurrido en ese intervalo. Del mismo modo, las barras se mantienen persistentemente por encima de los 100 µg/m^{3}en las primeras horas de la evaluación y nuevamente al cierre del ciclo nocturno.

Figura 43

Tendencia temporal de 24 horas de las concentraciones de material particulado en la Av. Universitaria.



En la Figura 43 se plasma la curva de tendencia temporal de las concentraciones particuladas a lo largo de las 24 horas en la Av. Universitaria. El trazado cartesiano permite identificar la siguiente dinámica atmosférica:

Inestabilidad matutina (Horas 1 a 5): Un inicio con fluctuaciones elevadas y crestas pronunciadas (como en la Hora 2 con 305.57 µg/m^3) asociadas al tráfico inicial.

Pico extremo anómalo (Hora 12): Una verticalización abrupta y agónica de las líneas de tendencia que forman el pico más alto de todo el monitoreo en la Av. Universitaria, evidenciando un evento puntual de alta contaminación atmosférica.

Valle nocturno y repunte final (Horas 16 a 24): Un descenso temporal hacia la medianoche seguido de un nuevo incremento marcado al aproximarse las primeras horas de la mañana siguiente.

4.2.1. evaluación del material particulado sedimentable

Para calcular el material sedimentable se aplicó el método pasivo empleado por Arciniegas (2012), lo cual consiste colocar papel filtro en un recipiente o caja Petri en los puntos de muestreo por un periodo de 30 días, los papeles filtro deben ser pesado antes y después de su recolección de MPS.

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{Area} x\ T$$

Donde:

PAS: Polvo atmosférico sedimentable

Pi: (Pi. Inicial) Después de salir del laboratorio

Pf: (Pf. Final) Después de estar expuesta el filtro del periodo de muestreo

Área de papel filtro: A= 80 cm2

T: Tiempo del monitoreo (24 horas/dia)

Calculamos el área del papel recolector del material sedimentable

$$A = Ancho\ x\ Alto$$
$$A = 8\ cm\ x\ 10\ cm$$
$$A = 80\ cm2$$

Resolución del material sedimentable en la calle Andrés Araujo Moran

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{Area} x\ T$$
$$PAS = \frac{2250 - 1740}{80\ Cm2}\ x\ 30$$
$$PAS = 191.26 \frac{Mg}{m2} /mes$$

Tabla 24

Concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) registradas mediante métodos pasivos (recipiente de 80 cm2) durante el periodo de 24 horas en los diez puntos de estudio.

DESCRIPCION DE PUNTO		Pi (Peso inicial) /g	Pf (Peso final)/ g	Pi en mg	pf en mg	Area de placa petri	Tiempo	PAS	Unidad de medida
P 1	C. Andres Araujo Moran	1.74	2.25	1740.00	2250.02	80	1	6.38	Mg/m2/dia
P 2	C. Francisco Navarrete	2.06	2.21	2058.36	2210.00	80	1	1.90	Mg/m2/dia
P 3	AV.Piura / Mariscal Castilla	2.05	2.22	2050.00	2216.29	80	1	2.08	Mg/m2/dia
P 4	C. Los Andes	2.01	2.10	2010.00	2104.62	80	1	1.18	Mg/m2/dia
P 5	C. 24 de Julio	2.09	2.19	2087.88	2191.62	80	1	1.30	Mg/m2/dia

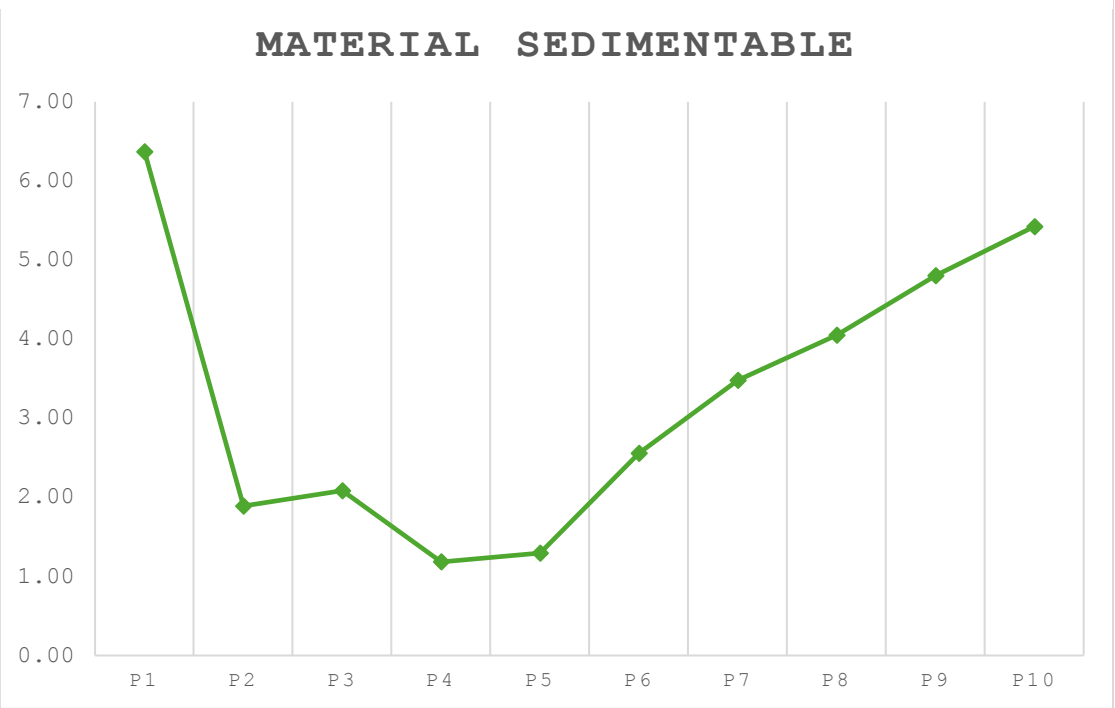
P6	C. Bolivar	2.05	2.26	2054.62	2258.78	80	1	2.55	Mg/m2/dia
P7	C. Tarapaca	1.76	2.03	1755.48	2033.50	80	1	3.48	Mg/m2/dia
P8	C. Gral Morzan.	2.00	2.32	1997.32	2321.00	80	1	4.05	Mg/m2/dia
P9	Av. Panamericana / La Marina	1.98	2.36	1976.56	2361.26	80	1	4.81	Mg/m2/dia
P10	Av. Universitaria	2.03	2.46	2025.00	2458.90	80	1	5.42	Mg/m2/dia

En la Tabla 24 se detallan los resultados del Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) evaluados a través del método pasivo utilizando colectores rectangulares con un área de exposición de 80 cm2 durante un período de 24 horas en los diez puntos de monitoreo. Los cálculos gravimétricos, derivados de la diferencia entre el peso final (Pf) y el peso inicial (Pi) de los filtros, reflejan el comportamiento de la sedimentación de partículas en el área de estudio.

Los valores calculados de PAS muestran una fluctuación importante, registrando un mínimo de 1.13 mg/cm^2 en el Punto 4 y alcanzando el nivel máximo de 6.38 mg/cm^2 en el Punto 1. Esta variación espacial confirma la influencia directa de las fuentes antropogénicas locales, donde los sectores con mayor circulación vehicular y exposición a vías sin pavimentar experimentan una mayor tasa de caída gravitacional de partículas en suspensión sobre la superficie urbana de Tumbes.

Figura 44

Concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) registradas mediante métodos pasivos durante las 24 de monitoreo.



4.2.2. Concentración del material particulado PM_{10}

Para la determinar la concentración del material particulado se tomó como referencias las fórmulas establecidas en el trabajo de investigación de (Mamani Vargas & Ugarte Lanchipa, 2024),

$$\boldsymbol{PM10 = (Wf - Wi) x\, 10^6 / Vstd}$$

Donde:

PM_{10}: Concentración másica de PM_{10}, ug/m^3

Wf,Wi: Pesos final - inicial del filtro que recoge las partículas PM_{10}

Vstd: Total de aire muestreado en unidades de volumen referencia en , m3

Calculo volumen total (V) en metros cúbicos (m3)

Para la formula gravimétrica, el volumen de aire (Vstd) se calcula multiplicando el flujo medio del equipo (Q) por el tiempo total de muestreo (t), convirtiéndole el resultado final de litros (L) a metros cúbicos (m3):

$$Vstd = \frac{Q\ x\ T}{1000}$$

Q (flujo de muestreo): 5 L/min

T (Tiempo de muestreo): 24 horas = 1440 min

Volumen total en litros: 5 .00 L/min x 1440 min= 7200 Litros

$_{10}$00: Factor para convertir de litros (L) a metros cúbicos (m^3) (1 m^3=$_{10}$00L).

Ahora calculamos volumen total en metros cúbicos

$$Vstd = \frac{Q\ x\ T}{1000}$$
$$Vstd = \frac{7200\ L}{1000} =$$
$$Vstd = \ 7.20\ m3$$

Ahora con los datos completos, vamos a calcular la concentración de material particulado PM_{10} del la Calle Andrés Araujo Moran.

$$\boldsymbol{PM10 = (Wf - Wi) x 106 / Vstd}$$
$$PM10 = (2.2500 - 1.7400) x\ 10^6 / \ 7.20m3$$
$$PM10 = \ 70836.11$$
$$\mathrm{PM_{10}} = 70836.11\ \boldsymbol{\mu}\mathrm{g/m^3}$$

Tabla 25

Concentraciones másicas de material particulado PM_{10}(ug/m3) determinadas mediante la fórmula gravimétrica en los diez puntos de monitoreo en Tumbes.

CONCENTRACION DE MATERIAL PARTICULADO PM_{10}						
DESCRIPCION DE PUNTO		Pi (Peso inicial) /g	Pf (Peso final)/ g	Factor de conversion $_{10}$(6)	Vstd	PM_{10}
P1	C. Andres Araujo Moran	1.7400	2.2500	1000000	7.20	70836.11

P2	C. Francisco Navarrete	2.0584	2.2100	1000000	7.20	21061.11
P3	AV.Piura / Mariscal Castilla	2.0500	2.2163	1000000	7.20	23095.83
P4	C. Los Andes	2.000	2.1046	1000000	7.20	13141.67
P5	C. 24 de Julio	2.0879	2.1916	1000000	7.20	14408.33
P6	C. Bolivar	2.0546	2.2588	1000000	7.20	28355.56
P7	C. Tarapaca	1.7555	2.0335	1000000	7.20	38613.89
P8	C. Gral Morzan.	1.9973	2.3210	1000000	7.20	44955.56
P9	Av. Panamericana / La Marina	1.9766	2.3613	1000000	7.20	53430.56
P_{10}	Av. Universitaria	2.0250	2.4589	1000000	7.20	60263.61

En la Tabla 25 se exponen los resultados de la concentración másica de material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras (PM_{10}), calculados mediante la metodología gravimétrica descrita por Mamani Vargas y Ugarte Lanchipa (2024), considerando la diferencia del peso seco de los filtros expuestos en campo respecto a sus pesos iniciales.

Los valores promedio de PM_{10} fluctúan entre un mínimo de 13,141.67 ug/m^3 registrado en el Punto 4 (C. Los Andes) y un nivel máximo de 70,836.11 ug/m^3 en el Punto 1 (C. Andrés Araujo Morán). La variabilidad observada entre los puntos muestra un comportamiento espacial donde los valores más elevados se concentran en vías estructurantes de alto tránsito, áreas con poca pavimentación e intensa dinámica comercial y de transporte urbano en Tumbes.

4.2.3. Niveles de exposición del material particulado

Tabla 26

Concentración de Exposición al Material Particulado (PM_{10})

DESCRIPCION DE PUNTO		CA	TE	FrE	DuE	PTEM	CE
P1	C. Andres Araujo Moran	473.036822	8	300	70	168000	473.04
P2	C. Francisco Navarrete	70.1319077	8	300	70	168000	70.13
P3	AV.Piura / Mariscal Castilla	61.8935127	8	300	70	168000	61.89
P4	C. Los Andes	48.5646025	8	300	70	168000	48.56
P5	C. 24 de Julio	50.5812817	8	300	70	168000	50.58
P6	C. Bolivar	96.8668798	8	300	70	168000	96.87
P7	C. Tarapaca	99.9807513	8	300	70	168000	99.98
P8	C. Gral Morzan.	155.866272	8	300	70	168000	155.87
P9	Av. Panamericana / La Marina	177.864639	8	300	70	168000	177.86
P_{10}	Av. Universitaria	179.120393	8	300	70	168000	179.12

Para evaluar el nivel de exposición poblacional frente a la contaminación por material particulado PM_{10}, se aplicó el modelo de concentración de exposición considerando parámetros estandarizados de permanencia (un tiempo de exposición de 8 horas/diarias, una frecuencia de 300 días/año y una duración estimada de 70 años de residencia o actividad continua en el entorno).

Como se detalla en los resultados, los valores de la Concentración de Exposición (CE) mimetizan directamente la magnitud de la concentración ambiental registrada en cada zona de estudio debido a la proporcionalidad de los factores temporales

aplicados. Se advierte que los habitantes y transeúntes ubicados en los puntos críticos destacando el Punto 1 (C. Andrés Araujo Morán) con una (CE) de 473.04 ug/m^3 y el Punto 10 (Av. Universitaria) con 179.12 ug/m^3, se encuentran expuestos de forma crónica a niveles que rebasan marcadamente los umbrales de seguridad sanitaria establecidos por la normativa ambiental vigente.

V. CONCLUSIONES

Se determinó un estado crítico de contaminación ambiental en el casco urbano de Tumbes, generado principalmente por el alto flujo vehicular, la antigüedad del parque automotor, la dinámica comercial y el déficit de pavimentación, lo que deteriora la calidad ambiental y vulnera la salud pública.

El 100% de los puntos evaluados superan los ECA para ruido según el (D.S. N° 085-2003-PCM), con niveles equivalentes (LAeqT) de 67.04 dBA a 77.36 dBA (máximo en la Av. Mariscal Castilla). Las zonas de protección especial (hospitales y colegios) rebasaron el límite de 50 dBA en más de 25 dBA.

Las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ superaron de manera recurrente los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (D.S. N° 003-2017-MINAM) en los principales ejes viales y comerciales (tales como la C. Andrés Araujo Morán, Gral. Morán, Av. Universitaria y la Av. Panamericana / La Marina), con picos máximos superiores a los 500 $\mu g/m^3$ asociados a las horas punta de tráfico. Asimismo, las tasas de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS), con máximos de hasta 6.38 mg/m^2/día.

Respecto al nivel de exposición de las personal, se determinó que los puntos 01 (ubicado en Calle Andrés Araujo Morán) y el punto 10 (ubicado en la zona de Av. Universitaria) resultaron ser los más impactados o con mayor nivel de exposición (encontrando concentración de Exposición de 473.04 $\mu g/m^3$ y 179.12 $\mu g/m^3$, respectivamente, siendo las personas de estas zonas las que soportan cargas contaminantes peligrosamente altas, incrementando potencialmente el riesgo de afecciones respiratorias y cardiovasculares.

VI. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y hallazgos obtenidos en la presente investigación sobre la contaminación por material particulado y ruido en tumbes, se plantean las siguientes recomendaciones:

- A las autoridades competentes priorizar las obras de pavimentación. Asfaltado y mantenimiento continuo en los sectores identificados con mayores niveles de material particulado y polvo sedimentable, especialmente en los puntos críticos de la calle Andrés Araujo Moran, c. Gral Morzan, Av. Universitaria, con el fin de evitar que con el paso del tránsito vehicular continue levantando el polvo de las vías.
- Implementar medidas de mitigar la contaminación sonora mediante la colocación de señalización escrita que prohíba el uso innecesario de cláxones y bocinas en las avenidas principales.
- Desarrollar campañas preventivas juntos con el sector salud en las zonas de mayor exposición a contaminantes atmosféricos y sonoros, orientados a proteger la salud respiratoria y auditiva de los habitantes, comerciantes y transeúntes que permanecen largas jornadas en estos puntos críticos. Además, se aconseja promover el uso de mascarilla con filtro y protección auditiva adecuada para trabajadores expuestos en la vía pública.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahunari Fernández, R., & Mozombite Villacorta, D. (2019). *Evaluación del grado de contaminación por efecto de la emisión de gases y ruido en la ciudad de San Antonio del Estrecho por edificación del Centro de Salud* Universidad Científica del Perú]. San Juan Bautista

Arce Quispe, N. M. (2024). *Comportamiento de los parámetros del monitoreo de calidad de aire y ruido ambiental de la obra de saneamiento y alcantarillado sanitario del distrito de Cerro Colorado–Arequipa, en cumplimiento a los ECA-2022* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Cerro de Pasco.

Bellot, R., Puig, S., & Rodriguez, A. (2020). Medición y propuestas en relación a un caso de impacto ambiental vinculado al ruido. *Arquitecno*(15), 67-74.

Calsina Guerra, Y., & Casani Castro, H. S. (2024). *Evaluación de la cantidad de material particulado (PM_{10}) en áreas de alta congestión vehicular en el distrito de Usicayos, provincia de Carabaya, Puno* Universidad Cesar Vallejo]. Lima

Castillo, J. S. M., & Valdez, G. F. V. (2024). Cumplimiento de los niveles de ruido por tráfico vehicular alrededor de la escuela Velasco Ibarra, Esmeraldas. *Revista Social Fronteriza*, *4*(5), e45429-e45429.

Coca Ccorpa, L. A. (2023). *Niveles de ruido ambiental en la zona urbana del distrito de Pangoa-2022* Universidad Agraria de la Selva]. Tingo Maria

Coronel, D. M., Zegarra, R. R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*(19), 55-64.

Djedid, F., Bounouala, M., Bouslama, A., Benselhoub, A., Dovbash, N., & Bellucci, S. (2024). Environmental Assessment of Particulate Matter Pollution Generated by the Exploitation of Heliopolis Aggregates Quarry. *QUALITY OF LIFE -APEIRON*, *27*(3-4), 83-95.

Espinal Guerrero, Y., & Zelada Tacilla, M. (2024). *Evaluación y elaboración de mapas de ruido ambiental en la zona urbana de Cajamarca en los meses de febrero, marzo y abril del año 2023* Universidad Privada Del Norte]. Cajamarca

Flores Vara, R. A. (2022). *Nivel de exposición al material particulado PM2. 5 y presión sonora del personal en la planta industrial UNICON, Oyón, Lima 2021* Universidad Cesar Vallejo]. Lima.

INEI. (2017). *Resultados definitivos*.

Jaya Lema, J. L. (2024). *"Evaluación de la concentración de material particulado pm 2, 5 y PM_{10} en el terminal terrestre del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi"* Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. Latacunga Ecuador

Lima, G. P. S., Santillán-Lima, J. C., Caichug-Rivera, D. M., Pilco, J. J. O., Castillo, M. F. R., & Merino, G. E. D. J. T. R. C. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del Cantón Chambo. *4*(1), e322-e322.

Llanque Mamani, W. R. (2024). *Nivel de ruido ambiental generado por el flujo vehicular en la avenida Panamericana Sur entre el km 1411 al 1415 en la ciudad de Ilave-2024* Universidad Privada San Carlos]. Puno.

Lucero Castro, D. E. (2022). Explorando las relaciones entre ruido ambiental, material particulado y monoxido de carbono en comunas de Santiago.

Mamani Vargas, B. R., & Ugarte Lanchipa, S. E. (2024). *Evaluación de los niveles de ruido y concentración de material particulado por el flujo de tránsito vehicular en la IEI Santa Úrsula, Tacna–2023* Universidad Privada de Tacna]. Tacna.

MINAM. (2019). *Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire*.

OEFA. (2014). *Informe de monitoreo de ruido ambiental realizado en la provincia*

y departamento de Tumbes

OMS. (2021). La contaminación del aire es una de las mayores amenazas medioambientales para la salud humana, junto con el cambio climático.

Pradeep, L., & Nagendra, S. (2024). Evaluating variations in environmental noise pollution of Chennai city using a mobile monitoring technique. *Journal of Transport & Health*, *35*, 101756. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jth.2024.101756

Silva Bravo, C. E. (2020). *Evaluación de los niveles de ruido ambiental en las principales zonas comerciales del distrito de Chancay–2022* Universidad Privada Del Norte]. Chancay.

Tufino Espinoza, M. O. (2024). *Evaluación del ruido ambiental diurno y sus efectos en la población de Hualmay–Huaura* Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion]. Huacho

Villalva Ayala, A. K. (2024). *Determinación de los niveles de ruido ambiental generados en el casco urbano del Distrito de Concepción, Provincia de Concepción, departamento Junín, Perú* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. Junin.

Vivanco Espinoza, E. J. (2019). *Evaluación de la concentración de PM_{10} y plomo en el aire ambiental, en los pueblos jóvenes cercanos a los depósitos de minerales en el Callao* Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima

VIII. ANEXOS

Anexo 01: Certificado de calibración del sonómetro

OHLAB OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LC - 029

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro N°LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
OHLAC-292-2026

1.- SOLICITANTE

Nombre: Municipalidad Provincial de Tumbes
Dirección: Jr. BOLOGNESI NRO. 194 INT. PS 2 OTROS TUMBES - TUMBES - TUMBES

OTI : LC-341

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Sonómetro

Marca :	BSWA
Modelo :	308
N° de Serie :	570264
Clase :	1
Micrófono :	BSWA 231
N° S. Micrófono :	570390
Resolución :	0,1 dB
Procedencia :	China

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento fue calibrado el 2026 - 04 - 22.
* La calibración se realizó en el Área de Electoacústica del Laboratorio OHLAB S.A.C.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.
OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el pais y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.
OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	23,8 °C	±	0,2 °C
Humedad	51,7 % hr	±	0,4 % hr
Presión	1009,2 hPa	±	0,1 hPa

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C.. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a calibración, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2026-04-22

Sello

LABORATORIO DE METROLOGÍA Y ENSAYO OHLAB SAC

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY SAC
Juan Diego Arribasplata
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGÍA

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina N° 365, La Perla Callao - Peru
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Anexo 02: Solicitud de alquiler de sonómetro a la Municipalidad Provincial de Tumbes



FECHA: 17/08/2026
HORA: 14:55:54
USER: MNORIEGA

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TUMBES
RUC N° 20156696596

N° REGISTR: 0035045 PERIODO: 2026 COD:
NOMBRE: FEIJOO SANDOVAL AIRTHON JAVIER
DOMICILIO:
FECHA EMISION: 17/08/2026 DNI/RUC: 74070649

CONCEPTO	CODIGO TRIBUT	IMPORTE
CERTIFICADO AMBIENTAL (a)(c)	.3.2 10.1	66.0000
ALQUILER DE EQUIPO DE MEDICION (SONOMETRO)		
TOTAL A PAGAR S/.		66.00

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TUMBES
17 AGO 2026
CANCELADO
CAJERO PAGADOR
TESORERIA

USUARIO

Nº 356013

SOLICITUD DE ALQUILER DE SONÓME

SOLICITA: Alquiler sonómetro para medic

SEÑOR:
ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD PRO

ATENCIÓN: Subgerencia de Gestión Ambi

Yo, **AIRTHON JAVIER FEIJOO SANDO** **74070649**, con domicilio en **Jose Lisnetd** presento y expongo:

Que, por medio de la presente, solicito **sonómetro** perteneciente a la Municipa correspondiente para disponer de dicho **mediciones de niveles de presión sono** puntos de la ciudad de **Tumbes**.

El equipo será utilizado exclusivamente pa **de los niveles de ruido**, como parte de **inve** el adecuado manejo y cuidado del instrumer

Asimismo, solicito que la presente solicitud s **Gestión Ambiental**, en su calidad de área vinculada a la gestión, evaluación y control de los aspectos ambientales dentro de la jurisdicción municipal.

Por lo expuesto, **SOLICITO** a usted se sirva autorizar el alquiler del sonómetro, indicando las condiciones, disponibilidad, costo y periodo de uso del equipo, según corresponda.

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente solicitud, quedo de usted.

Atentamente,

Ing. Airthon Feijoo Sandoval
Docente

AIRTHON JAVIER FEIJOO SANDOVAL
DNI N.° **74070649**
Teléfono: **917839395**
Correo: **airthonfeijoo@gmail.com**

Anexo 03: Base de datos de los resultados del monitoreo de material particulado (PM2,5 Y PM_{10}) en la ciudad de Tumbes, 2026.

El registro de resultados obtenidos mediante el equipo de monitoreo de material particulado, que corresponde a las mediciones realizadas durante el desarrollo de la presente investigación, se encuentran disponibles en el siguiente enlace drive.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1sKv0GBdKLhCN8cDUpvzpbXgJmQI715db/edit?usp=sharing&ouid=$_{10}$199406460365030973 0&rtpof=true&sd=true

Anexo 04: Registro fotográfico del equipo utilizado para el monitoreo de material particulado en la ciudad de tumbes ,20262.



Figura 01: Equipo monitor de material particulado modelo T640, Utilizado para la medición de PM_{10}, $PM_{2,5}$.



Figura 02: Vista externa del equipo de monitoreo de material particulado (modelo T640) instalado durante el trabajo de campo.

Anexo 04: Registro fotográfico del monitoreo de ruido ambiental en la ciudad de Tumbes ,2026.



Fotografía 05: Monitoreo de ruido ambiental en el punto de medición P1, ubicado en la Av. Mariscal castilla / Alfonso Ugarte.



Fotografía 06: Monitoreo de ruido ambiental en el punto (P2), ubicado en Francisco Navarrete 401.



Fotografía 07: Monitoreo de ruido ambiental en la Av. tumbes/ la marina.



Fotografía 08: Monitoreo de ruido en la panamericana norte / con la 24 de julio , representando al punto P9.

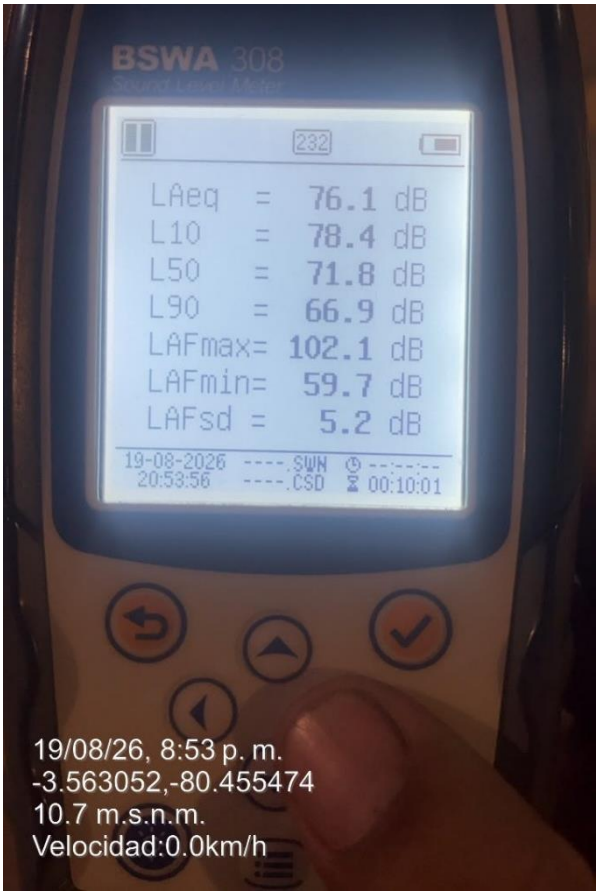


Fotografía 09: Desarrollo de las mediciones de ruido ambiental en la zona de la Calle Arica.

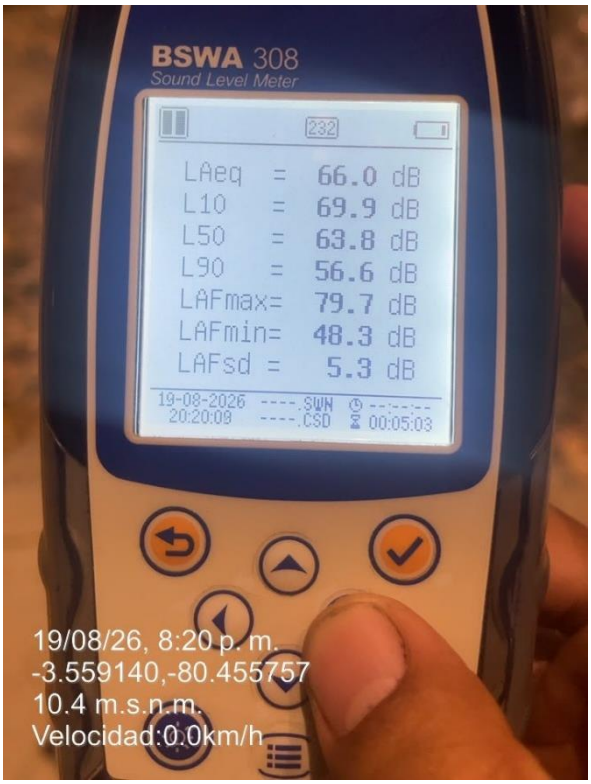


Fotografía 10: Evaluación ambiental de ruido en la Av. Universitaria 531.

Anexo 05: Lectura de resultados de monitoreo de presión sonora.



Fotografía 11: Lectura de los niveles de presión sonora registrados por el sonómetro en el punto de monitoreo de la Calle Arica, tumbes ,2026.



Fotografía 12: Lectura de los niveles de presión sonora registrados por el sonómetro durante 10 minutos en la Av. Tumbes / La Marina.

Anexo 06. Registro fotográfico del muestreo de material particulado sedimentable en la ciudad de Tumbes,2026.



Fotografía 13: Instalación del instrumento de muestreo para la recolección de material particulado sedimentable.



Fotografía 14: Recolección de muestras de material particulado sedimentable en el punto de monitoreo de la calle Tarapacá.

Anexo 07: Registro fotográfico del monitoreo de material particulado en la ciudad de Tumbes,2026



Fotografía 15: Instalación del equipo de monitoreo de material particulado en el punto P1 de la calle Andrés Araujo Moran.



Fotografía 16: Desarrollo del monitore de material particulado en campo de la calle Francisco Navarrete.



Fotografía 17: Congestión vehicular en la Av. mariscal castilla durante el monitoreo.