

CAPÍTULO 4.

RUIDO EN MANIZALES – ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO MEDIANTE SIMULACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

El sonido es definido en la Resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS), como la sensación percibida por el órgano auditivo, debido a la incidencia de ondas de comprensión propagadas en el aire. El calificativo del sonido se asocia entonces a toda perturbación que se propaga en un medio elástico, produzca sensación audible o no, por ende, debe existir una fuente emisora, un medio de propagación y un receptor capaz de percibir el mismo (MADS, 2006).

Existen diversas definiciones del concepto de ruido. Por ejemplo, Tolosa (2003) establece que el ruido es un sonido compuesto de múltiples frecuencias, no articulado, de cierta intensidad, y que puede molestar o perjudicar a las personas. Ochoa (1990), establece que el ruido puede definirse simplemente como un sonido “indeseado” y por tanto molesto. En términos generales, dentro del término ruido están incluidas las características físicas del fenómeno y las psicofisiológicas del receptor, catalogándolo como un factor indeseable de las actividades normales diarias de la sociedad (MADS, 2006).

El ruido puede considerarse como el cuarto contaminante para el hombre y para el medio ambiente después del aire, del agua y de los residuos sólidos, (Tolosa, 2003), tomando en ocasiones una connotación subjetiva dado que un mismo sonido puede resultar molesto para una persona (ruido) pero no para otra (sonido). Esta característica de subjetividad junto con las diversas variables que lo definen físicamente hace del ruido un fenómeno complejo.

En desarrollo del Convenio 097-2023, se definió como uno de sus temas de interés el estudio de ruido ambiental en Manizales a partir de la elaboración de mapas de ruido en la ciudad. En este sentido, se definió como alcance la elaboración de mapas de ruido a partir de la modelización con un software especializado, tomando como principal fuente generadora de ruido la información existente del tráfico vehicular. Para la elaboración de los mapas, el alcance del ejercicio planteó la priorización de cuatro (4) zonas de la ciudad, definidas en conjunto con CORPOCALDAS y tomando como base el último Plan de Gestión de Ruido elaborado por AAC y CORPOCALDAS (2019).

4.2. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RUIDO EN CUATRO SECTORES PRIORIZADOS DE MANIZALES

Con el objetivo de llevar a cabo la elaboración de los mapas de ruido, fue empleado el software de simulación de ruido SounPlan Noise v9.0. El modelo de simulación SoundPlan es un software ampliamente utilizado en estudios relacionados con el campo de la acústica ambiental, cuenta actualmente con dos versiones, la versión básica, denominada SounPLan Essential, el cual es un modelo de interfaz única que permite la generación de mapas de ruido bidimensionales, incorporando diversas fuentes de emisión. De otra parte, la versión más robusta del modelo, denominada SopundPlan Noise, se caracteriza por una arquitectura de simulación modular que permite incorporar diversas características según las necesidades del usuario, e incluye la obtención de resultados de mapas de ruido tanto bidimensionales como tridimensionales. La licencia estándar del SounPlan Noise cuenta con los siguientes módulos de importancia para efectos del alcance de los mapas de ruido a generar en desarrollo del Convenio:

- Base geográfica
- Propagación de ruido de carreteras e industrias
- Asignación de ruido de fondo
- Acústica en edificaciones
- Herramientas para ruido industrial
- Cálculo de mapas de ruido en fachadas
- Cálculo de mapas de ruido
- Cartografía e Interfaz GIS
- Gráficos y animaciones 3D

Como aspecto fundamental para la modelización de ruido, se llevó a cabo la delimitación de las zonas priorizadas para la obtención de los mapas de ruido y el tratamiento de la información cartográfica necesaria para la generación de los proyectos de simulación con SoundPLan Noise. Adicionalmente, se recopiló la información oficial existente de aforos vehiculares realizados recientemente en la ciudad, así como ejercicios de simulación de tráfico que pueda ser útil para ingresar en el modelo los registros de tráfico por sección de vía diseñada en las simulaciones de ruido.

La Figura 79 resume el esquema metodológico para la obtención de los mapas de ruido ambiental a través de la simulación con SoundPlan. En términos generales, se deben llevar a cabo las siguientes actividades:

1. Delimitación de áreas de estudio.
2. Generación de la base cartográfica, etapa que se requiere para la creación de los modelos tridimensionales de terreno (topografía), vías, zonas de atenuación y edificaciones en el modelo.
3. Configuración base de la simulación. Esta etapa incluye aspectos como la definición de la normativa aplicable, periodos a evaluar, condiciones ambientales y tipos de fuentes.
4. Generación del modelo tridimensional del área de estudio.
5. Definición en el modelo de las características de las fuentes de emisión de ruido a considerar, tales como características de tráfico, información acústica de fuentes puntuales de emisión de ruido de importancia en las zonas de estudio.
6. Simulación de ruido para periodos diurno y nocturno. Cálculo de los mapas de ruido.

7. Procesamiento y análisis de resultados obtenidos.



Figura 79. Esquema metodológico para la generación de mapas de ruido ambiental

Fuente: propia

4.2.1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO

Como se mencionó previamente, las zonas priorizadas fueron definidas tomando como base el último Plan de Gestión de Ruido elaborado por AAC y CORPOCALDAS (2019). La Figura 80 muestra el mapa con la delimitación de las zonas priorizadas en la ciudad de Manizales para el presente Convenio, en los sectores del centro histórico, Fundadores, Cable-Milán y Maltería. Una vez definidas las dos zonas de estudio, se realizó una delimitación cartográfica con el software de información geográfica (SIG), QGIS, teniendo los siguientes límites en cada sector de análisis:

Zona 1: Centro

Esta zona de estudio (ver acercamiento en la Figura 81) limita al norte y sur con las carreras 17 y 25 respectivamente. Los límites al oriente y occidente son las calles 25 y 18 respectivamente. Este sector se enfoca en analizar principalmente la dinámica de ruido sobre la Carrera 23, y el sector de la Plaza de Bolívar.

Zona 2: Cable-Milán

Esta zona de estudio (ver acercamiento en la Figura 82) se enfoca en analizar principalmente la dinámica de ruido sobre la Avenida Santander, en sectores de importancia como el Cable, Milán y áreas circundantes que tienen una dinámica comercial y gastronómica (sector de la zona rosa).

Zona 3: Centro-Fundadores

Esta zona de estudio (ver acercamiento en la Figura 83) cubre el sector de Fundadores y la avenida Alerto Mendoza principalmente. Limita al norte con la carrera 17 y al sur con la carrera 24. Este sector se enfoca en analizar principalmente la dinámica de ruido sobre la avenida Alerto Mendoza, y el sector de Fundadores.

Zona 4: Maltería

Esta zona de estudio (ver acercamiento en la Figura 84) se enfoca en analizar principalmente la dinámica de ruido sobre la zona industrial de Maltería. Cubre una amplia zona donde se encuentran algunas industrias de importancia del sector metalúrgico, alimentos y manufactura. Asimismo, cubre asentamientos residenciales como los barrios Bosques de la Enea y parte de la Alhambra, e incluye al SENA dentro del área de simulación.

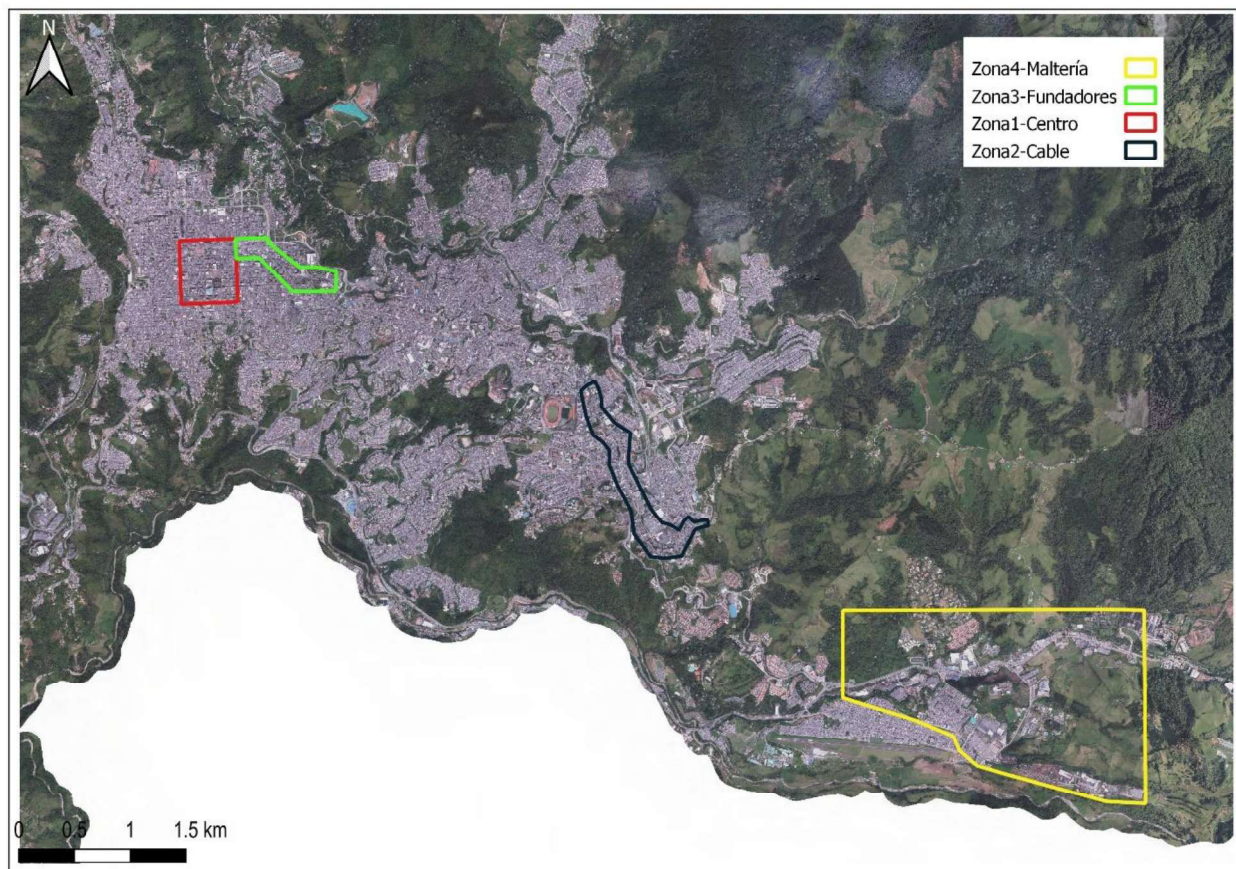


Figura 80. Mapa de la zona urbana de Manizales con delimitación de los sectores priorizados para la generación de los mapas de ruido ambiental

Fuente: propia. Mapa base ortofoto de la Alcaldía de Manizales

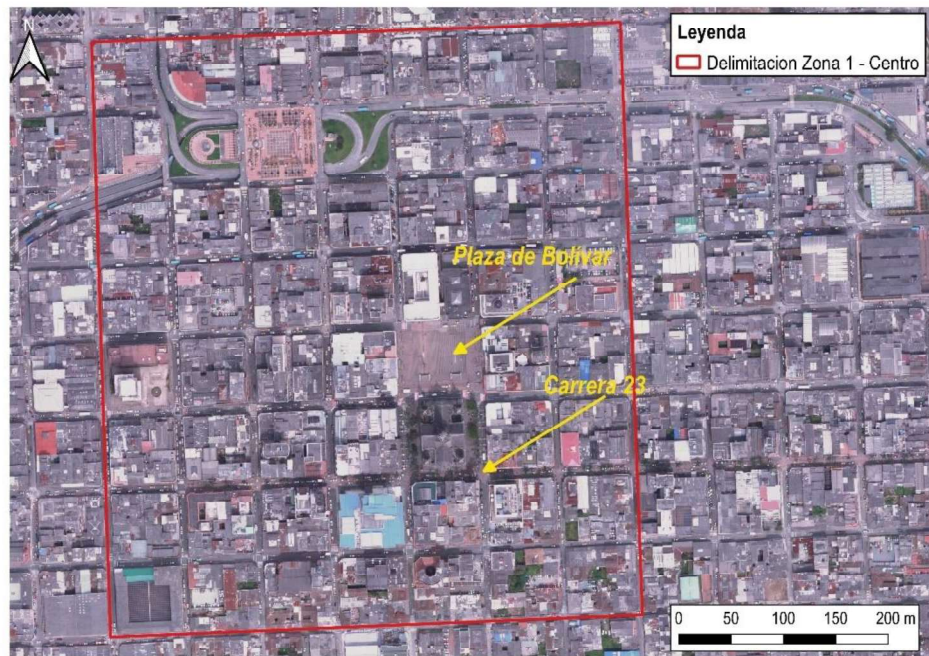


Figura 81. Mapa con acercamiento sobre los límites de la Zona 1 – Centro

Fuente: propia. Mapa base ortofoto de la Alcaldía de Manizales

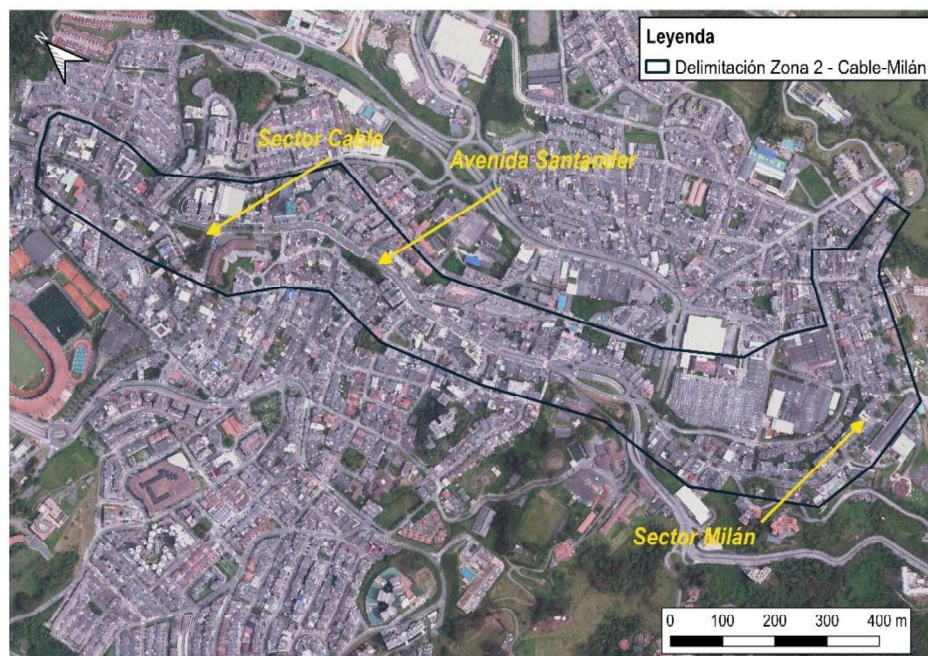


Figura 82. Mapa con acercamiento sobre los límites de la Zona 2 - Cable-Milán

Fuente: propia. Mapa base ortofoto de la Alcaldía de Manizales



Figura 83. Mapa con acercamiento sobre los límites de la Zona 3 – Centro Fundadores

Fuente: propia. Mapa base ortofoto de la Alcaldía de Manizales

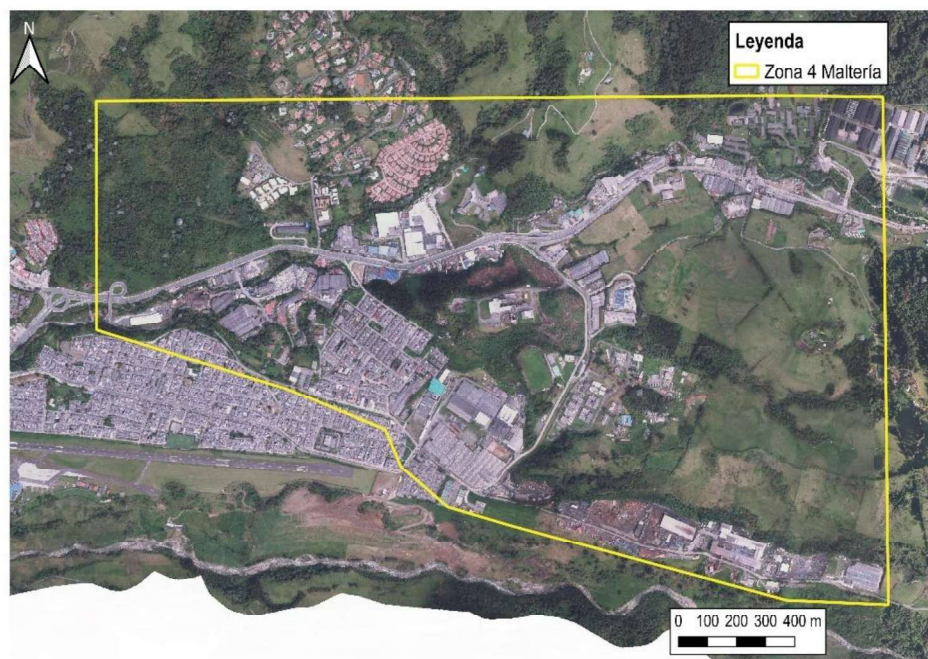


Figura 84. Mapa con acercamiento sobre los límites de la Zona 4 - Maltería

Fuente: propia. Mapa base ortofoto de la Alcaldía de Manizales

4.2.2. ESTRUCTURACIÓN DE LA BASE CARTOGRÁFICA Y ELABORACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL EN SOUNDPLAN

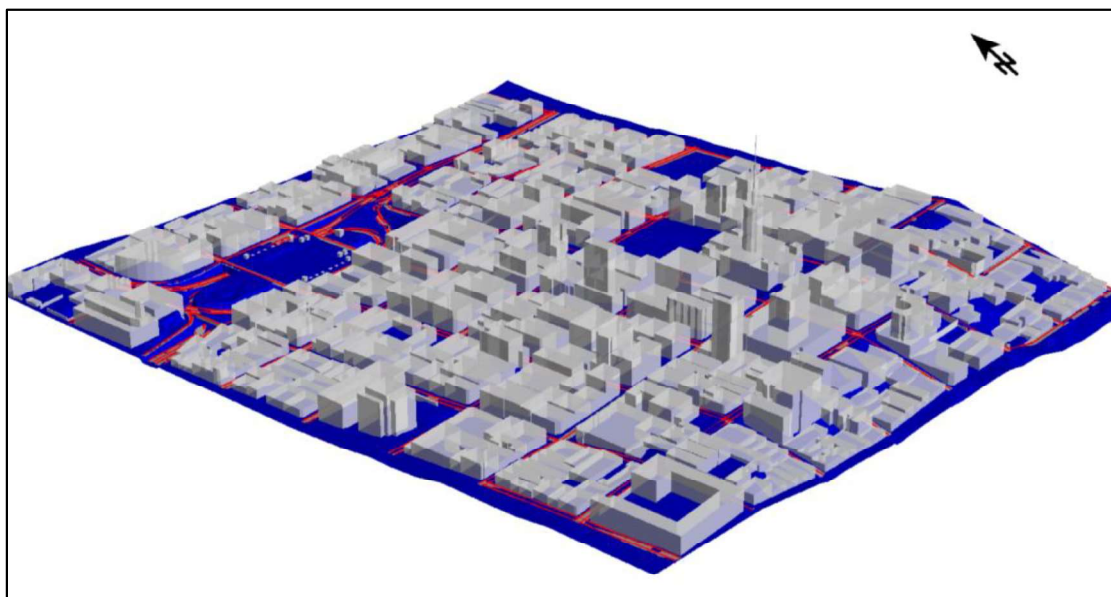
4.2.2.1. Generación de insumos para el modelo de elevación digital

Gracias a las gestiones de los investigadores del Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA) de la UNAL Sede Manizales, se cuenta actualmente con la información oficial más actualizada (año 2021) del modelo de elevación digital (DEM) y la ortofoto del municipio de Manizales, información cartográfica de gran importancia para generar el modelo tridimensional del terreno y edificaciones, necesario para la simulación en SoundPlan.

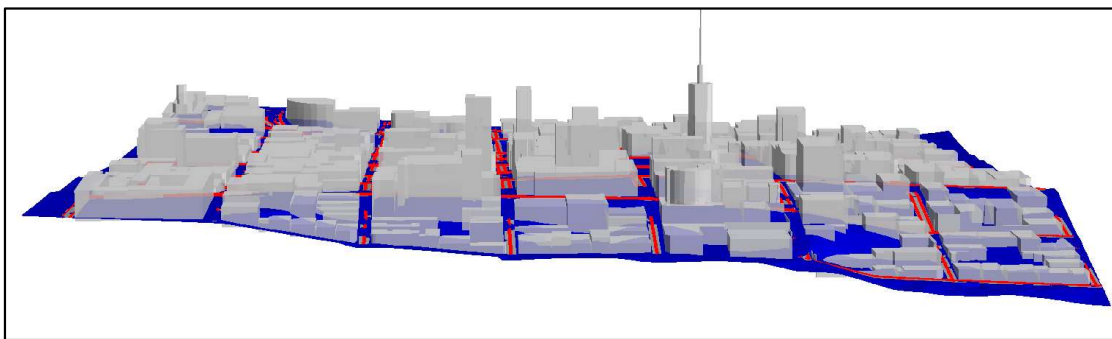
El mapa ráster DEM del municipio de Manizales cuenta con una resolución de 1m de tamaño de píxel. A partir de este mapa y empleando el SIG de licencia libre, QGIS, se realizó un trabajo de mapas cartográficos que permitió generar puntos de elevación georreferenciados de cada uno de los sectores priorizados y delimitados. Los puntos de elevación fueron creados con una resolución (distancia entre puntos) de 1m en las zonas 1 y 3, 2 m en la zona 2 y 4 m en la zona 4.

4.2.2.2. Elaboración del modelo tridimensional con información del terreno, edificaciones y vías

Adicional a la información de puntos de elevación, se estructuraron en SIG los mapas de edificaciones y vías, información que se incluyó en el modelo SoundPlan para la obtención del modelo tridimensional de las zonas de estudio. Una representación de los mapas tridimensionales generados se presenta en la Figura 85 (Zona 1 - Centro), Figura 86 (Zona 2 – Cable-Milán), Figura 87 (Zona 3 – Centro Fundadores) y Figura 88 (Zona 4 – Maltería)..



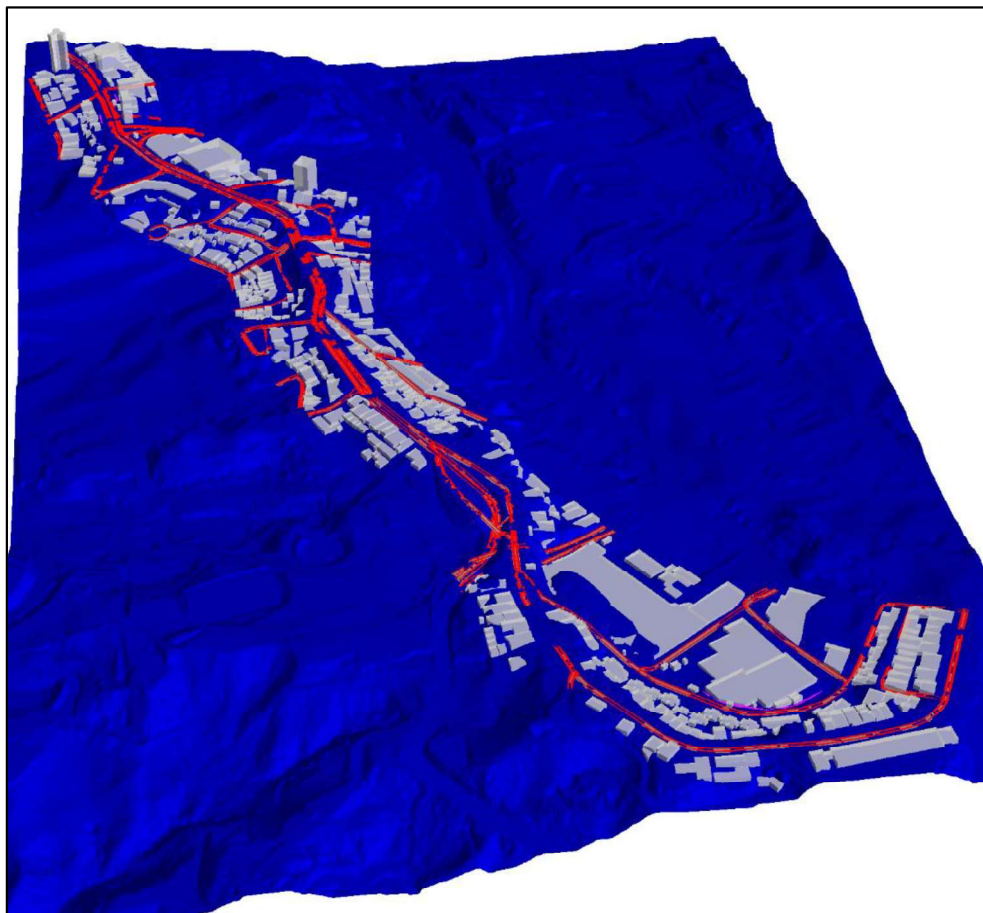
(a)



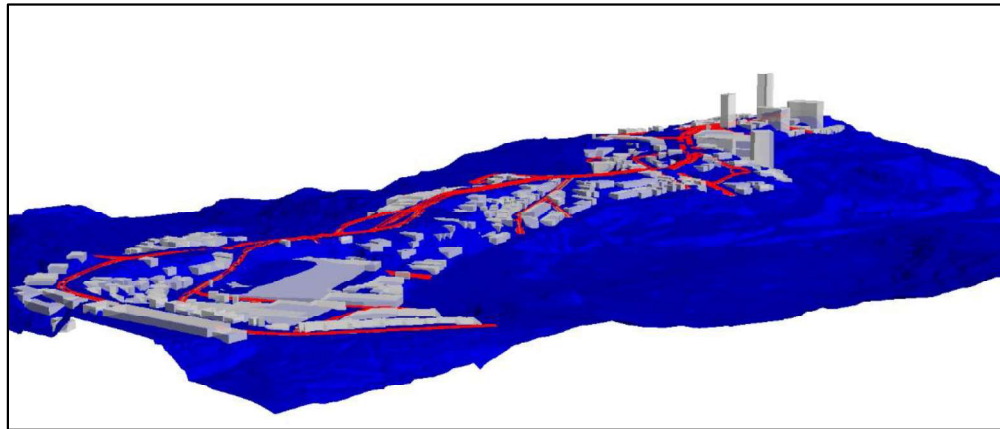
(b)

Figura 85. Representación del modelo tridimensional elaborado para la simulación de ruido en la Zona 1 – Centro. a) Vista en planta. b) Vista frontal

Fuente: propia



(a)

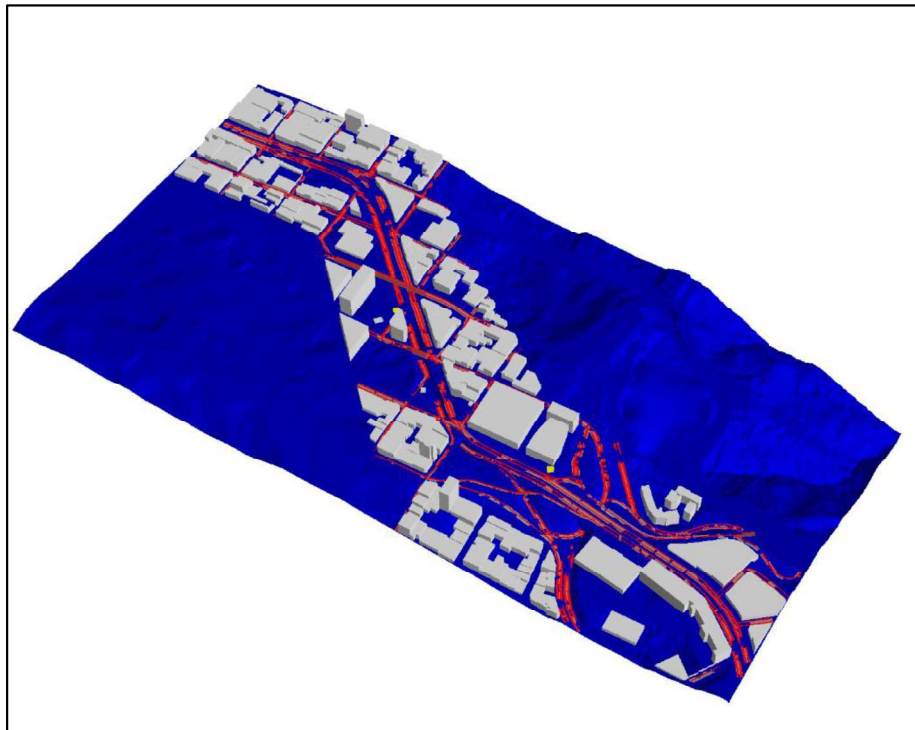


(b)

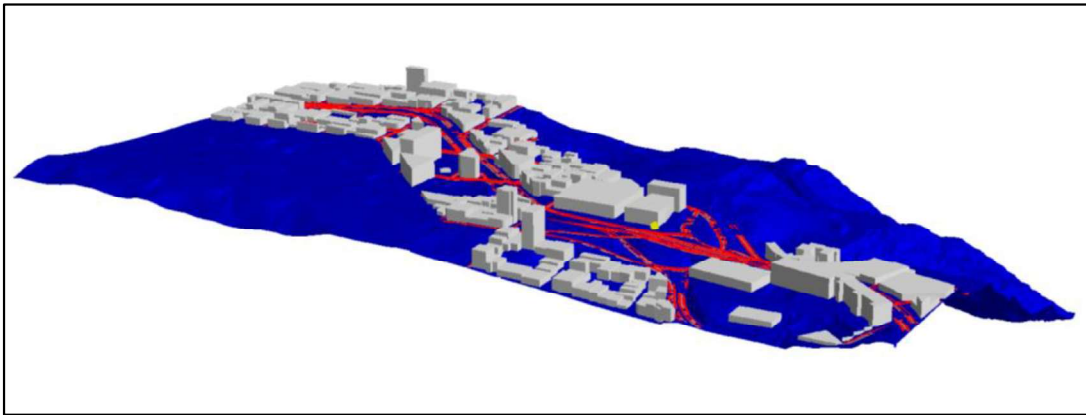
Figura 86. Representación del modelo tridimensional elaborado para la simulación de ruido en la Zona 2 - Cable-Milán.

a) Vista en planta. b) Vista frontal

Fuente: propia



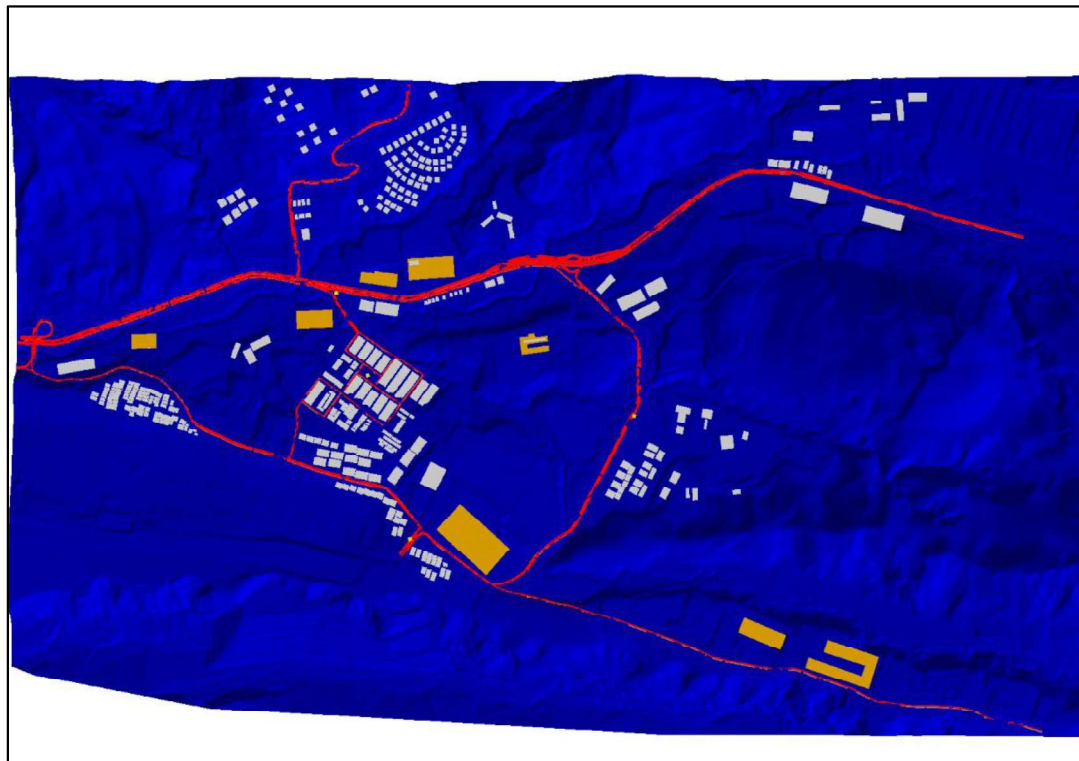
(a)



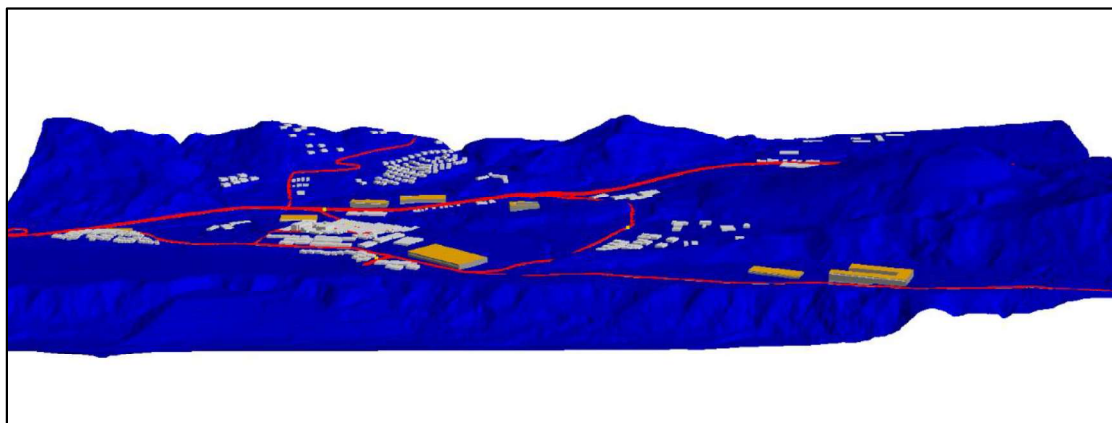
(b)

Figura 87. Representación del modelo tridimensional elaborado para la simulación de ruido en la Zona 3 – Centro Fundadores. a) Vista en planta. b) Vista frontal

Fuente: propia



(a)



(b)

Figura 88. Representación del modelo tridimensional elaborado para la simulación de ruido en la Zona 4 - Maltería. a) Vista en planta. b) Vista frontal

Fuente: propia

4.2.3. CONFIGURACIÓN DE LA NORMATIVA DE CÁLCULO Y FUENTES DE EMISIÓN

El modelo SoundPlan contiene distintos referentes normativos a partir de los cuales se caracterizan las fuentes de emisión a tener en cuenta en los ejercicios de simulación de ruido ambiental. Asimismo, a partir de los referentes normativos que se establezcan en la configuración base del modelo, es posible definir las características propias de los periodos a evaluar, como es el caso de periodos diurno y nocturno; así como los niveles de referencia a tener en cuenta en la evaluación posterior de los resultados del modelo de ruido.

Para los ejercicios de simulación del presente estudio, y teniendo en cuenta el alcance del proyecto en relación con los mapas de ruido ambiental, se tienen como base principal las fuentes de generación de ruido asociadas al tráfico vehicular. Adicionalmente, con el fin de generar un resultado con la mayor representatividad posible, se incluyeron algunos focos puntuales relevantes asociados con actividades industriales y comerciales, estas últimas asociadas principalmente con establecimientos que funcionan de forma intermitente, predominantemente en horarios nocturnos en la zona Cable-Milán. De otra parte, en el sector de Maltería se tuvieron en cuenta las industrias principales dentro del área de estudio y la información recopilada en los expedientes ambientales de la Corporación en relación con los tipos de procesos, jornadas de trabajo, actividad económica, entre otros. Teniendo en cuenta la complejidad y dificultad inherente en la caracterización de las fuentes estacionarias descritas, se empleó la biblioteca de fuentes de ruido del modelo para incluir valores de potencia sonora de referencia de acuerdo con las características de cada fuente estacionaria incluida. En el caso del tráfico, como se mencionó previamente, se empleó la información secundaria de conteos vehiculares y registros de tráfico horario obtenidos como resultado de ejercicios recientes de simulación con modelos de tráfico. La Tabla 38 resumen las características generales de las fuentes descritas y la normativa de cálculo definida en el modelo para las fuentes de emisión de ruido.

Tabla 38. Características generales de las fuentes de emisión y su normativa de cálculo seleccionada en SoundPlan

Tipo de fuente	Normativa de cálculo en el modelo SoundPlan	Características principales de la normativa	Fuente de información para definir los niveles de potencia sonora
Tráfico vehicular	Cnossos-EU	Permite diferenciar la emisión de ruido para cinco (5) categorías vehiculares: vehículos livianos, vehículos pesados medianos, vehículos pesados grandes, motocicletas y ciclomotores	- Conteos vehiculares - Modelo de tráfico
Fuentes industriales	Norma ISO 9613-2:1996	Esta normativa de cálculo permite establecer la propagación del sonido en exteriores a partir de la caracterización de la potencia sonora de las fuentes de ruido estacionarias.	Biblioteca de fuentes de emisión del modelo SoundPlan

Fuente: Elaboración propia con base en información técnica del modelo SoundPlan Noise v9.0

De otra parte, se configuró el modelo para tener como referente en los resultados y criterio de evaluación, la normativa colombiana en su Resolución 0627 de 2006, que define los intervalos horarios de los periodos diurno (07:01 – 21:00) y nocturno (21:01 – 07:00), así como los valores de referencia de ruido ambiental en términos del nivel de presión sonora equivalente L_{eq} para distintos sectores categorizados en la norma (Tabla 39). Es importante aclarar que los resultados obtenidos en la generación de los mapas de ruido, son de tipo promedio anual en relación con cada periodo evaluado.

Tabla 39. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental para diferentes sectores estipulados en la Resolución 0627 de 2006

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles para niveles de ruido ambiental dB(A)	
		Período diurno	Período nocturno
		De las 07:01 a las 21:00 horas	De las 21:01 a las 07:00 horas
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos	55	45
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios,	70	55

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles para niveles de ruido ambiental dB(A)	
		Período diurno	Período nocturno
		De las 07:01 a las 21:00 horas	De las 21:01 a las 07:00 horas
	restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos		
	Zonas con usos permitidos de oficinas	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre	80	70
Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria		
	Zonas de recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales		

Fuente: MADS (2006)

4.2.4. REALIZACIÓN DE JORNADAS DE MEDICIÓN DE RUIDO COMO BASE PARA AJUSTAR DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Con el fin de obtener los menores sesgos posibles en los resultados de simulación, se realizaron una serie de campañas de campo de corta duración en las cuales se registraron los niveles de ruido ambiental durante periodos diurno y nocturno en puntos estratégicos de las cuatro zonas de estudio.

Los monitoreos fueron realizados con el apoyo técnico de funcionarios de CORPOCALDAS, a través del laboratorio ambiental de dicha institución, la cual cuenta con acreditación en monitoreo de ruido ambiental. Las fichas de campo presentadas a continuación, resumen la información general de las estaciones de monitoreo seleccionadas.

Tabla 40. Ficha de campo punto de monitoreo Z1-P1

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z1-P1	
Nombre de la estación: CAI Plaza Alfonso López	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:30 – 12:00 / Nocturno: 19:32 – 20:34
Coordenadas geográficas: 5.07011859, -75.51842904	Sector: Zona 1 - Centro
Registro fotográfico	
	
	

Fuente: Propia

Tabla 41. Ficha de campo punto de monitoreo Z1-P2

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z1-P2	
Nombre de la estación: Plaza de Bolívar	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:29 – 11:59
Coordenadas geográficas: 5.06831174, -75.51716478	Sector: Zona 1 - Centro
Registro fotográfico	
	
	

Fuente: Propia

Tabla 42. Ficha de campo punto de monitoreo Z1-P3

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z1-P3	
Nombre de la estación: Carrera 23 – Palacio de Justicia	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:08 – 12:00 / Nocturno: 18:58 – 19:30
Coordenadas geográficas: 5.06700103, -75.51820218	Sector: Zona 1 - Centro
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 43. Ficha de campo punto de monitoreo Z1-P4

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z1-P4	
Nombre de la estación: Carrera 22 – Alcaldía de Manizales	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:13 – 12:00 / Nocturno: 19:34 – 20:30
Coordenadas geográficas: 5.06770978, -75.51970706	Sector: Zona 1 - Centro
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 44. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P1

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P1	
Nombre de la estación: Calle 77 - Milán sector fuente	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:10 – 10:05 / Nocturno: 19:09 – 19:46
Coordenadas geográficas: 5.06770978, -75.51970706	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	

Fuente: Propia

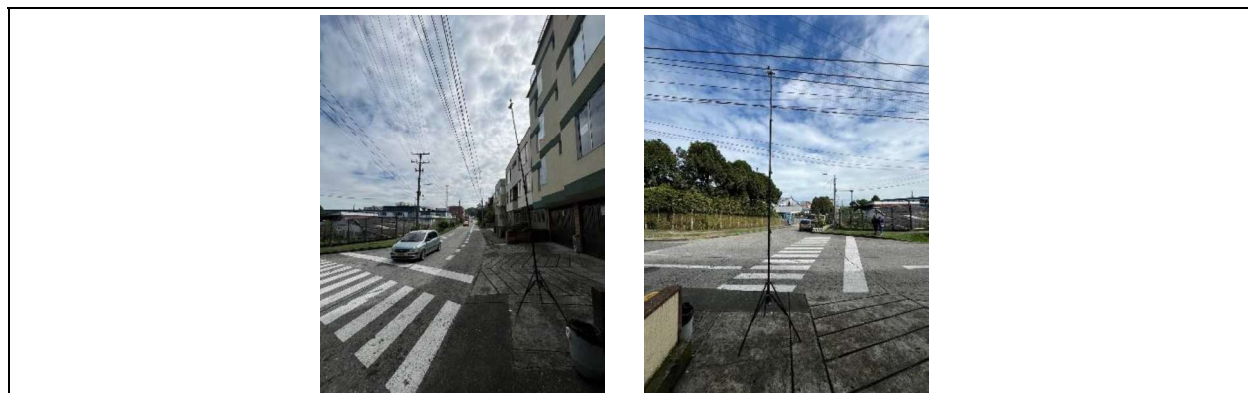
Tabla 45. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P2

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P2	
Nombre de la estación: Milán - Sector colegio Santa Inés	Periodos de monitoreo: Diurno: 08:12 – 09:00
Coordenadas geográficas: 5.04557696, -75.48120109	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 46. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P3

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P3	
Nombre de la estación: Calle 76 - Milán sector Incolma	Periodos de monitoreo: Diurno: 09:06 – 10:07 / Nocturno: 19:09 – 19:46
Coordenadas geográficas: 5.04647841, -75.48020820	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	




Fuente: Propia

Tabla 47. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P4

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P4	
Nombre de la estación: Calle 75 - Milán sector Mabe	Periodos de monitoreo: Diurno: 08:01 – 09:01 / Nocturno: 18:54 – 19:47
Coordenadas geográficas: 5.04617188, -75.48113293	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 48. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P5

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P5	
Nombre de la estación: Cable – Av. Santander, edif. Cervantes	Periodos de monitoreo: Diurno: 10:23 – 11:46 / Nocturno: 19:00 – 20:39
Coordenadas geográficas: 5.05705353, -75.48647707	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 49. Ficha de campo punto de monitoreo Z2-P6

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z2-P6	
Nombre de la estación: Cable – Av. Santander, torre del Cable	Periodos de monitoreo: Diurno: 10:29 – 11:44 / Nocturno: 19:10 – 20:30
Coordenadas geográficas: 5.05615239, -75.48622087	Sector: Zona 2 – Cable-Milán
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 50. Ficha de campo punto de monitoreo Z3-P1

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z3-P1	
Nombre de la estación: Fundadores – Av. Santander	Periodos de monitoreo: Diurno: 10:40 – 11:40 / Nocturno: 19:20 – 20:00
Coordenadas geográficas: 5.06806061, -75.51017898	Sector: Zona 3 – Centro Fundadores
Registro fotográfico	
	

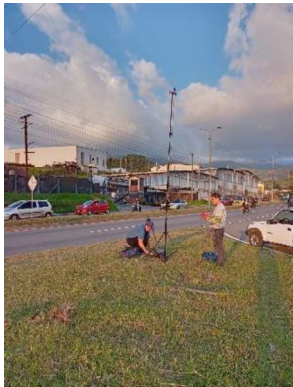
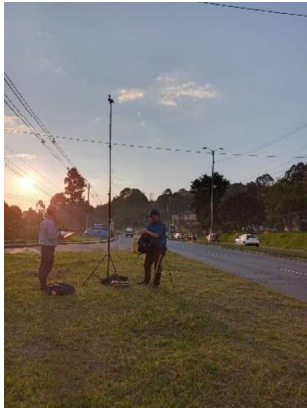
Fuente: Propia

Tabla 51. Ficha de campo punto de monitoreo Z3-P2

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z3-P2	
Nombre de la estación: CAI Parque Caldas – Av. Gilberto Alzate	Periodos de monitoreo: Diurno: 10:50 – 11:50 / Nocturno: 19:25 – 20:25
Coordenadas geográficas: 5.06900645, -75.51255124	Sector: Zona 3 – Centro Fundadores
Registro fotográfico	
	



Fuente: Propia

Tabla 52. Ficha de campo punto de monitoreo Z4-P1

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z4-P1	
Nombre de la estación: Sector Madeal - Alhambra	Periodos de monitoreo: Diurno: 17:20 – 18:20 / Nocturno: 19:20 – 20:20
Coordenadas geográficas: 5.03600012, -75.45858921	Sector: Zona 4 – Maltería
Registro fotográfico	
	



Fuente: Propia

Tabla 53. Ficha de campo punto de monitoreo Z4-P2

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z4-P2	
Nombre de la estación: Bosques de la Enea	Periodos de monitoreo: Diurno: 17:00 – 18:00 / Nocturno: 20:30 – 21:30
Coordenadas geográficas: 5.03600012, -75.45858921	Sector: Zona 4 – Maltería
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 54. Ficha de campo punto de monitoreo Z4-P3

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z4-P3	
Nombre de la estación: SENA	Periodos de monitoreo: Diurno: 15:45 – 16:45 / Nocturno: 19:15 – 20:15
Coordenadas geográficas: 5.03296102, -75.45135313	Sector: Zona 4 – Maltería
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Tabla 55. Ficha de campo punto de monitoreo Z4-P4

Punto de monitoreo de ruido ambiental Z4-P4	
Nombre de la estación: SENA	Periodos de monitoreo: Diurno: 16:00 – 17:00 / Nocturno: 20:40 – 21:40
Coordenadas geográficas: 5.02998322, -75.45670902	Sector: Zona 4 – Maltería
Registro fotográfico	
	

Fuente: Propia

Los resultados de los niveles de presión sonora continua equivalente para cada periodo monitoreado en las estaciones descritas, se resumen en la Tabla 56 a la Tabla 59. Estos valores de ruido ambiental fueron empleados para realizar un ajuste en los resultados de simulación obtenidos en los ejercicios previos de modelación de ruido, descritos en informes de avance previos del presente Convenio.

Es importante mencionar que la campaña de campo incluyó además un ejercicio de conteo vehicular, información de gran utilidad que permitió ajustar los flujos de tráfico de las vías de importancia en cada zona de estudio. En el Anexo 6 se incluyen los resultados consolidados de los conteos vehiculares obtenidos, así como el resumen de factores de ajuste estimados para recalcular los niveles de tráfico.

Tabla 56. Resultados consolidados de los niveles de presión sonora continua equivalente, medidos en puntos asociados a las estaciones de monitoreo de la zona 1 – Centro, y valores simulados en puntos de receptores con SoundPlan

Estación	Periodo	LAeq (dB)	LAeq (dB)*	Resultado modelo – Receptor a 4m (dB)
Zona 1 - Centro				
CAI Plaza Alfonso López. Z1-P1	Diurno	73.6	75.7	72.7
	Nocturno	71.1	75.0	72.5
Plaza de Bolívar. Z1-P2	Diurno	67.3	69.5	64.0
Cra. 23. Palacio de Justicia. Z1-P3	Diurno	68.4	72.3	67.0
	Nocturno	67.2	70.2	65.2
Cra. 22. Alcaldía de Manizales. Z1-P4	Diurno	69.4	72.0	74.6
	Nocturno	71.4	75.0	72.9

*Valor del nivel de presión sonora corregido por impulsividad
Fuente: Propia

Tabla 57. Resultados consolidados de los niveles de presión sonora continua equivalente, medidos en puntos asociados a las estaciones de monitoreo de la zona 2 – Cable-Milán, y valores simulados en puntos de receptores con SoundPlan

Estación	Periodo	LAeq (dB)	LAeq (dB)*	Resultado modelo – Receptor a 4m (dB)
Zona 2 – Cable-Milán				
Calle 77 – Milán sector fuente. Z2-P1	Diurno	62.6	66.3	65.3
	Nocturno	66.5	71.2	65.6
Milán - Sector colegio Santa Inés. Z2-P2	Diurno	63.8	66.2	69.3
Calle 76 – Milán sector Incolma. Z2-P3	Diurno	67.0	69.8	68.4
Calle 75 – Milán sector Mabe. Z2-P4	Diurno	65.6	67.6	66.8
	Nocturno	68.8	72.5	64.0
Cable – Av. Santander, edif. Cervantes. Z2-P5	Diurno	67.8	70.8	69.7

Estación	Periodo	LAeq (dB)	LAeq (dB)*	Resultado modelo – Receptor a 4m (dB)
Cable – Av. Santander, torre del Cable. Z2-P6	Nocturno	67.9	69.9	68.0
	Diurno	71.7	74.2	71.0
	Nocturno	73.5	76.1	68.8

*Valor del nivel de presión sonora corregido por impulsividad

Fuente: Propia

Tabla 58. Resultados consolidados de los niveles de presión sonora continua equivalente, medidos en puntos asociados a las estaciones de monitoreo de la zona 3 – Centro Fundadores, y valores simulados en puntos de receptores con SoundPlan

Estación	Periodo	LAeq (dB)	LAeq (dB)*	Resultado modelo – Receptor a 4m (dB)
Zona 3 – Centro Fundadores				
Fundadores-P1	Diurno	76.3	78.3	75.8
	Nocturno	74.3	78.2	74.2
CAI Parque Caldas-P2	Diurno	73.4	74.8	74.8
	Nocturno	71.8	72.9	74.18

*Valor del nivel de presión sonora corregido por impulsividad

Fuente: Propia

Tabla 59. Resultados consolidados de los niveles de presión sonora continua equivalente, medidos en puntos asociados a las estaciones de monitoreo de la zona 4 – Maltería, y valores simulados en puntos de receptores con SoundPlan

Estación	Periodo	LAeq (dB)	LAeq (dB)*	Resultado modelo – Receptor a 4m (dB)
Zona 4 – Maltería				
Sector Madeal-Alhambra – P1	Diurno	74.2	75.8	74.5
	Nocturno	70.6	72.3	69.9
Bosques de la Enea. Parque Calle 105 – P2	Diurno	59.8	61.7	63.8
	Nocturno	61.2	63.7	59.5
SENA – P3	Diurno	76.6	79.4	75.3
	Nocturno	71.8	74.8	69.3
Enea control buses – P4	Diurno	70.3	72.6	73.1
	Nocturno	64.1	68.1	64.3

*Valor del nivel de presión sonora corregido por impulsividad

Fuente: Propia

En relación con la evaluación del ajuste de los diferentes ejercicios de simulación de ruido, fueron estimados los estadísticos de desempeño MB, MGE y RMSE, cuya formulación matemática se presentó previamente en el capítulo 3. La presenta los resultados obtenidos, aclarando que las comparaciones con respecto a los valores observados, tuvieron en cuenta las mediciones sin aplicar el factor de corrección por impulsividad, tonalidad o frecuencia. Lo anterior, soportado en que dicha corrección no se aplica en la simulación; así mismo, que desde el fenómeno físico de percepción del ruido, puede ser más realista la comparación con el valor observado sin corregir. Los resultados muestran un buen ajuste en los ejercicios de simulación, con valores de sesgos absolutos que variaron entre 0.9 y 2.7dB para los periodos de evaluación en las cuatro zonas de estudio.

Tabla 60. Valores de estadísticos de desempeño obtenidos en la evaluación de los resultados de simulación de ruido para periodos diurno (D) y nocturno (N)

Estadístico	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
	D	N	D	N	D	N	D	N
MB	-0.1	0.3	2.0	-2.6	0.4	1.1	1.5	-1.2
MGE	2.7	1.6	2.2	2.6	0.9	1.2	2.1	1.3
RMSE	3.2	1.7	2.7	3.4	1.1	1.7	2.5	1.5

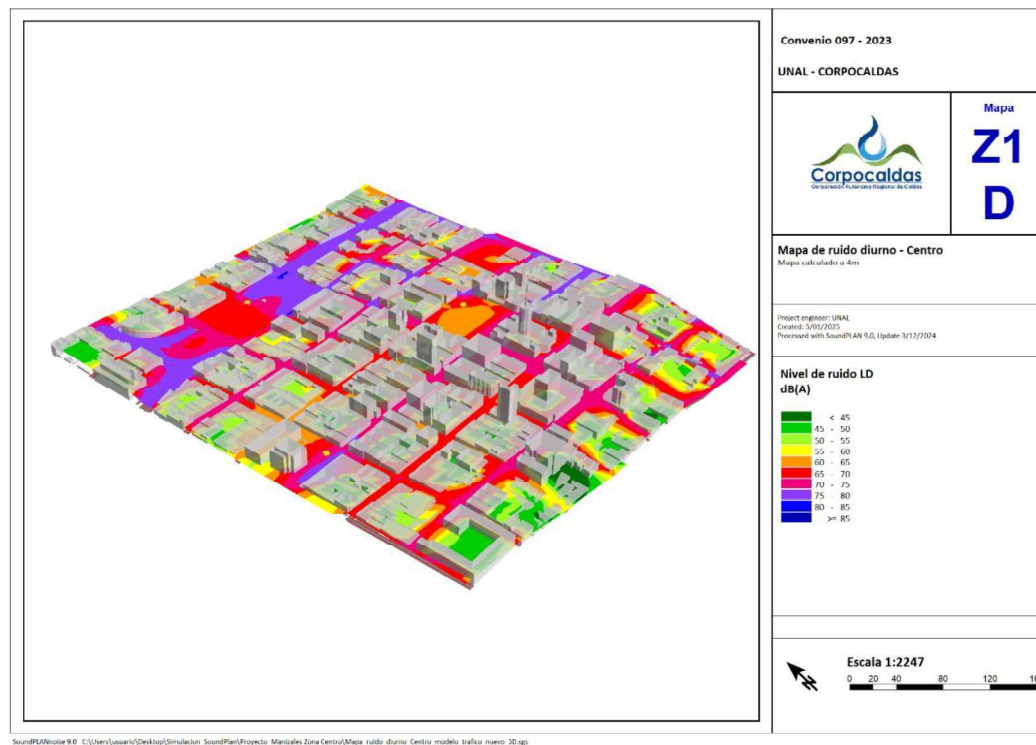
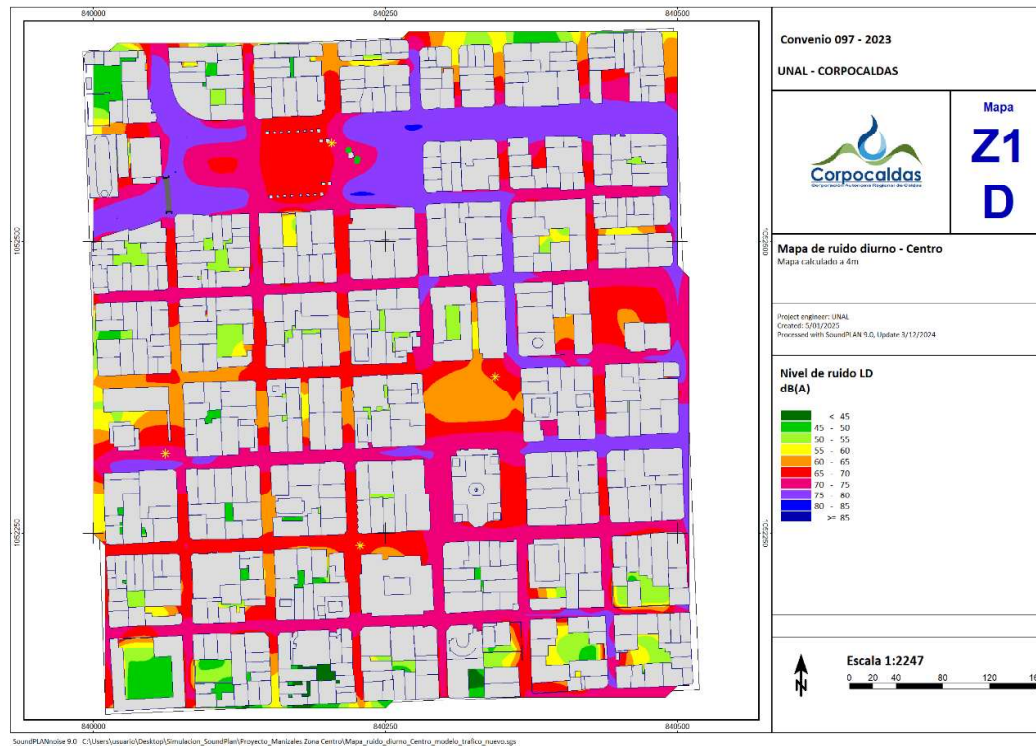
Fuente: Propia

4.3. RESULTADOS AJUSTADOS DE LOS MAPAS DE RUIDO EN LOS SECTORES PRIORIZADOS DE MANIZALES

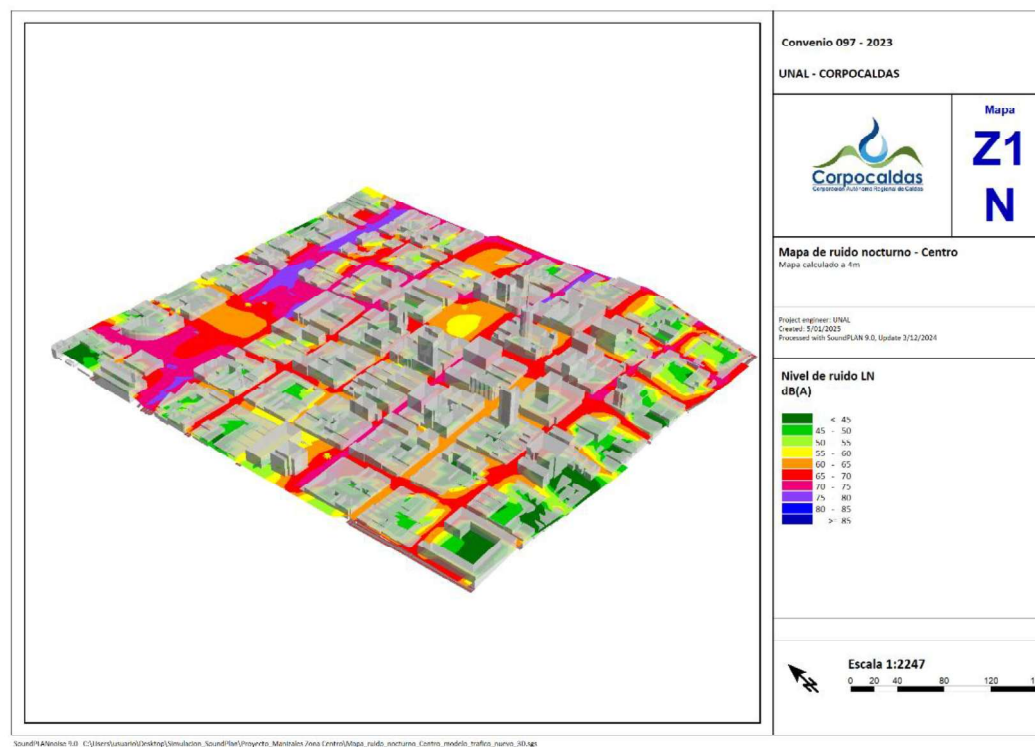
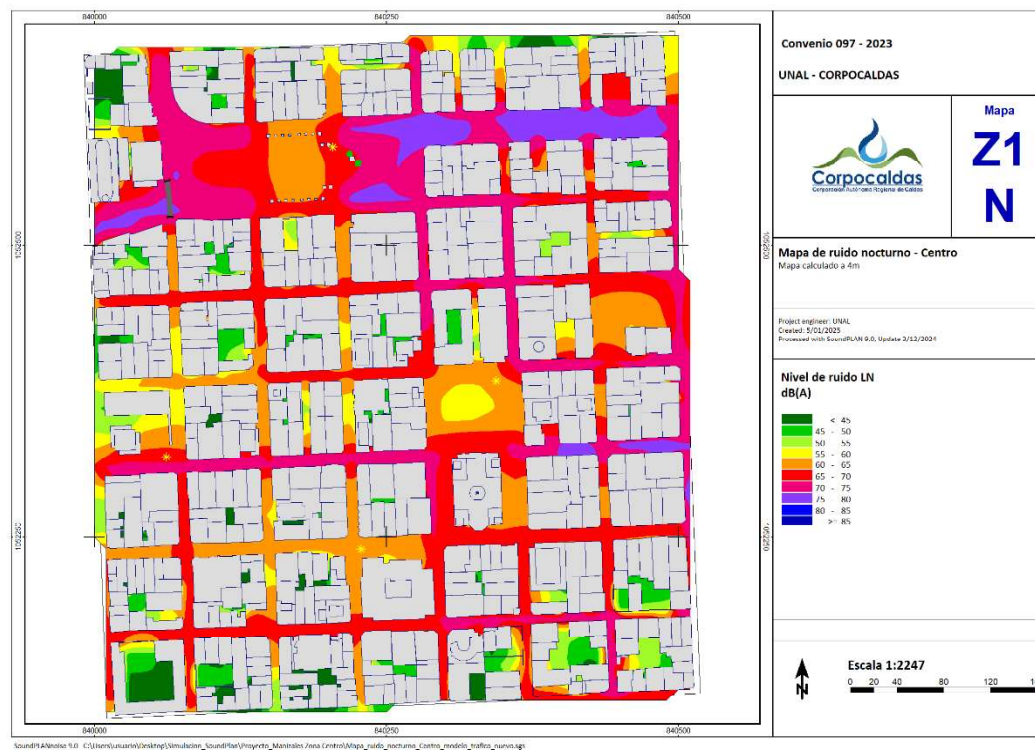
Se presenta en esta sección los resultados de los mapas de ruido obtenidos para las zonas priorizadas posterior al proceso de ajuste realizado a partir de la información obtenida en las campañas de campo. El Anexo 6 contiene los archivos cartográficos en formato shapefile con los mapas de isófonas de ruido derivados de los mapas obtenidos en las simulaciones con SoundPlan. Dichos productos cartográficos fueron realizados de acuerdo con los requerimientos de cartografía expedidos por CORPOCALDAS. Se aclara además que este proceso de generación de productos cartográficos ya surtió las etapas de retroalimentación con el equipo de SIG en la Corporación, por lo tanto los archivos adjuntos en el directorio anexo ya cuentan con las correcciones solicitadas.

4.3.1. ZONA 1 – SECTOR CENTRO

Los resultados ajustados de los mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para los periodos diurno y nocturno del sector priorizado en el centro de Manizales se presentan en la Figura 89. Para el periodo diurno se observa como los mayores niveles de presión sonora están asociados con el tráfico vehicular de la Av. Gilberto Alzate, con valores entre los 75 y 80 dB(A). Este resultado es consistente con reportes del último Plan de Gestión de ruido de la ciudad, donde en este corredor vial se obtuvieron resultados similares. De otra parte, corredores viales como la Carrera 22 previo al paso por la catedral Basílica de Manizales, muestran un incremento importante en los niveles de presión sonora en relación con las áreas circundantes, factor que puede estar influenciado, entre otros, con los cambios de pendiente en la vía en un corredor vial con tráfico importante en este sector. En relación con los cambios obtenidos en periodo nocturno, se observa un patrón de disminución entre los 10 y 15 dB.

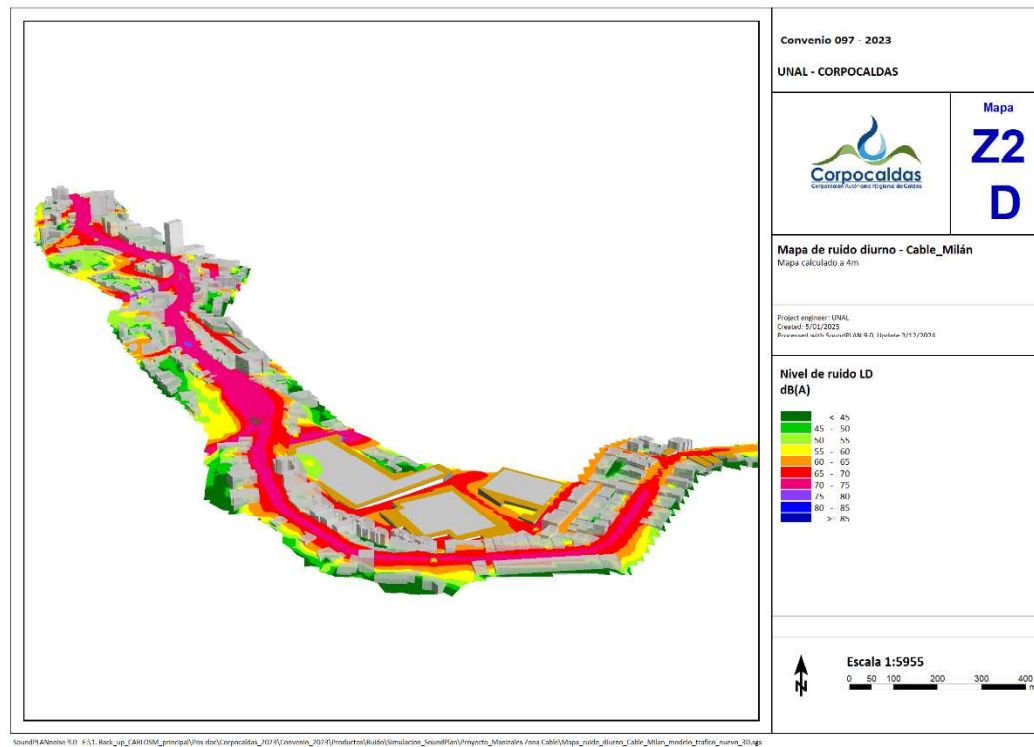
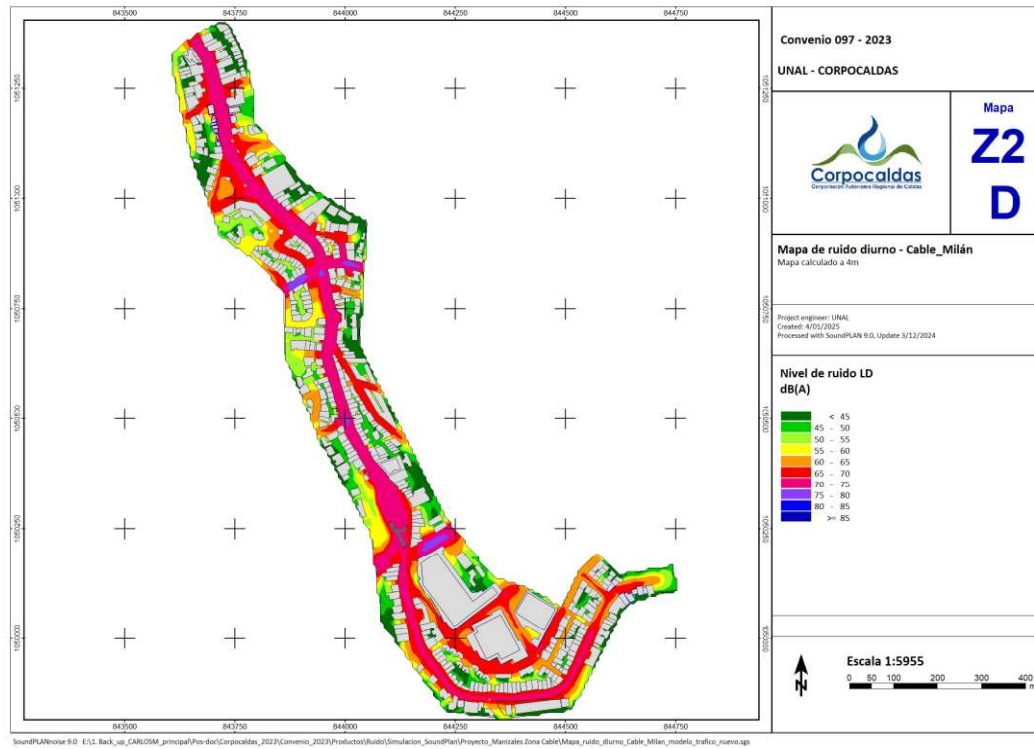


(a)

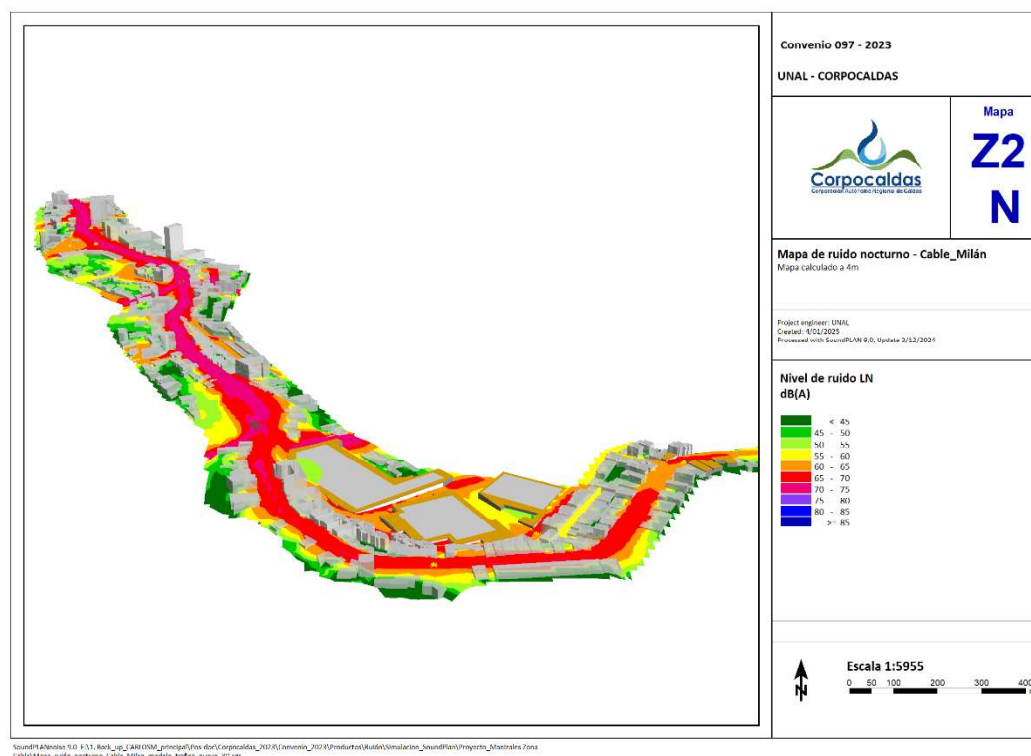
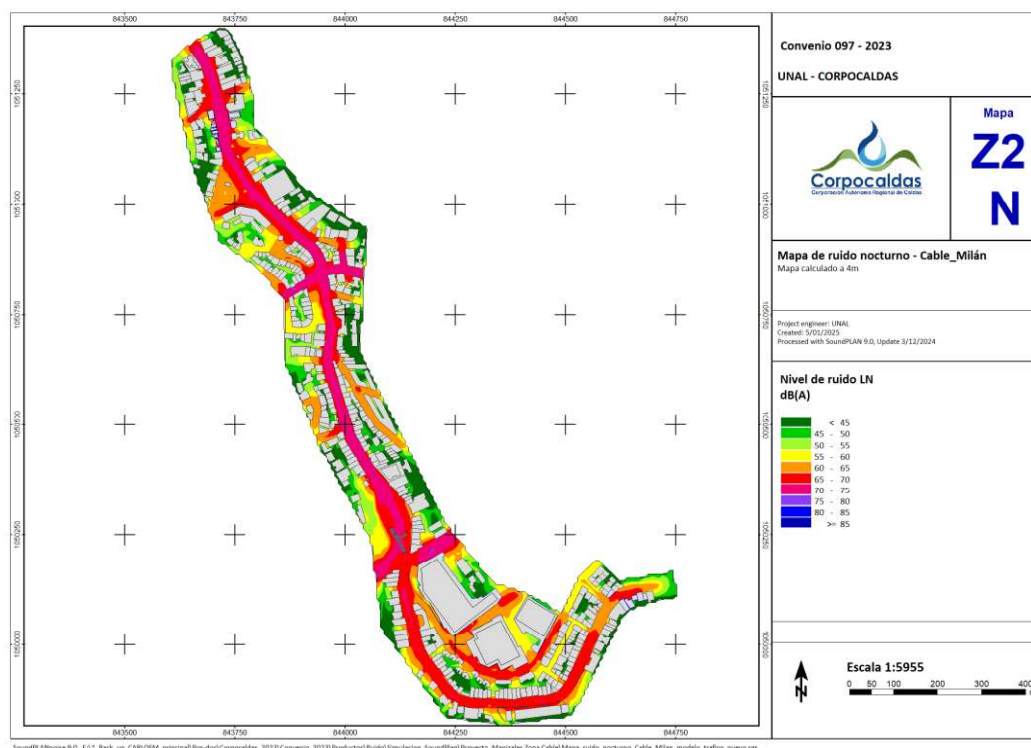


(b)
Figura 89. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 1 - Centro. a) Nivel promedio para periodo diurno. b) Nivel promedio para periodo nocturno
Fuente: propia

4.3.2. ZONA 2 – SECTOR CABLE-MILÁN



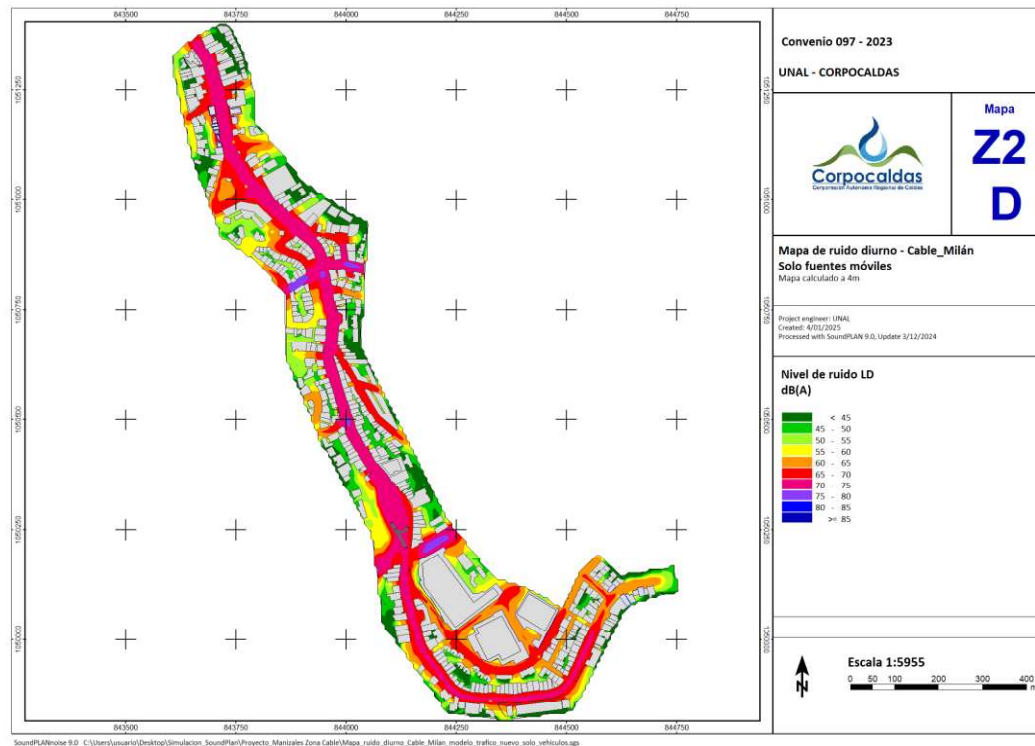
(a)

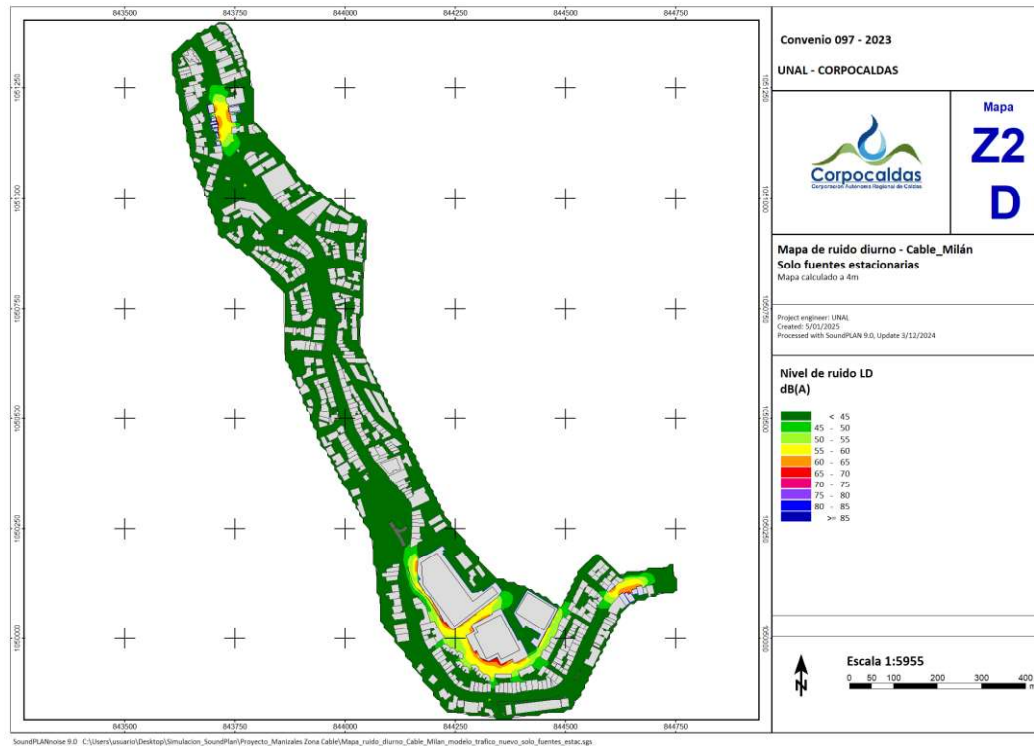


(b)
Figura 90. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 2 – Cable-Milán. a) Nivel promedio para periodo diurno. b) Nivel promedio para periodo nocturno
Fuente: propia

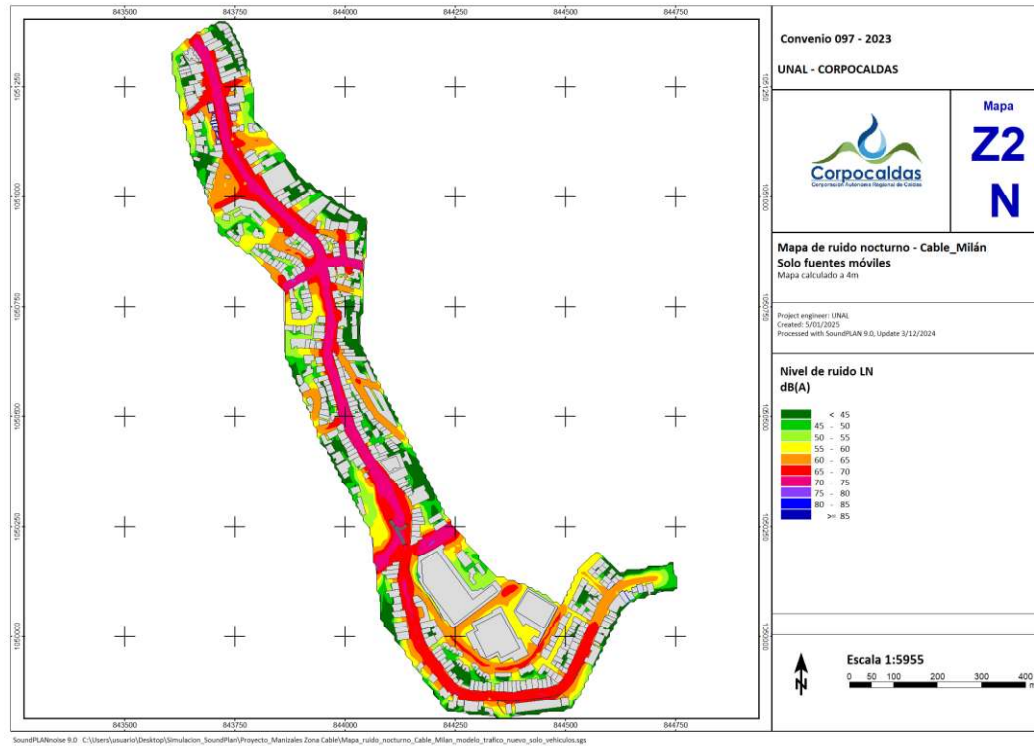
En el caso del sector Cable-Milán, la Figura 90 muestra los resultados ajustados de los mapas de ruido para periodo diurno y nocturno obtenidos. Se destacan principalmente como zonas de mayores niveles de presión sonora, las áreas de influencia directa de la Av. Santander en el sector del Cable, cerca de la zona comercial y de ocio delimitada por la Calle 52 y la Av. Lindsay. Además, una zona importante de generación de ruido de tráfico se obtiene en la intersección de las Av. Kevin Angel y Alberto Mendoza, región que también fue identificada dentro del último Plan de Gestión de ruido de la ciudad.

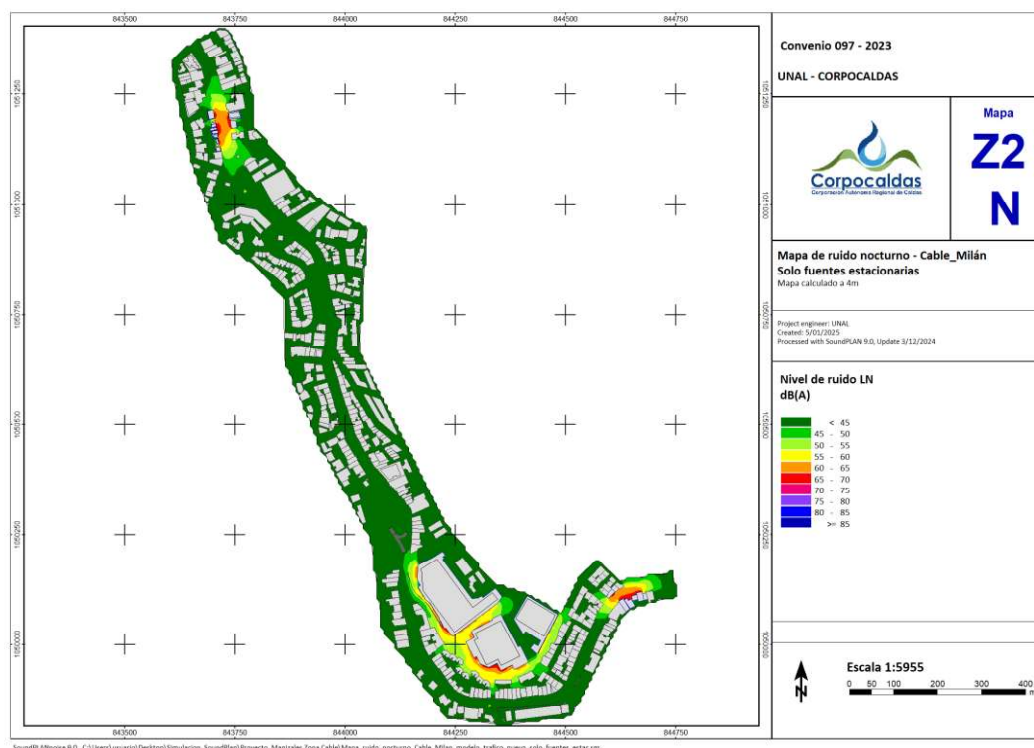
Para este sector fue realizado un ejercicio adicional de simulación de ruido analizando de forma independiente el efecto de fuentes móviles y estacionarias (bares e industrias predominantes en el sector). Los resultados de mapas de ruido por fuente se muestran en la Figura 91.





(a)

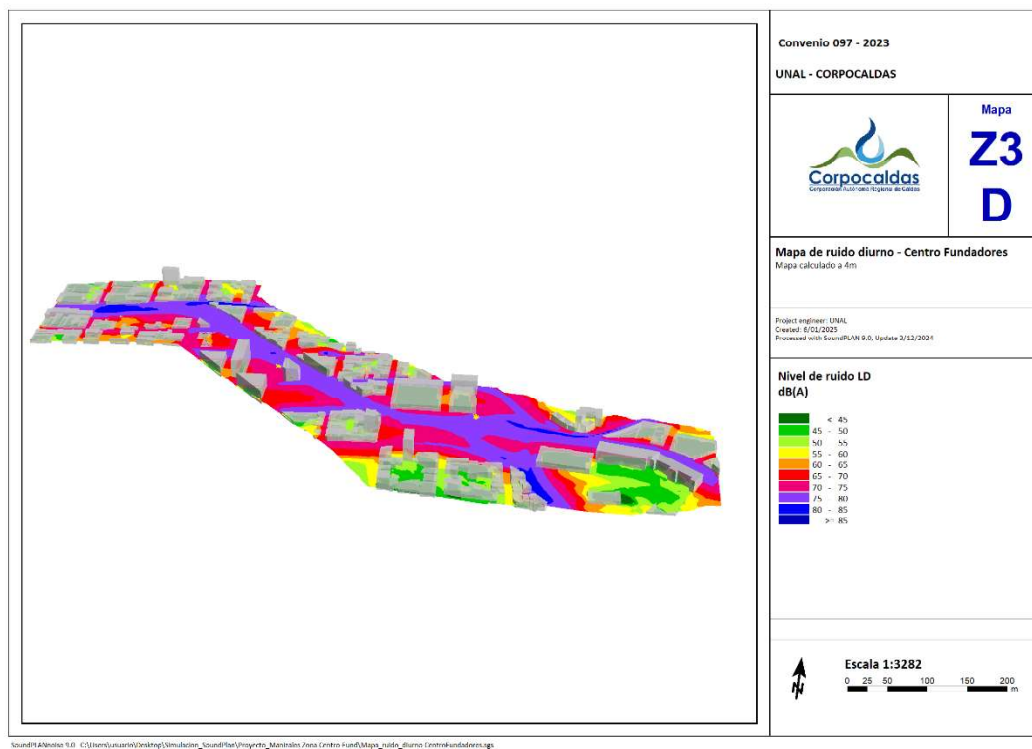
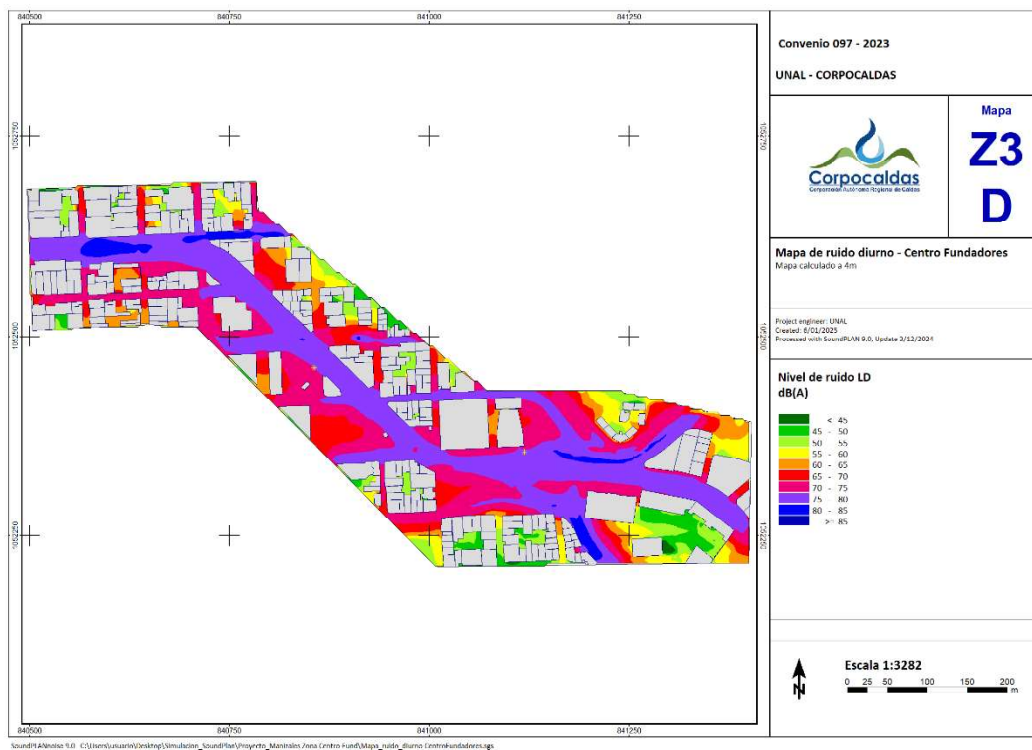




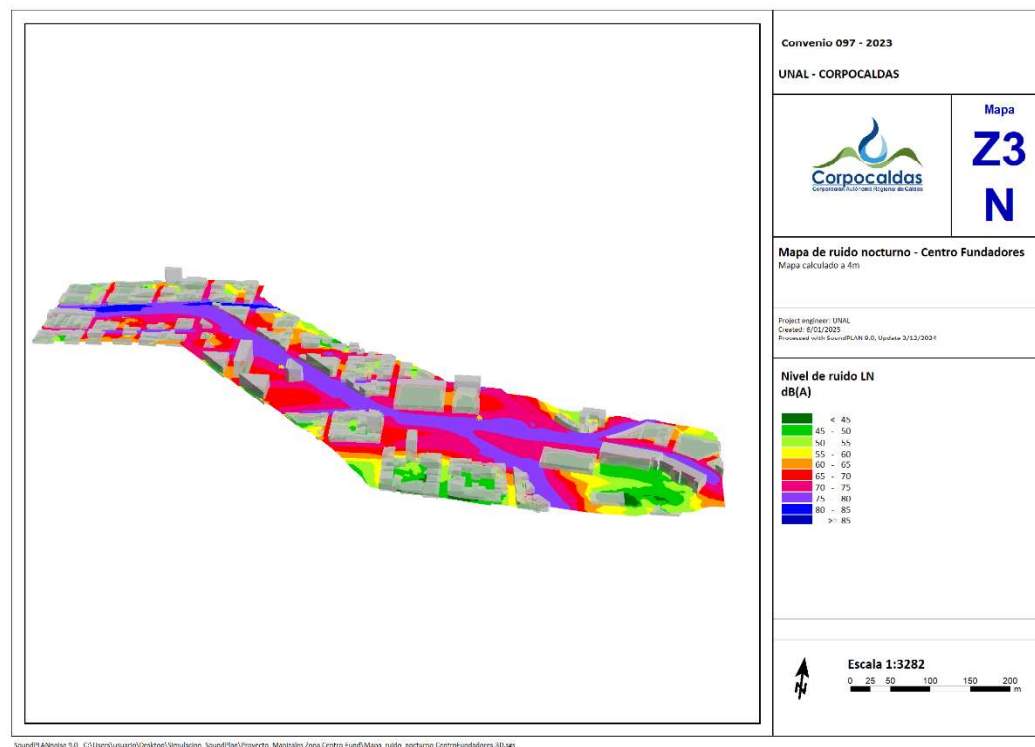
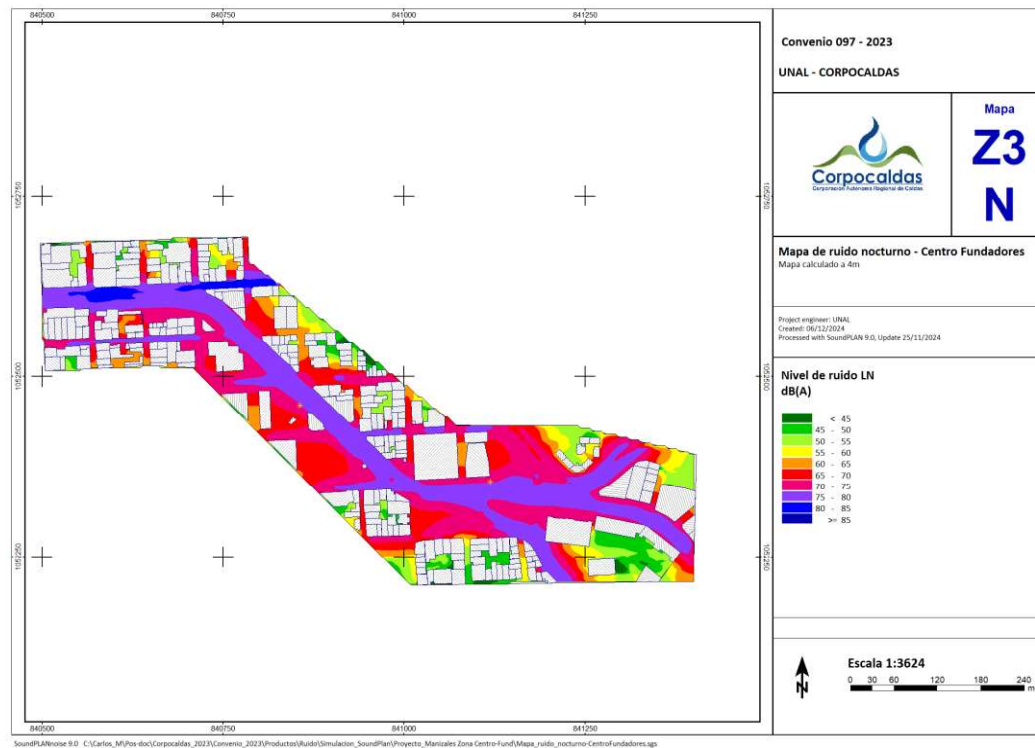
(b)
Figura 91. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 2 – Cable-Milán diferenciados por tipo de fuente. a) Nivel promedio para periodo diurno para fuentes móviles (arriba) y fuentes estacionarias (abajo). b) Nivel promedio para periodo nocturno para fuentes móviles (arriba) y fuentes estacionarias (abajo)
Fuente: propia

4.3.3. ZONA 3 – SECTOR CENTRO FUNDADORES

Los resultados ajustados de los mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para los periodos diurno y nocturno del sector priorizado en Centro Fundadores se presentan en la Figura 92. Para el periodo diurno se observa como los mayores niveles de presión sonora están asociados con el tráfico vehicular de la Av. Gilberto Alzate, con valores entre los 75 y 80 dB(A). Este resultado es consistente con reportes del último Plan de Gestión de ruido de la ciudad, donde en este corredor vial se obtuvieron resultados similares. De otra parte, en los alrededores de Fundadores se observan niveles entre 70 y 75 dB en sectores más retirados de la vía principal (Av. Santander). Los colegios de la zona, hacia el oriente del área de simulación, tienen también una influencia importante de las emisiones de ruido producto del tráfico vehicular. En relación con los cambios obtenidos en periodo nocturno, se observa un patrón de disminución entre los 10 y 5 dB.



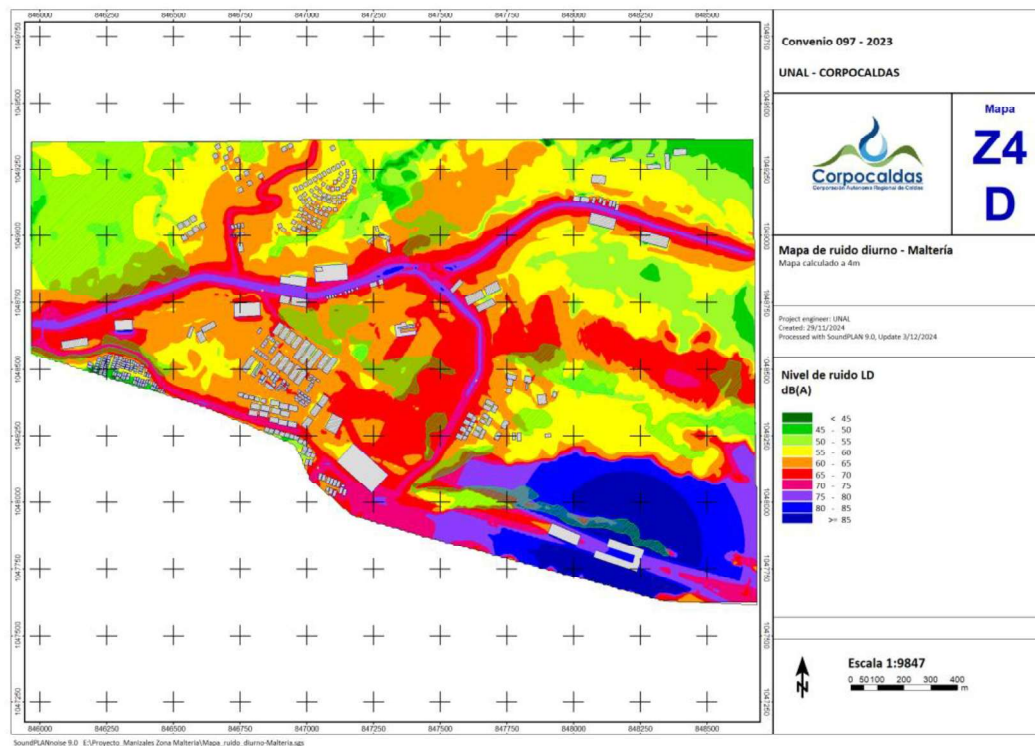
(a)

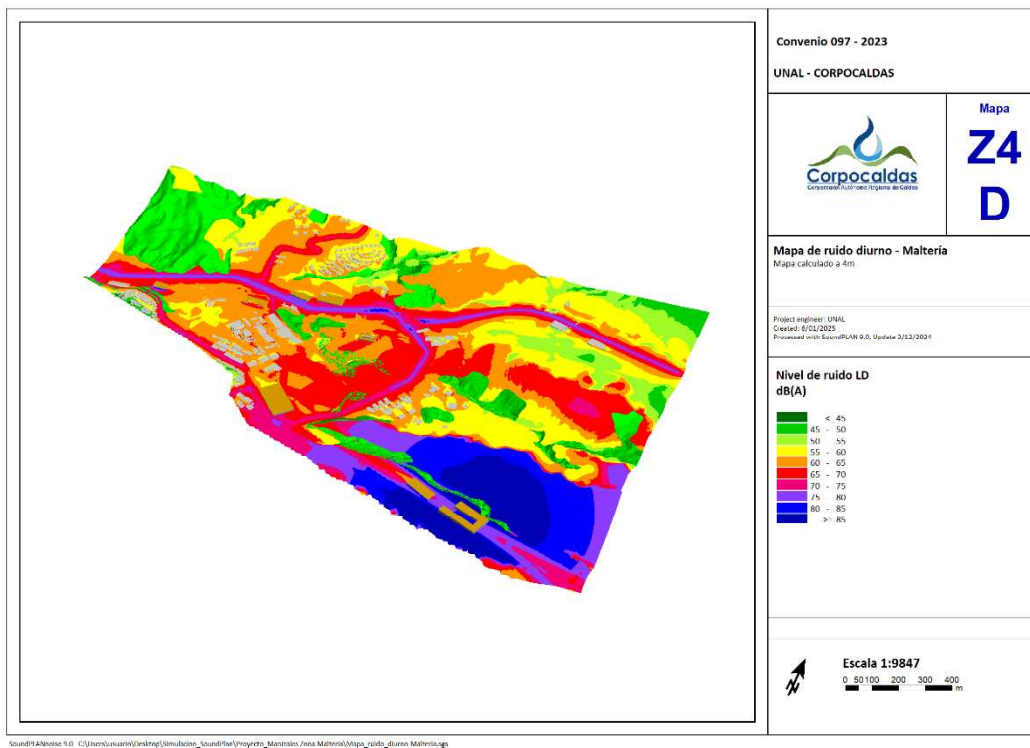


(b)
Figura 92. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 3 – Centro Fundadores. a) Nivel promedio para periodo diurno. b) Nivel promedio para periodo nocturno
Fuente: propia

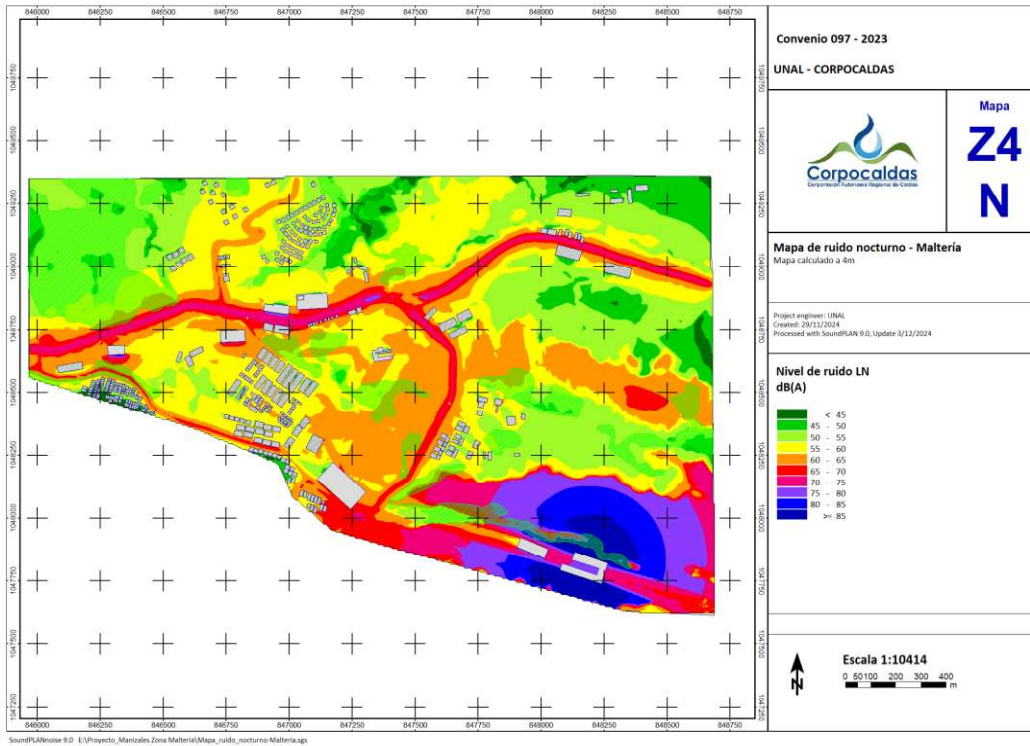
4.3.4. ZONA 4 – MALTERÍA

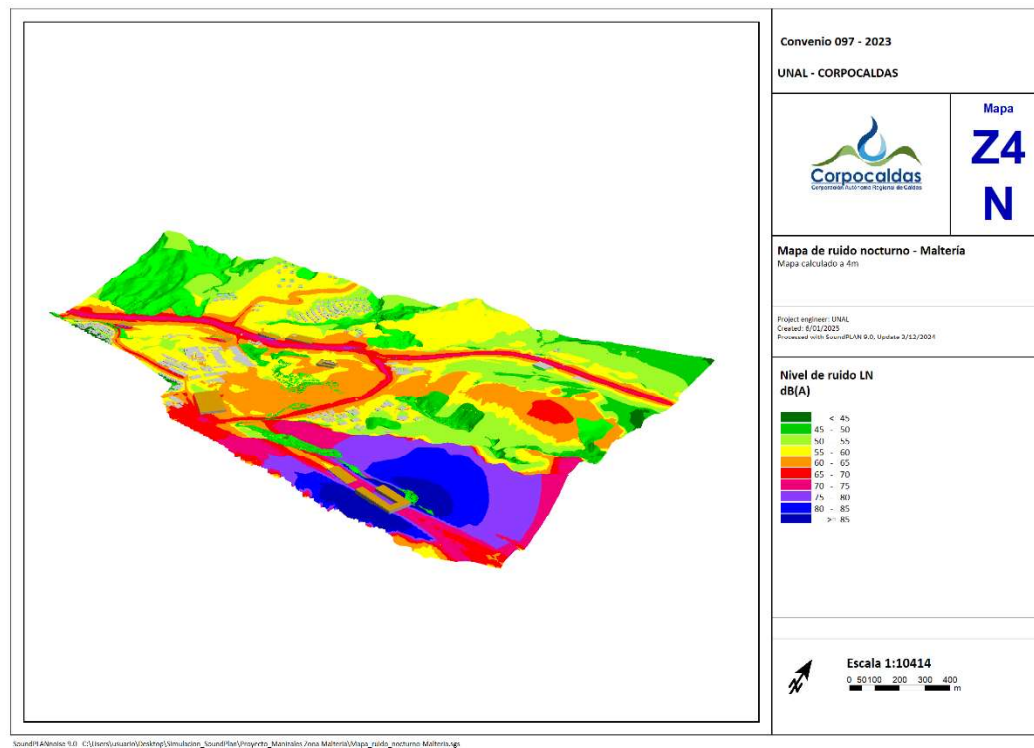
Los resultados ajustados de los mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para los periodos diurno y nocturno del sector priorizado en Maltería se presentan en la Figura 93. Este sector tiene características distintas a los demás sectores analizados, donde el aporte de ruido derivado de actividades industriales se identifica claramente en los mapas obtenidos, sumado al porte del tráfico vehicular en vías de importancia como la vía Panamericana. Asimismo, se identifica claramente la influencia de las condiciones topográficas sobre los niveles de ruido en todo el sector, atenuando la dispersión en zonas como el suroriente, donde se tienen una actividad industrial importante con procesos de fundición y metalurgia, alcanzando valores superiores a los 80 dB. En relación con los cambios obtenidos en periodo nocturno, se observa un patrón de disminución entre los 10 y 15 dB.





(a)

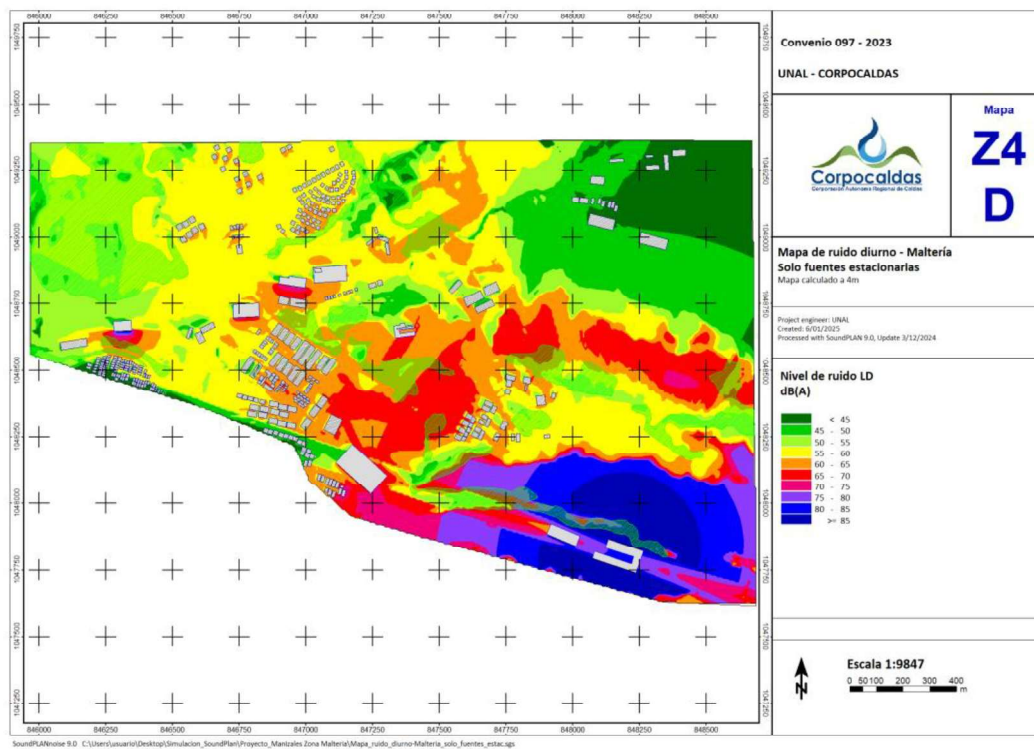
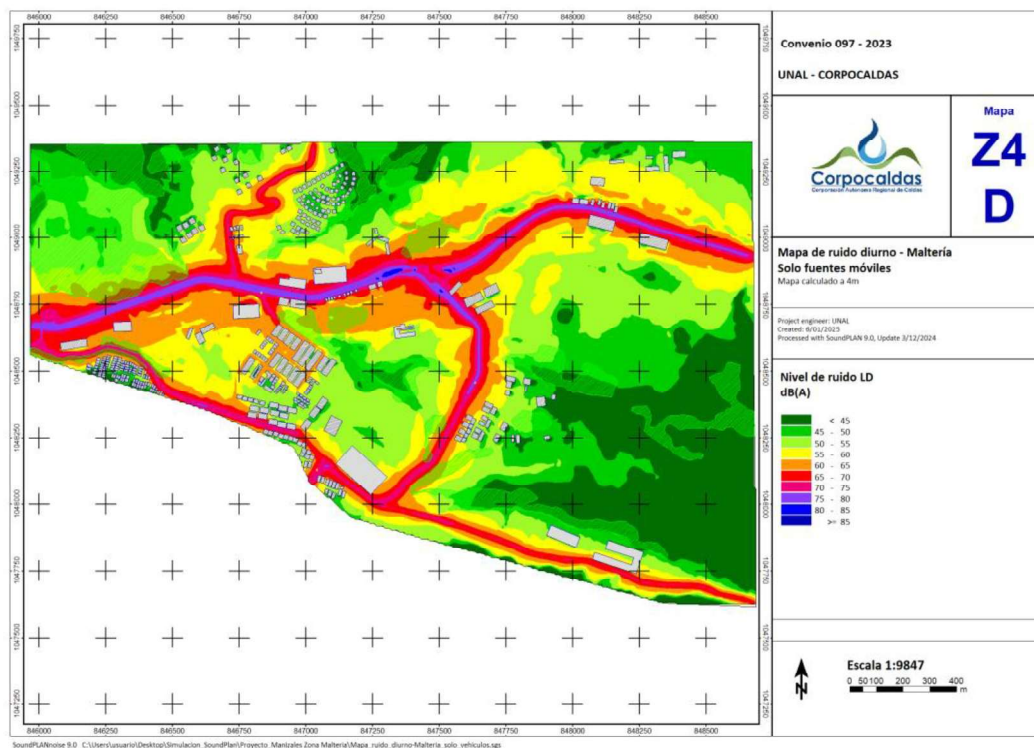




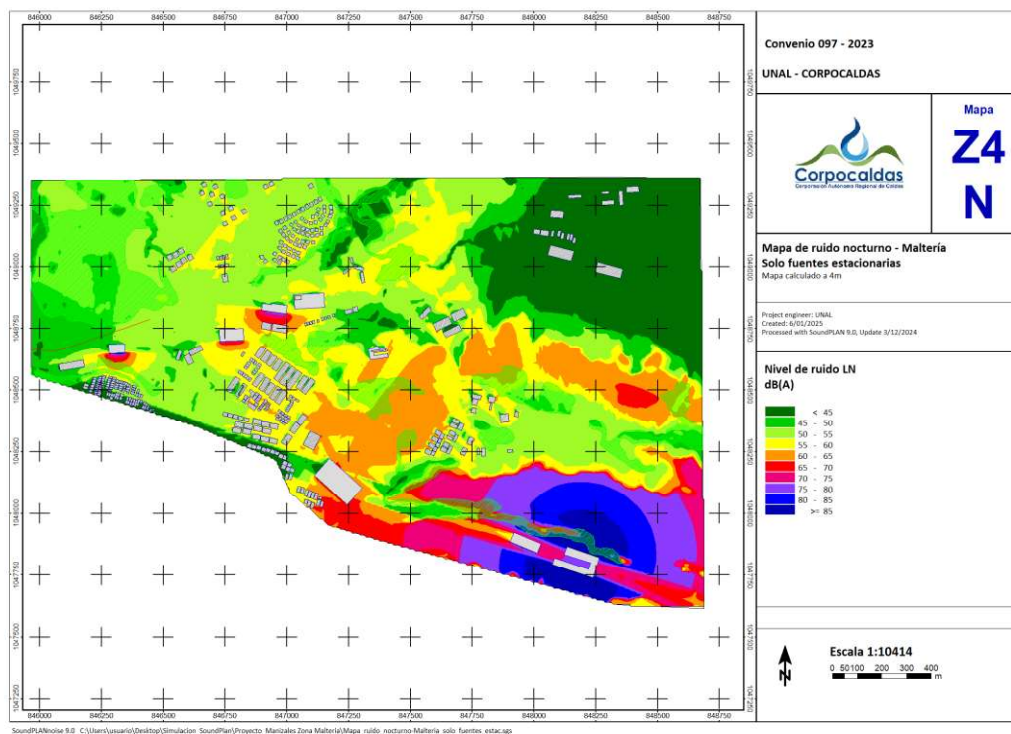
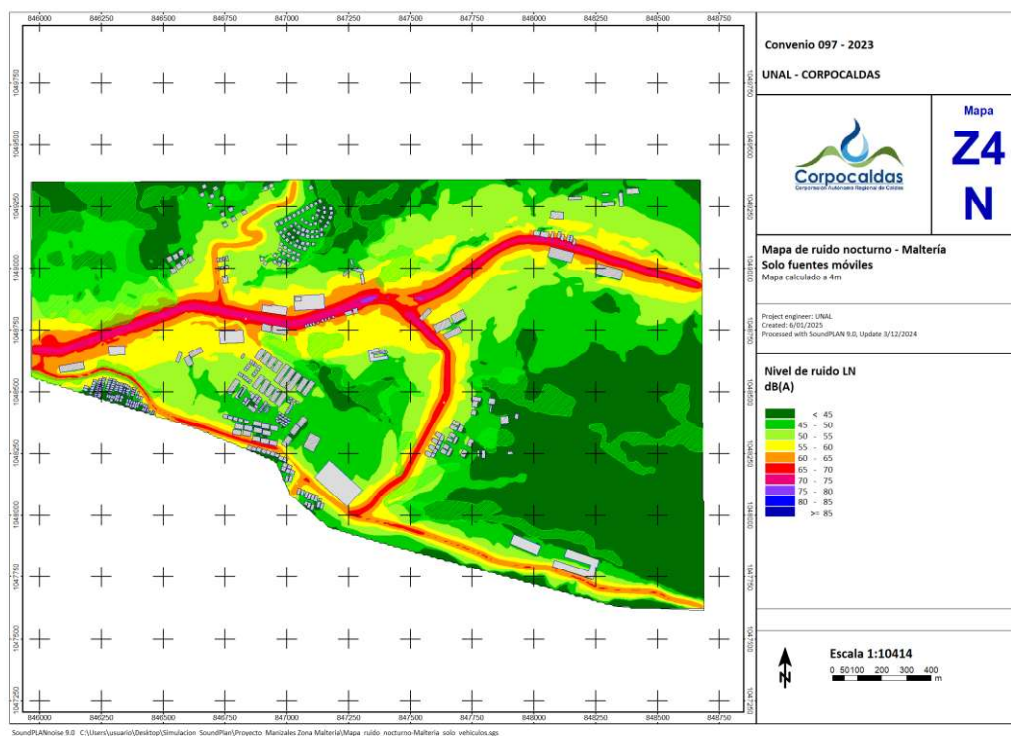
(b)

Figura 93. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 4 – Maltería. a) Nivel promedio para periodo diurno. b) Nivel promedio para periodo nocturno
Fuente: propia

Al igual que en la zona 2 Cable-Milán, en la zona 4 fue realizado un ejercicio adicional de simulación de ruido analizando de forma independiente el efecto de fuentes móviles y estacionarias (industrias predominantes en el sector). Los resultados de mapas de ruido por fuente se muestran en la Figura 94.



(a)



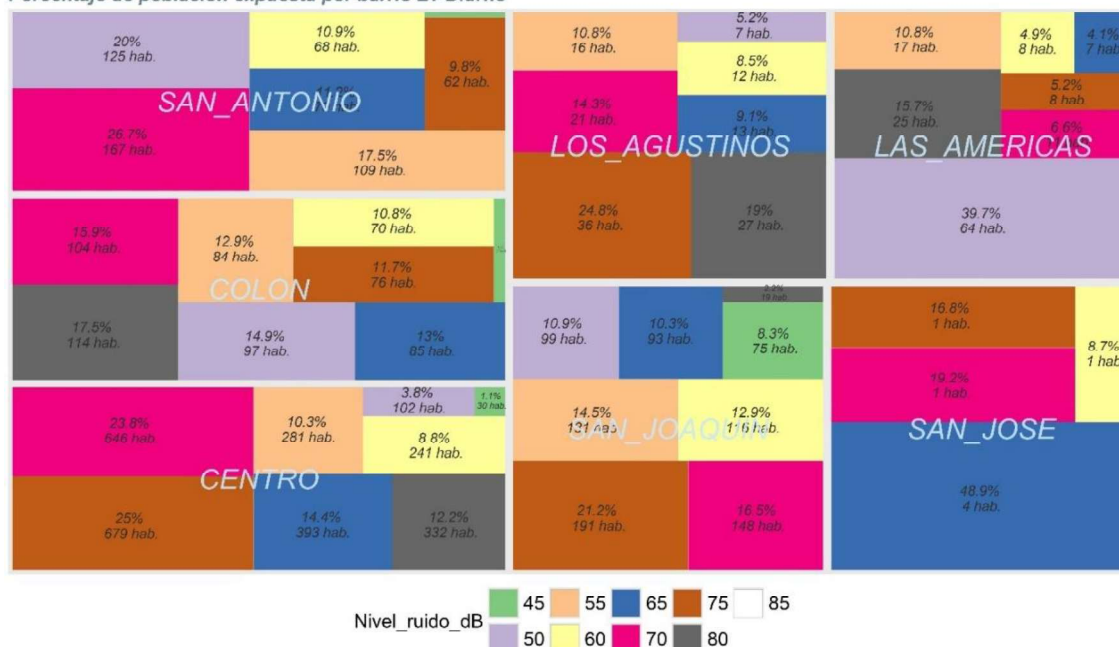
(b)
Figura 94. Mapas de ruido a 4m de altura obtenidos para la Zona 4 – Maltería diferenciados por tipo de fuente. a) Nivel promedio para periodo diurno para fuentes móviles (arriba) y fuentes estacionarias (abajo). b) Nivel promedio para periodo nocturno para fuentes móviles (arriba) y fuentes estacionarias (abajo)

Fuente: propia

4.3.5. INDICADOR DE POBLACIÓN EXPUESTA

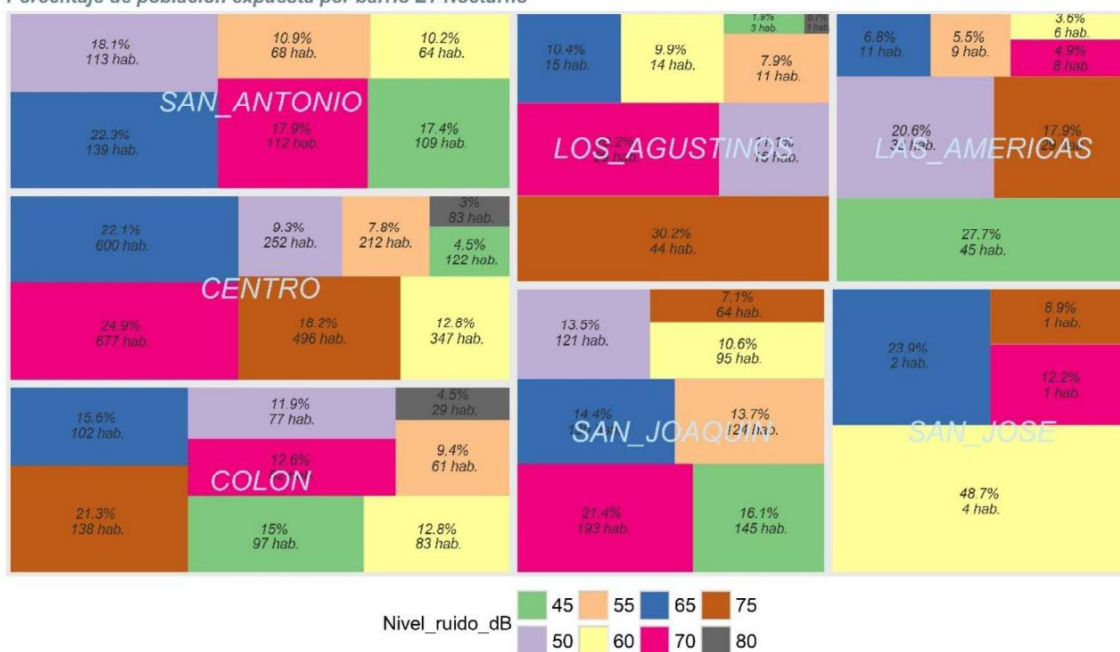
A partir de los mapas de isófonas se realizó un ejercicio de intersección cartográfica con el mapa de barrios de la ciudad de Manizales, el cual contiene datos de población por barrio. Este ejercicio permitió definir un indicador de población expuesta a distintos niveles de ruido (Leq) que fueron obtenidos en el ejercicio de simulación para cada zona de estudio y periodo. Los resultados fueron obtenidos para cada barrio que está incluido dentro de las cuatro zonas evaluadas, representando los resultados a través de gráficos tipo treemap, en los cuales se diferencia para cada barrio la cantidad de personas y porcentaje de la población que estaría expuesta a los niveles de ruido indicados en cada una de las bandas de colores. La Figura 95 a la Figura 98 presenta los resultados obtenidos en las cuatro zonas de estudio.

Porcentaje de población expuesta por barrio Z1-Diurno



(a)

Porcentaje de población expuesta por barrio Z1-Nocturno

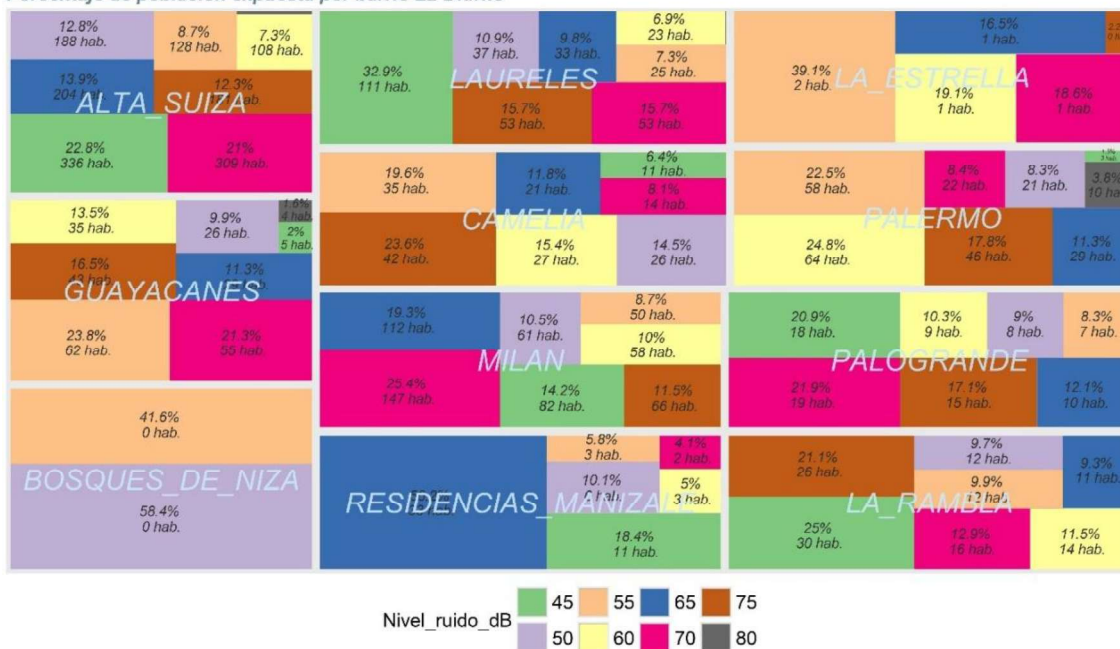


(b)

Figura 95. Consolidado del indicador de población expuesta por barrio para el sector Centro-Z1 a) Periodo diurno. b) Periodo nocturno

Fuente: propia

Porcentaje de población expuesta por barrio Z2-Diurno



(a)

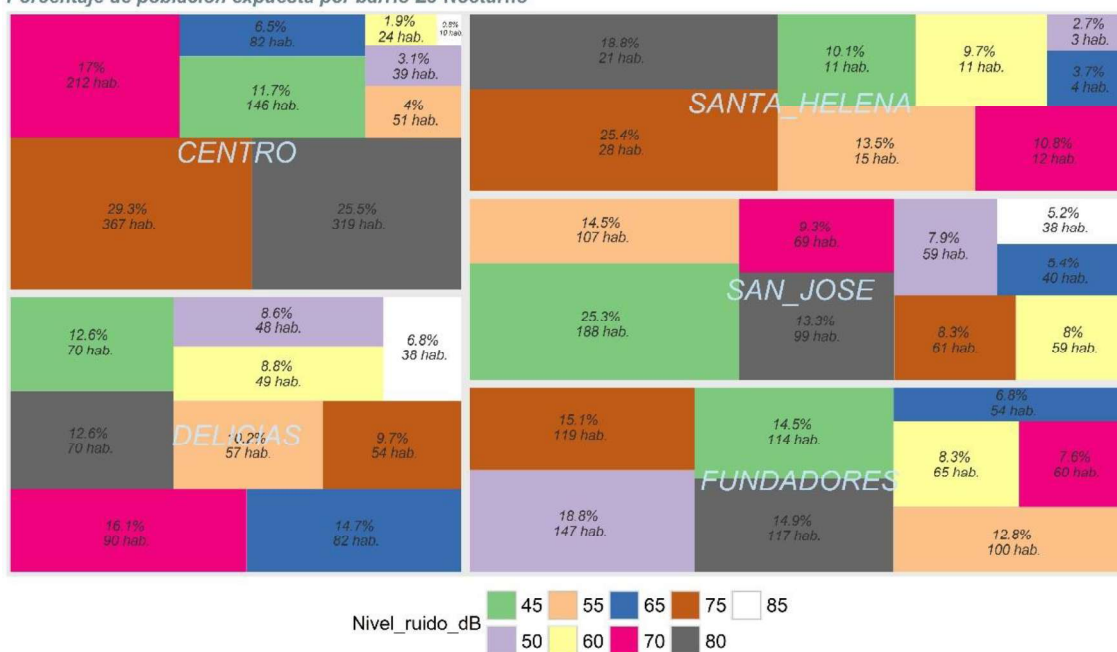


b) Periodo nocturno

Fuente: propia



Porcentaje de población expuesta por barrio Z3-Nocturno

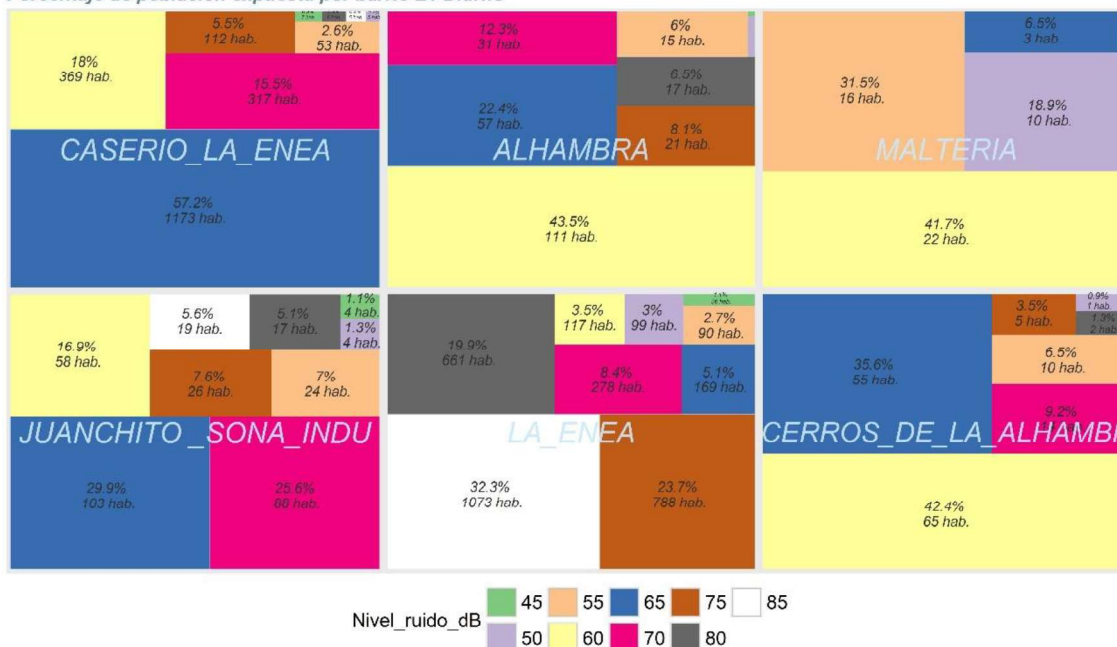


(b)

Figura 97. Consolidado del indicador de población expuesta por barrio para el sector Centro-Fundadores-Z3 a) Periodo diurno. b) Periodo nocturno

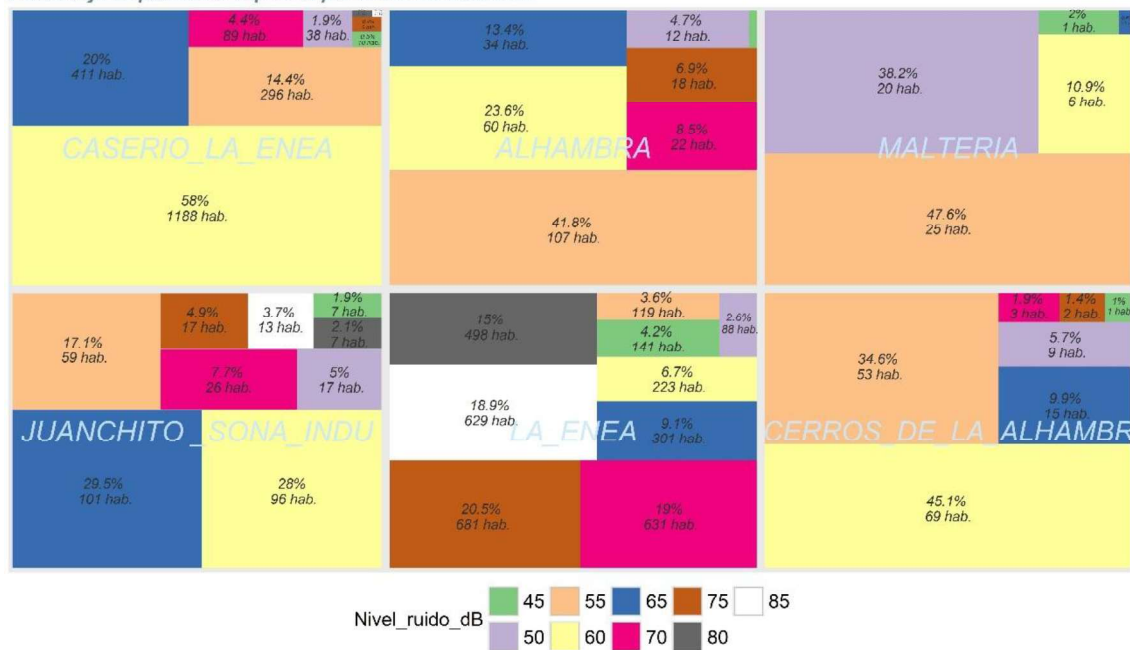
Fuente: propia

Porcentaje de población expuesta por barrio Z4-Diurno



(a)

Porcentaje de población expuesta por barrio Z4-Nocturno



(b)

Figura 98. Consolidado del indicador de población expuesta por barrio para el sector Maltería-Z4 a) Periodo diurno. b) Periodo nocturno

Fuente: propia