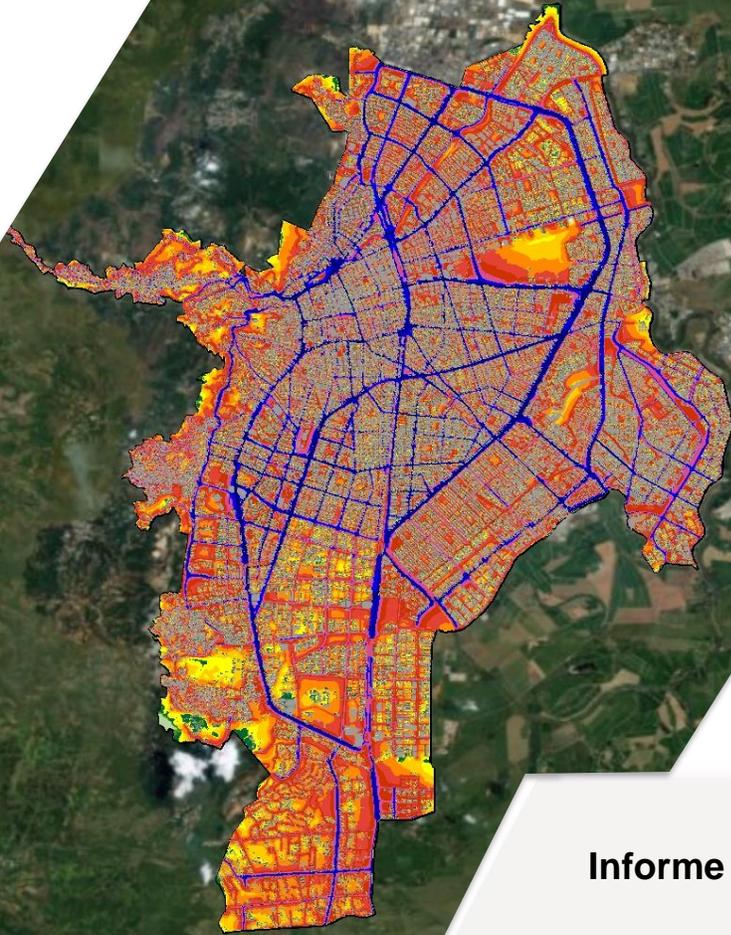




DAGMA
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE
GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI



Informe evaluación de la calidad acústica ambiental Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

Actualización de los mapas de ruido de la ciudad de Santiago de Cali, contrato CVC No. 0694 de 2018.



**Corporación Autónoma Regional del
Valle del Cauca - CVC**

Rubén Darío Materón Muñoz
Director - CVC

Héctor Fabio Aristizábal Rodríguez
Director técnico ambiental - CVC

Alexandra Izquierdo Campo
Profesional especializado- CVC
Líder proyecto 7002

Mónica Molina Arredondo
Profesional especializado - CVC
Supervisora del contrato

**Departamento Administrativo de Gestión
del Medio Ambiente - DAGMA**

Claudia María Buitrago Restrepo
Directora - DAGMA

Héctor Alejandro Paz Gómez
Subdirector de Gestión de
Calidad Ambiental - DAGMA

John Jairo Toro Chaves
Líder Grupo Gestión de la
Calidad Acústica - DAGMA

Raúl Andrés Monsalve Álvarez
Profesional Grupo de Gestión de la
Calidad Acústica - DAGMA

Alexander Ortega
Profesional Grupo de Gestión de la
Calidad del Aire – DAGMA

**Informe evaluación de la calidad acústica
ambiental
Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali**

Equipo consultor

K2 Ingeniería S.A.S.

Johan Fernando Suárez Fajardo
Director del proyecto – K2

Juliette Olivella López
Experta en ruido – K2

José Luis Díaz Casas
Experto en SIG – K2

Ronald Orlando Ortiz
Profesional de apoyo 1 - Director técnico del
proyecto

Maykol Sneyder Remolina
Profesional de apoyo 2 – K2

Jesualdo José Castro Dávila
Profesional de apoyo 3 – K2

Luis Manuel Barco Rincón
Profesional de apoyo 4 – K2

German Leonardo Figueroa Pulido
Profesional de apoyo 5 – K2

Carlos David Vega Fernández
Profesional de apoyo 6 – K2

Alexander Berbeo López
Auxiliar apoyo logístico – K2





Ciudad de Santiago de Cali

Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali

Agradecimientos

Este documento cuenta con la colaboración de las siguientes personas y entidades, a las cuales se agradece su participación y aportes, así como el tiempo, interés y motivación dedicados al desarrollo del proyecto.

Andrés Rojas Marulanda

Profesional apoyo técnico – CVC

Ing. Luis Fernando Potosí Guzmán

Líder del equipo de Participación Comunitaria

Sr. Juan Camilo Goyes

Gestor de la Comuna 10

Sra. Rosa Ingrid Vergara Jiménez

Gestora de la Comuna 3

Sr. Manuel Fernando Pinto Mahecha

Gestor de la Comuna 2

Sr. Israel Corredor Prieto

Grupo de Gestión de la Calidad Acústica Ambiental

BG. Alfonso Lozano Ariza

Director de la Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez

CT. Jorge Rosero

Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez

Ing. Luis Carlos Marmolejo García

Especialista ambiental de Coca Cola

Sara María Aguilar Ramos

Analista ambiental Fundación Valle del Lili

Tabla de contenido

1	Introducción	8
2	Objetivos y alcance	9
2.1	Objetivo general	9
2.2	Objetivos específicos	9
2.3	Alcance.....	9
3	Generalidades	10
3.1	Descripción del área de estudio	10
3.2	Zonas de especial atención.....	13
3.2.1	Zona de especial atención 01	14
3.2.2	Zona de especial atención 02	14
3.2.3	Zona de especial atención 03	15
3.2.4	Zona de especial atención 04	15
3.2.5	Zona de especial atención 05	16
3.2.6	Zona de especial atención 06	16
3.2.7	Zona de especial atención 07	17
3.2.8	Zona de especial atención 08	17
3.2.9	Zona de especial atención 09	18
3.2.10	Zona de especial atención 10	18
3.2.11	Zona de especial atención 11	19
3.2.12	Zona de especial atención 12	19
3.2.13	Zona de especial atención 13	20
3.2.14	Zona de especial atención 14	20
3.2.15	Zona de especial atención 15	21
3.2.16	Zona de especial atención 16	21
3.2.17	Zona de especial atención 17	22
3.2.18	Zona de especial atención 18	22
3.2.19	Zona de especial atención 19	23
3.3	Zonas de tranquilidad	23
3.3.1	Zona de tranquilidad 01	24
3.3.2	Zona de tranquilidad 02	24
3.3.3	Zona de tranquilidad 03	25

3.3.4	Zona de tranquilidad 04	25
3.3.5	Zona de tranquilidad 05	26
3.3.6	Zona de tranquilidad 06	26
3.3.7	Zona de tranquilidad 07	27
3.3.8	Zona de tranquilidad 08	27
3.3.9	Zona de tranquilidad 09	28
4	Normatividad aplicable de ruido ambiental.....	29
4.1	Normativa nacional Resolución 627 de 2006 del MAVDT actual MADS	29
4.2	Normativa internacional UNE ISO 1996.....	30
4.3	Normativa internacional ISO 9613.....	31
5	Metodología.....	32
5.1	Actividades de medición e inventario de fuentes	33
5.1.1	Identificación puntos de monitoreo.....	33
5.1.2	Ruido ambiental	34
A)	Muestreo espacial.....	34
B)	Muestreo temporal.....	38
5.1.3	Ruido de emisión	40
5.2	Consolidado de mediciones.....	40
5.3	Fecha y hora de monitoreo.....	41
5.4	Parámetros de medición.....	42
5.5	Procesamiento de la información.....	42
5.5.1	Cálculo de nivel continuo equivalente corregido.....	42
5.5.2	Cálculo de la emisión o aporte de ruido.....	43
5.6	Condiciones meteorológicas.....	44
6	Análisis de resultados monitoreo de ruido ambiental	45
6.1	Zonas de especial atención (ZEA)	45
6.2	Zonas de tranquilidad (ZTR).....	47
6.3	Puntos ambientales adicionales (PAA)	48
6.4	Puntos ambientales – Estaciones fijas.....	50
6.5	Cumplimiento Resolución 627 de 2006, total en la ciudad Santiago de Cali	52
6.6	Incertidumbre de las mediciones	53
7	Modelación	54

7.1	Enfoque.....	54
7.1.1	Estándares utilizados.....	54
7.1.2	Idealización del modelo geométrico	55
7.1.3	Idealización de las fuentes de potencia sonora	56
7.2	Emisión de ruido de las zonas de especial atención (ZEA)	56
7.3	Mallas de cálculo.....	57
7.4	Configuraciones de cálculo generales	57
7.5	Datos de entrada al modelo	58
7.5.1	Dominio de estudio	58
7.5.2	Modelo digital de elevación	58
7.5.3	Fuentes	58
7.5.4	Niveles de potencia acústica	61
7.6	Estructura MAG	62
7.6.1	Diccionario de datos: catálogo de objetos	62
7.6.2	Catálogo de objetos.....	62
7.6.3	Catálogo de representación	63
7.6.4	Mapa base	65
7.6.5	Estructura metadatos.....	65
8	Cálculo de personas expuestas a ruido	67
8.1	Cálculo para la clasificación de personas expuestas por rangos de clasificación Res. 627	67
8.2	Evaluación porcentaje de población urbana expuesta a ruido (%PUAR)	69
8.3	Cálculo de personas expuestas a niveles que exceden los niveles establecidos por la Res. 627	69
9	Mapas acústicos	72
9.1	Mapas totales	72
9.1.1	Mapa LDN total en jornada ordinaria.....	73
9.1.2	Mapa LDN total en jornada dominical.....	74
9.1.3	Mapa LDN tráfico rodado en jornada ordinaria	75
9.1.4	Mapa LDN tráfico rodado en jornada dominical	76
9.1.5	Mapa LDN industrias en jornada ordinaria	77
9.1.6	Mapa LDN industrias en jornada dominical	78
9.1.7	Mapa LDN comercial en jornada ordinaria	79

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

9.1.8	Mapa LDN comercial en jornada dominical	80
9.1.9	Mapa LDN otras fuentes en jornada ordinaria.....	81
9.1.10	Mapa LDN otras fuentes en jornada dominical.....	82
9.2	Evaluación e incertidumbre del modelo.....	83
10	Línea base para el plan de descontaminación acústica	87
11	Consideraciones finales	88
12	Bibliografía.....	90

Listado de abreviaturas

Abreviatura o Símbolo	Descripción
dB	Decibelio o Decibel
Frec.	Frecuencia
DOM	Abreviación para referir a la jornada dominical de medición
ORD	Abreviación para referir a la jornada ordinaria de medición (L-S)
Hz	Hercio o Hertz
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
L10	Percentil 10 de Ruido. Nivel de Ruido sobrepasado en el 10% de la medición
L90	Percentil 90 de Ruido. Nivel de Ruido sobrepasado en el 90% de la medición
LAE o SEL	Nivel de exposición sonora ponderado A
Leq	Nivel de presión sonora continuo equivalente
Lleq	Nivel equivalente con ponderación temporal Impulse
LAeq, D	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] para la jornada diurna
LAeq, N	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] para la jornada nocturna
LAeq, T	Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación frecuencial [A] muestreado durante un tiempo T definido.
LDN o LAeq, DN	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] de 24 horas (Día/Noche)
Lmax	Nivel máximo de presión sonora
Lmin	Nivel mínimo de presión sonora
LRAeq, D	Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado [A] Diurno, corregido por tonos e impulsos. Se corresponde con el Nivel de Evaluación Normativo
LRAeq, N	Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado [A] Nocturno, corregido por tonos e impulsos. Se corresponde con el Nivel de Evaluación Normativo
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
RA	Ruido Ambiental
RE	Ruido de Emisión

Declaración de símbolos matemáticos

En el presente documento la separación decimal difiere de la recomendada por el Sistema Internacional de Unidades (SI) y la ISO en su norma 80000, debido a que las herramientas ofimáticas y de procesamiento de ruido empleados están referenciados a territorios americanos.

En ese sentido no se aplica la separación decimal habitual para el territorio colombiano, sino que se redefine la simbología de esta manera:

- Separación Decimal: Punto (.)
- Separación de Miles: Coma (,)

1 Introducción

El ruido es uno de los principales problemas ambientales que se presentan en las grandes ciudades de Colombia y el mundo, por tal motivo incluir esta problemática en la gestión integral es fundamental para lograr un desarrollo urbano adecuado. Los mapas de ruido se han constituido en la herramienta más útil para la planeación de las ciudades respecto a esta problemática. Por lo cual, la Corporación Autónoma Regional del Valle Del Cauca - CVC, suscribió con la empresa K2 INGENIERIA S.A.S el contrato de consultoría CVC N.º 0694 de 2018 cuyo objeto es “REALIZAR LA ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS DE RUIDO AMBIENTAL URBANO PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI”.

El informe de evaluación de la calidad acústica ambiental de Santiago de Cali, se realizó basado en la actualización de los mapas de ruido de la ciudad de Santiago de Cali, utilizando información existente en el municipio e información recopilada en el monitoreo de ruido desarrollado en todo el núcleo urbano. Se establecieron 19 zonas de especial atención (ZEA) y 9 zonas de tranquilidad (ZTR). Las mediciones se realizaron para un (1) día ordinario y un (1) día dominical durante horario diurno y nocturno, respectivamente, a fin de determinar el grado de aporte al ruido ambiental en las diferentes zonas establecidas y dar cumplimiento a los requerimientos ambientales como parte de la gestión ambiental de la autoridad competente. Así mismo se realizó el monitoreo de fuentes de emisión de ruido en diferentes puntos de cada zona de especial atención, para cada establecimiento determinado con y sin actividad (cerrado); la medición sin actividad no aplica para establecimientos que operan veinticuatro (24) horas. Se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo establecidos por la Resolución 627 de abril de 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la norma internacional ISO1996.

Este documento incluye el objeto del estudio, la metodología utilizada, resultados de monitoreo, curvas de niveles de presión sonora, el respectivo análisis de comparación con la normatividad vigente, los mapas estratégicos de ruido de la ciudad y las respectivas conclusiones.

2 Objetivos y alcance

2.1 Objetivo general

Elaborar el informe de evaluación acústica ambiental de la ciudad de Santiago de Cali, basado en la actualización de los mapas de ruido ambiental, para los horarios día y noche en jornada ordinaria y dominical.

2.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar una base de datos georreferenciada tanto de la información de entrada como de la información de salida, acompañada de un documento que describa la arquitectura de datos empleada.
2. Obtener la población expuesta al ruido ambiental en intervalos de 5 dB(A) para cada uno de los horarios del municipio de Santiago de Cali. Realizar el cálculo del %PUAR (Población Urbana expuesta al Ruido) como insumo para el cálculo del ICAU de la ciudad.
3. Obtener la población expuesta a niveles de ruido ambiental que sobrepasan los estándares establecidos en la Resolución 627 de 2006.
4. Elaborar un documento donde se presente la evaluación de la calidad acústica ambiental, propuestas para mejora del ambiente sonoro tanto en los enfoques de planes de descontaminación sonoros como de preservación de espacios con niveles sonoros adecuados, tomando como parámetro evaluador el %PUAR y el porcentaje de personas expuestas a niveles de ruido ambiental que sobrepasan los estándares establecidos en la Resolución 627 de 2006.

2.3 Alcance

El presente informe corresponde a los resultados obtenidos para la ciudad de Santiago de Cali y reporta la finalización de las actividades, en marco del contrato CVC No. 0694 de 2018 dando conformidad a la totalidad de las obligaciones del contratista para la ciudad de Santiago de Cali.

En la actualidad el plan de renovación urbanística del centro incluye la demolición de edificaciones en los barrios; el Calvario, San Pascual y Sucre, esta intervención se extiende por alrededor de 23.16 hectáreas.

Para la construcción del mapa de ruido de la ciudad, se incluyó la zona de expansión urbana, del sur de la ciudad, que limita al norte con la comuna 17, al oeste con la comuna 22 y al sur con el corregimiento de El Hormiguero. Los proyectos urbanísticos más importantes en la zona de expansión son: Ciudad Meléndez, Bochalema, Las Vegas de Comfandi, Zonamérica, Las Vegas del Lili.

Desde el año 2009 la ciudad cuenta con un sistema de transporte masivo, que significó la salida de la mayoría de los buses del antiguo sistema de transporte colectivo, el sistema transporta entre 400,00 y 500,000 pasajeros por día, cubriendo la ciudad con rutas troncales que cuentan con vías y paradas exclusivas para su desplazamiento, rutas pretroncales y alimentadoras que transitan por vías secundarias y terciarias de la ciudad y tienen paradas en medio de la vía. En la actualidad la comuna 20 cuenta con el sistema de cable aéreo suspendido para mejorar la movilización de los habitantes de Siloé con la terminal Cañaveralejo.

Según fuentes oficiales Cali tiene registrado en el RUNT 695037 vehículos, de los cuales 217526 son motocicletas, se estima que diariamente, al menos uno de cada diez caleños se moviliza en este medio generando constantes problemas de movilidad, asociados especialmente a accidentes. En la ciudad existe una sobre oferta de taxis que congestionan las principales avenidas en las horas críticas y que ha sido parcialmente resuelto con la aplicación de medidas como la restricción de movilización por un día (pico y placa).

El Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón (CLO) que presta sus servicios de conexión nacional e internacional al municipio de Cali, está ubicado a 20 kilómetros de la ciudad en el municipio de Palmira. En el noreste de la ciudad está ubicada la Base Aérea Marco Fidel Suárez, perteneciente a la Fuerza Aérea Colombiana.

De acuerdo al estudio "Análisis integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el Municipio de Santiago de Cali, realizado por la Universidad del Valle en 2015, Cali cuenta con 449.62 kilómetros de vías arterias principales, de las cuales el 34.5% (155.1 km) se encuentra en buen estado, el 58.4% (262.75 km) se encuentra en estado regular presentando algún tipo de elemento que impacta negativamente la capa de rodadura, el 6.7% (30.03 km) se encuentra en mal estado dificultando la movilidad motorizada y el 0.4% (1.73 km) se encuentra sin pavimentar.

Las vías principales de la ciudad son:

La calle 70 (autopista Sur Oriental), la calle 25 (autopista Simón Bolívar) y la calle 73 (avenida Ciudad de Cali), que conectan el sur con el nororiente de la ciudad, estas vías se caracterizan por el tráfico permanente de vehículos mixtos, rutas pre troncales del sistema de transporte masivo. Por la calle 70 y la calle 25 entran vehículos de transporte intermunicipal provenientes del sur del Valle y del Cauca.

La calle 5, es una de las troncales del sistema de transporte masivo, atraviesa la ciudad en sentido Noroccidente - Sur, tiene una longitud de 9 kilómetros y se extiende desde la carrera primera o Avenida Colombia, hasta la carrera 100 frente al centro comercial Unicentro, al sur de la ciudad. Cuenta con carriles exclusivos para el sistema de transporte masivo y tráfico permanente de vehículos mixtos.

La Avenida 4 Oeste, se caracteriza por el tráfico permanente de vehículos mixtos y vehículos intermunicipales que se dirigen desde y hacia Buenaventura. Otras de las vías que se destacan en la ciudad son la carrera 1, avenida 3ª norte, calle 13, carrera y calle 15 (troncales del sistema de transporte masivo), avenida Pasoancho, calles 4N y 6N (pretroncales del sistema de transporte masivo)

En total Cali cuenta con 278.73 kilómetros de calzada de vías arterias secundarias, el 26.9% (75.06 km) se encuentra en buen estado, alrededor del 57,5% (160.36 km) se encuentra en estado regular, el 12.6% (34.99 km) se encuentra en mal estado dificultando la movilidad motorizada y el 3.0% (8.32 km) se encuentra sin pavimentar.

Las vías secundarias más destacadas de la ciudad con la carrera 5, carrera 10, calle 9, carrera 66, carrera 1D entre otras, algunas de ellas son vías pretroncales del sistema de transporte masivo, en la mayoría de estas vías se presenta un flujo considerable de motocicletas.

De los 232.32 kilómetros de calzada de vías terciarias de la ciudad, el 14.3% (33.15 km) se encuentra en buen estado para la circulación de los vehículos motorizados, el 63.1% (146.57 km) se encuentra con elementos que impacta negativamente la capa de rodadura, el 15.9% (37 km) se encuentra en mal estado dificultando la movilidad motorizada y el 6.7% (15.6 km) se encuentra sin pavimentar.

Las zonas verdes de la ciudad suman 10.914.985 m² en las 22 comunas del área urbana, entre los parques destacados están:

- El Parque del Acueducto se encuentra en el noroccidente de la ciudad detrás del barrio San Antonio, es una de las áreas verdes más grandes de la ciudad
- Acuaparque de la Caña: Es el parque acuático más grande de la ciudad cuenta con varias piscinas, en sus instalaciones se realizan otras actividades recreativas como viejotecas y conciertos.
- Parque El Ingenio: es un parque dedicado a la práctica de ejercicio al aire libre. También se puede encontrar kioscos de comidas.
- Parque de Alameda: se encuentra ubicado en el barrio alameda, se caracteriza por la gran oferta de gastronomía pacífica. Cerca se encuentra la galería de Alameda, la cual es una plaza de mercados con gran diversidad en frutas y alimentos.
- Parque del Perro: Era uno de los sitios de recreación de la gente del Barrio San Fernando viejo, en la actualidad es una zona de restaurantes y clubes de reunión.
- Parque artesanal Loma de la Cruz: es uno de los atractivos turísticos de la ciudad, donde se exhiben y venden diversos productos artesanales.
- Parque del Avión: En este parque hay un avión enviado por el General Omar Torrijos, incluyendo en los alrededores varias canchas de fútbol, baloncesto y voleibol, además de piscinas
- Parque La Flora: Ubicado en el barrio la Flora, uno de los más tradicionales del norte de la ciudad, es un parque recreativo con una pista atlética y diversas estaciones de ejercicios.
- Parque de la Música: El parque es reconocido por ser punto de encuentro entre el 26 y 30 de diciembre de cada año de melómanos y coleccionistas de música como parte de un evento organizado para la Feria de Cali. También es frecuentado durante el resto del año por diferentes grupos musicales e hinchas del Deportivo Cali debido a la proximidad con su sede.

En la ciudad existen zonas críticas de contaminación por ruido, la problemática de la zona centro, se debe en mayor medida al tráfico vehicular y la presencia de actividades de ventas ambulantes con amplificación de sonido, tránsito permanente de personas. En sectores con vocación residencial como Juanambú y Granada, San Fernando y el Peñón, además del tráfico rodado existe una gran presencia de establecimientos comerciales con amplificación de sonidos que han generado quejas constantes, sin embargo, se evidenció que en los dos primeros sectores mencionados, algunos establecimientos han implementado medidas de mitigación que han disminuido considerablemente el ruido generado por sus actividades.

Según información oficial, en 2018, las zonas que presentaron más problemas por exceso de ruido, fueron las comunas 2, 17 y 19, donde se registraron más del 50 % de las sanciones impuestas por la autoridad ambiental.

A continuación, se describen las zonas a evaluar dentro de la ciudad de Cali.

3.2 Zonas de especial atención

Para la ciudad de Santiago de Cali, se definieron 19 zonas de especial atención (ZEA). Las ZEA fueron determinadas teniendo en cuenta diferente información recolectada, como el último mapa de ruido (2015), las quejas atendidas por la generación de ruido y finalmente la experiencia y recomendaciones de los expertos técnicos de las autoridades ambientales (CVC y DAGMA) o contratistas (K2 Ingeniería S.A.S.).

En la Tabla 1 se encuentra la descripción de las zonas de especial atención evaluadas.

Tabla 1. Zonas de especial atención evaluadas

ZEA	Comuna	Descripción
ZEA 01	3 y 9	Centro
ZEA 02	2	Juanambú/Granada
ZEA 03	4	Manzanares/Las Delicias
ZEA 04	4	Porvenir
ZEA 05	4	Molino San Felipe
ZEA 06	4	Alianza
ZEA 07	3	Peñón
ZEA 08	17	Carrera 66 y Fontana
ZEA 09	17	San Joaquín
ZEA 10	15	Ciudad Córdoba
ZEA 11	19	Unidad Deportiva
ZEA 12	2	Cartones América
ZEA 13	10 y 11	Galería Santa Elena
ZEA 14	2	Zona Rosa Calle 44
ZEA 15	19	Parque del Perro
ZEA 16	22	Zona Rosa Ciudad Jardín
ZEA 17	7 y 8	Base Aérea
ZEA 18	4 y 5	Único/Zona Industrial
ZEA 19	3	Teatro al aire libre Los Cristales

Fuente: Propia (estudio actual)

Posteriormente, se realiza un resumen de la delimitación de cada ZEA y su georreferenciación.

3.2.1 Zona de especial atención 01



Ilustración 2. ZEA01
Fuente: Propia (estudio actual)

Delimitada por el polígono comprendido por la Calle 10 entre Carrera 4 y Carrera 13, hasta la Calle 15 entre Carrera 4 y Carrera 13, las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios (discotecas, centros comerciales, iglesias, parqueaderos) perifoneo, tráfico vehicular mixto, ventas ambulantes.

3.2.2 Zona de especial atención 02



Ilustración 3. ZEA02
Fuente: Propia (estudio actual)

Delimitada por la Avenida 9N entre Calle 9 y 21N; y la Avenida 9A N entre Calle 9 y 21 Norte. Las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios (principalmente amplificación de sonido en bares y restaurantes). Sobre las Avenidas 9N y 9A N (vías principales de la zona) se presenta tráfico vehicular liviano.

3.2.3 Zona de especial atención 03

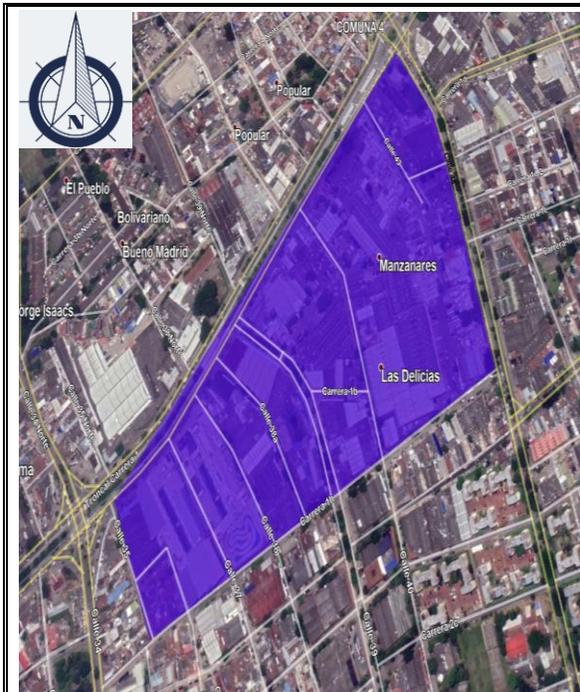


Ilustración 4. ZEA 03
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono comprendido por la Cll. 35 entre Carreras 1 y 1H y la Calle 44 entre Carreras 1 y 1H, las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales industriales y de servicios, tráfico vehicular pesado (vehículos pesados de más de tres ejes) por la Carrera 1 y la Calle 44.

3.2.4 Zona de especial atención 04



Ilustración 5. ZEA 04
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono comprendido entre la Calle 27 entre Carreras 4 y 6, y la Calle 33 entre las Carreras 4 y 6. La zona se caracteriza por el ruido generado por actividades comerciales, ventas ambulantes, actividades industriales y de servicios (fabricas, talleres) perifoneo y tráfico vehicular mixto principalmente sobre la Carrera 5.

3.2.5 Zona de especial atención 05

	<p>Delimitada por el polígono comprendido por las Calles 49N entre Carreras 5 y 7N y la Calle 50N entre Carreras 5 y 7N. Las principales fuentes de emisión de ruido están asociadas a actividades industriales y la presencia de algunas fuentes comerciales y de servicios (talleres mecánicos), en la zona se presenta tráfico vehicular mixto.</p>
<p>Ilustración 6. ZEA 05 Fuente: Propia (Estudio actual)</p>	

3.2.6 Zona de especial atención 06

	<p>Delimitada por el polígono comprendido por las Calles 46A entre Carreras 1 y 1D y la Calle 52 entre Carreras 1 y 1D, las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios (industria, talleres, EDS). Sobre la avenida Carrera 1, se presenta tráfico vehicular mixto; vehículos livianos y motocicletas, buses articulados del sistema de transporte masivo y buses intermunicipales.</p>
<p>Ilustración 7. ZEA 06 Fuente: Propia (Estudio actual)</p>	

3.2.7 Zona de especial atención 07

	<p>Delimitada por la Cra 3A y Cra. 2 entre Calle 4 Oeste y Calle 2. La zona se caracteriza por el ruido generado por actividades comerciales y de servicios (bares y restaurantes principalmente), tráfico vehicular liviano y ventas ambulantes.</p>
<p>Ilustración 8. ZEA07 Fuente: Propia (estudio actual)</p>	

3.2.8 Zona de especial atención 08

	<p>Delimitada por la Cra 66 entre Cll 10 y 13 incluyendo sector de la Fontana; Cll 13 entre Cra. 66B y 68. La zona se caracteriza por el ruido generado por actividades comerciales y de servicios (bares y tabernas principalmente), tráfico vehicular liviano y ventas ambulantes.</p>
<p>Ilustración 9. ZEA08 Fuente: Propia (estudio actual)</p>	

3.2.9 Zona de especial atención 09

	<p>Comprendida por la Carrera 100 entre las Calles 16 y 25, cercana a la Universidad del Valle. Predomina el ruido generado por el continuo tráfico vehicular mixto, diferentes establecimientos comerciales y plantas industriales.</p>
<p>Ilustración 10. ZEA09 Fuente: Propia (estudio actual)</p>	

3.2.10 Zona de especial atención 10

	<p>Delimitada por el corredor vial comprendido en las Calles 52 a 54C y entra las Carreras 41B y 46. Las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son actividades comerciales y de servicios (bares, tabernas), tráfico vehicular liviano, ventas ambulantes.</p>
<p>Ilustración 11. ZEA 10 Fuente: Propia (Estudio actual)</p>	

3.2.11 Zona de especial atención 11



Ilustración 12. ZEA11
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el Polígono entre las Calles 5 y 2 y las Carreras 48 y 55, incluyendo Cosmocentro, las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios (centros comerciales con parqueadero), coliseos, tráfico vehicular mixto, ventas ambulantes. La Calle 5 (vía principal de la zona), es una vía troncal del sistema transporte masivo, la vía presenta tráfico constante de vehículos livianos.

3.2.12 Zona de especial atención 12



Ilustración 13. ZEA12
Fuente: Propia (estudio actual)

Comprendida por la Calle 70 entre Avenida 2AN y 2BN y la Calle 72N entre Avenida 2AN y 2BN. La zona se caracteriza por el ruido generado por las actividades industriales de la planta Cartones América. La Calle 70 (vía principal de la zona de estudio) presenta tráfico vehicular mixto; tráfico de vehículos livianos y motocicletas, desplazamiento de buses padrones del sistema de transporte masivo (la zona está cercana a la terminal Menga) y vehículos pesados de más de tres ejes.

3.2.13 Zona de especial atención 13



Ilustración 14. ZEA13
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono comprendido en la Calle 17 entre las Carreras 29A a 29F, de las Calles 19 a 23 entre las Cra. 27 y 29B, de las Calles 23 a 26 con Cra. 28 y 31 y de las Calles 26 a 26B con Cra. 28 y 30. Las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios; ventas ambulantes (con y sin amplificación de sonido) que limitan el tránsito de vehículos (tráfico mixto), actividades de perifoneo permanente.

3.2.14 Zona de especial atención 14

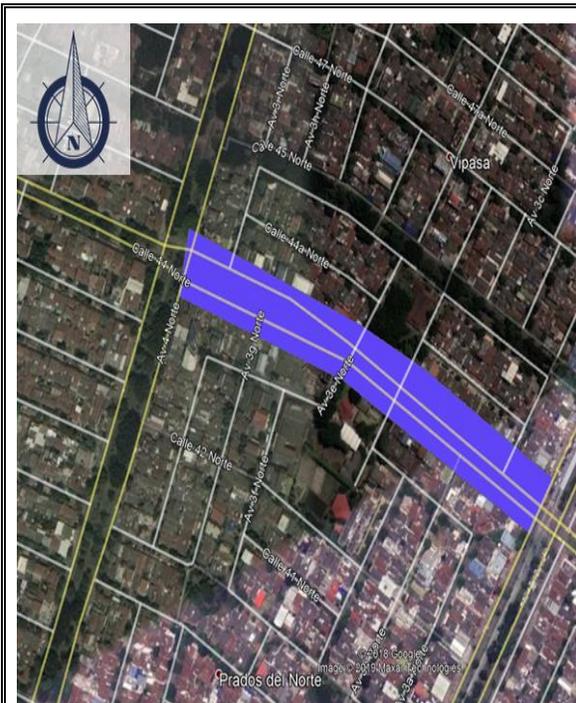


Ilustración 15. ZEA14
Fuente: Propia (estudio actual)

Delimitada por el corredor vial de la Calle 44 entre Avenidas 3N y 4N. Las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son las actividades comerciales y de servicios (principalmente amplificación de sonido en bares y restaurantes). Sobre la avenida 3N se presenta tráfico vehicular mixto; vehículos livianos y motocicletas, buses articulados del sistema de transporte masivo y buses intermunicipales. Sobre la Calle 44 se presenta tráfico vehicular liviano (principalmente), esta vía se encuentra en el recorrido de una de las rutas del sistema de transporte masivo.

3.2.15 Zona de especial atención 15



Ilustración 16. ZEA15

Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono que incluye el corredor vial de Carrera 34 con Calle 5 a Carrera 34 con Calle 3A incluye todo el parque del perro Calle 3 a Calle 3 Oeste, la zona se caracteriza por el ruido generado por las actividades comerciales y de servicios, en la zona hay gran presencia de bares, discotecas y restaurantes, se presenta tráfico de vehículos livianos.

3.2.16 Zona de especial atención 16



Ilustración 17. ZEA16

Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono comprendido entre la Calle 16 con Carrera 106 y la Calle 14 con Carrera 105, se caracteriza por tener actividades comerciales y de servicios; bares, discotecas, presenta tráfico liviano.

3.2.17 Zona de especial atención 17



Ilustración 18. ZEA 17
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el predio ocupado por la escuela militar de aviación Marco Fidel Suárez, la zona se caracteriza por el ruido producto de las actividades desarrolladas por la base aérea y actividades comerciales y de servicios (pequeños talleres), tráfico vehicular mixto por la carrera 8 (vehículos pesados de más de tres ejes) se presenta tráfico vehicular mixto; tráfico de vehículos livianos y motocicletas, desplazamiento de buses padrones del sistema de transporte masivo.

3.2.18 Zona de especial atención 18



Ilustración 19. ZEA 18
Fuente: Propia (Estudio actual)

Delimitada por el polígono entre las Calle 44 a 64A y las Carreras 5 a 7, incluye corredor vial del Único (Calle 52) hasta el Sena, la zona se caracteriza por el ruido generado por las actividades comerciales industriales y de servicios (industria, talleres), tráfico vehicular pesado por la carrera 5 (vehículos pesados de más de tres ejes) se presenta tráfico vehicular mixto; tráfico de vehículos livianos y motocicletas, desplazamiento de buses padrones del sistema de transporte masivo.

3.2.19 Zona de especial atención 19

	<p>Delimitada por el área de influencia del teatro al aire libre Los Cristales, las fuentes de emisión de ruido características en esta zona son tráfico mixto, conciertos y eventos masivos con amplificación de sonido.</p>
<p>Ilustración 20. ZEA19 Fuente: Propia (estudio actual)</p>	

3.3 Zonas de tranquilidad

En la Tabla 2 se encuentra la descripción de las zonas de tranquilidad evaluadas.

Tabla 2. Zonas de tranquilidad evaluadas

ZTR	Comuna	Descripción
ZTR 01	2 y 3	Corredor del río Cali – Sector Santa Rita
ZTR 02	13	Pondaje
ZTR 03	2	Estatua Belalcázar
ZTR 04	3	Parque del Acueducto
ZTR 05	3	Colina San Antonio
ZTR 06	17	Corredor del río Cali – Sector Santa Rita
ZTR 07	22	Complejo Deportivo
ZTR 08	19	Zona Deportiva Calle 9
ZTR 09	El Hormiguero	Zona de expansión El Hormiguero

Fuente: Propia (estudio actual)

3.3.1 Zona de tranquilidad 01

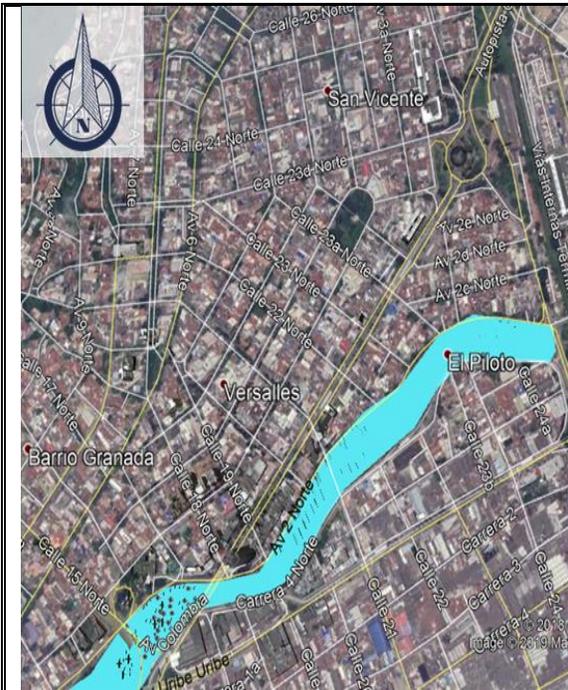


Ilustración 21. ZTR1
Fuente. Propia (estudio actual)

Zona de tranquilidad denominada Corredor del río Cali- sector Santa Rita, limitado por el polígono comprendido entre la Carrera 1 y la avenida 20E entre Calle 110E y 130E. Esta zona tiene características exclusivamente residenciales a orillas del río Cali, donde predominan sonidos naturales, aves silvestres y ruido generado por la corriente del río.

3.3.2 Zona de tranquilidad 02



Ilustración 22. ZTR02
Fuente: Propia (Estudio actual)

La zona de tranquilidad de la Comuna 13 corresponde a la laguna Pondaje y su zona de recuperación.

3.3.3 Zona de tranquilidad 03



Ilustración 23. ZTR3
Fuente. Propia (estudio actual)

La zona de tranquilidad del mirador de la estatua de Sebastián de Belalcázar, se caracteriza por su gran zona verde, la realización de actividades al aire libre, ventas ambulantes y eventos culturales con amplificación de sonido, en las inmediaciones de la zona de tranquilidad se presenta tráfico vehicular mixto.

3.3.4 Zona de tranquilidad 04



Ilustración 24. ZTR4
Fuente. Propia (estudio actual)

El sector del parque del acueducto, se caracteriza por ser una zona con abundante presencia de árboles, en la zona se realizan actividades de recreación, en el perímetro del parque se presenta tráfico vehicular mixto.

3.3.5 Zona de tranquilidad 05



Ilustración 25. ZTR5

Fuente. Propia (estudio actual)

El sector de San Antonio se caracteriza por tráfico vehicular liviano, presencia permanente de ventas ambulantes, eventos culturales con amplificación de sonido, en el perímetro del parque hay fuerte presencia de establecimientos comerciales.

3.3.6 Zona de tranquilidad 06



Ilustración 26. ZTR06

Fuente: Propia (estudio actual)

La zona de tranquilidad está delimitada por todo el corredor verde del río Melendez, entre Multicentro y el fin del parque del Ingenio. Esta zona tiene características de corredor ecológico, por lo tanto, hay presencia de sonidos naturales, aves silvestres y de actividad de origen antropogénica (en el sector del Ingenio principalmente).

3.3.7 Zona de tranquilidad 07



Ilustración 27. ZTR07

Fuente. Propia (estudio actual)

En esta comuna se encuentra la zona de tranquilidad 7 caracterizada por estar rodeada de una gran zona verde, que corresponde al complejo deportivo contiguo al Colegio Claret.

3.3.8 Zona de tranquilidad 08



Ilustración 28. ZTR08

Fuente: Propia (Estudio actual)

La zona de tranquilidad denominada Zona deportiva Calle 9, corresponde al polígono entre las Calle 9 entre Carreras 32 y 39 y la autopista Sur Oriental, en este polígono, se encuentran la Unidad Deportiva Jaime Aparicio, las Piscinas Hernando Botero O'Byrne, las Canchas Panamericanas. El Diamante de Softball y el Coliseo de Hockey Miguel Calero. La Autopista Sur Oriental y la Calle 9 son vías pretroncales del sistema de transporte masivo, la autopista se caracteriza por el tráfico permanente de vehículos pesados y livianos, sobre la Calle 9 hay presencia constante de vehículos livianos y algunas busetas del servicio colectivo.

3.3.9 Zona de tranquilidad 09



En el anexo digital KMZ de cada comuna, se presentan los archivos en formato *.KMZ que contienen el perímetro de las ZEA y ZTR, la ubicación de los puntos de muestreo espacial y temporal en cada una de las mismas. El detalle de los monitoreos es explicado más adelante. De igual manera, se presentan los registros fotográficos de las mediciones realizadas en el anexo digital con su mismo nombre en cada comuna.

4 Normatividad aplicable de ruido ambiental

4.1 Normativa nacional Resolución 627 de 2006 del MAVDT actual MADS

El marco legal que regula actualmente en Colombia los procedimientos de medida y evaluación de la contaminación acústica ambiental se enmarcan en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Esta norma proporcionó la plataforma para el desarrollo de medidas ajustadas al territorio nacional sobre ruido ambiental emitido por las fuentes de importancia relevante, en relación con las emisiones sonoras que producen en su operación. Dentro de la norma el horario día y noche es definido de la siguiente manera:

Tabla 3. Horarios establecidos por la Resolución 627 de 2006

Tipo de Horario	Hora de Inicio	Hora Final
Diurno	7:01 a.m.	9:00 p.m.
Nocturno	9:01 p.m.	7:00 a.m.

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS

Para el desarrollo del mapa estratégico de ruido (MER) de Santiago de Cali, se enmarcó el proyecto en los estándares máximos permisibles de ruido ambiental por cada sector y subsector normativo (actividad y tipo de actividad). Los sectores relacionados son:

- Sector A. Tranquilidad y silencio
- Sector B. Tranquilidad y ruido moderado
- Sector C. Ruido intermedio restringido
- Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado

En la Tabla 4 se establecen los niveles máximos permisibles de Ruido Ambiental y Ruido Emisión para los sectores mencionados anteriormente, según el Artículo 17 del Capítulo III de la Resolución 627 de 2006.

Tabla 4. Estándares máximos permisibles para ruido ambiental y ruido emisión

Sector	Subsector	Máximos permisibles ruido ambiental, dB(A)		Máximos permisibles ruido de emisión, dB(A)	
		Día	Noche	Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45	55	50
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.				
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.				

Sector	Subsector	Máximos permisibles ruido ambiental, dB(A)		Máximos permisibles ruido de emisión, dB(A)	
		Día	Noche	Día	Noche
Sector C. Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70	75	75
	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, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50	65	55
	Zonas con usos institucionales.				
Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70	80	75	
Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana.	55	45	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.				
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.				

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS

“Parágrafo Primero: Se definen como vías de alta circulación vehicular las contempladas en la Ley 769 de 2002 como vías troncales, autopistas, vías arterias y vías principales”.

4.2 Normativa internacional UNE ISO 1996

La metodología macro de este proyecto se ha fundamentado en la norma internacional UNE ISO 1996 [2] [3], en la que bajo el título general “Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental”, se demarcan dos partes:

- Parte 1: detallan las magnitudes básicas y métodos de evaluación del ruido en el medio ambiente.
- Parte 2: se centra en los métodos para determinar los niveles de presión sonora para diferentes tipos de fuentes y la definición de la incertidumbre asociada a la medida.

La norma internacional brinda a las autoridades la estandarización para medición y evaluación del ruido en ambientes comunitarios, pudiéndose desarrollar a partir de ella, normas nacionales, resoluciones y los correspondientes estándares máximos permisibles.

La ISO 1996 – 1:2016 [2] e ISO 1996 – 2:2017 [3] tienen por fundamento la respuesta potencial a la molestia que se causa a partir del ruido y por ello definen términos correctores para ajustar, penalizar y corregir ruidos con características determinadas, y que ocasionan una molestia específica. Partiendo de ellos, incorporan el término de “Nivel de evaluación”, sobre el cual se comparan los estándares máximos permisibles, con lo cual, el cumplimiento no se realiza con la medición neta si no con el nivel obtenido a partir de ella más los correctores que se les han añadido para estimar la molestia.

Esta norma, deja vía libre para que cada Autoridad Ambiental defina los límites que se pueden seguir para el ruido medioambiental, es decir, que es la guía para determinar los niveles de presión sonora base en la evaluación del ruido ambiental, bien sea por cálculo, por medición directa y por extrapolación de los resultados de las mediciones tras la realización de un procesamiento de datos; no obstante, quien determina si tales niveles corresponden o no al confort acústico, es la normativa nacional aplicable a cada territorio (Res. 627/2006 [1]).

4.3 Normativa internacional ISO 9613

Esta referencia normativa (ISO 9613-1:1993 [4] / ISO 9613-2:1996 [5]) especifica un método ingenieril para calcular la atenuación de sonido durante la propagación en exteriores, lo cual se traduce en la predicción de los niveles de ruido ambiental a una distancia específica a partir de la caracterización de la emisión acústica de los diversos focos sonoros existentes (variedad de fuentes). Este método es el estándar de cálculo empleado en el software de modelación, capaz de predecir el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (como se describe en la ISO 1996 [2]) bajo condiciones meteorológicas favorables para la propagación, todo ello a partir de fuentes de emisión con un nivel de ruido conocido.

La aplicación de esta normativa en el presente proyecto demarcó el cálculo y la extrapolación de niveles en toda la extensión de la ciudad de Santiago de Cali, a partir de una malla de procesamiento, empleando las siguientes teorías acústicas:

- Divergencia geométrica
- Absorción atmosférica
- Efecto del suelo
- Reflexiones de superficies
- Apantallamiento por obstáculos

5 Metodología

En los siguientes apartados, se muestran los procedimientos utilizados para el trabajo en campo, las fórmulas para el cálculo de los niveles de presión sonora y la metodología implementada en el cálculo de incertidumbre de medición y modelación.

La ejecución del proyecto de actualización del MER de Santiago de Cali llevada a cabo por K2 Ingeniería S.A.S. se enmarcó en los Fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®). La metodología seguida en todo el estudio se detalla bajo el siguiente diagrama:

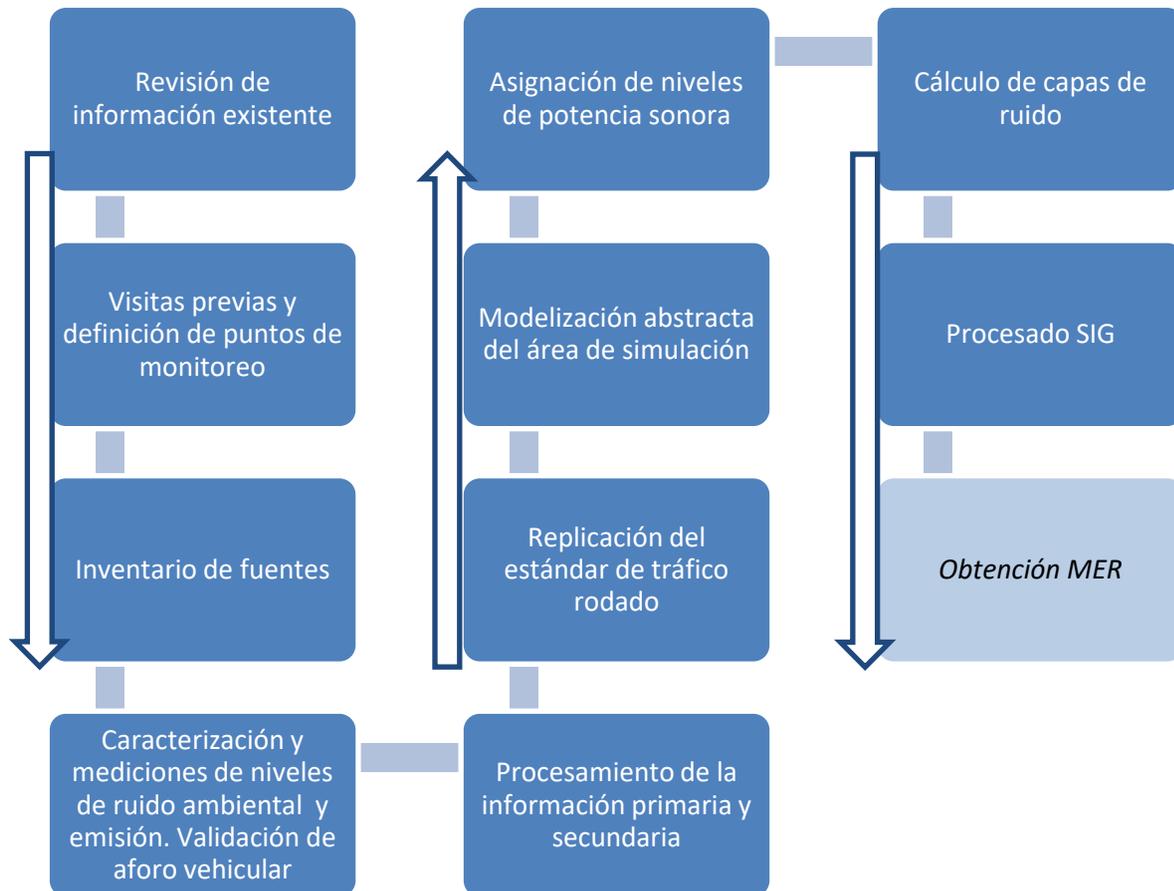


Ilustración 30. Metodología general del estudio

Fuente: Propia (Estudio Actual)

La actualización de los mapas de ruido se realizó elaborando mapas estratégicos que involucran sectores productivos o fuentes específicas como las fuentes móviles, para lograr identificar las zonas con mayores y menores niveles de ruido ambiental.

A continuación, se mencionan las actividades ejecutadas para lograr la elaboración de estos informes:

Solicitud y revisión de información:

- Identificación de zonas de trabajo, denominadas zonas de especial atención (ZEA), que son las zonas donde se presentan las quejas por ruido, o donde se concentra la mayor actividad generadora de este contaminante.

- Identificación de puntos de cámaras de video utilizadas en aforos vehiculares.
- Revisión de los informes tipo convenio realizados por CVC - DAGMA y la Universidad Javeriana.
- Revisión de fichas normativas de comunas (FCN), áreas de actividad en suelo urbano y de expansión, sistema de espacio público en suelo urbano y de expansión - ESC, modelo de ordenamiento en suelo urbano y de expansión - C y modelo de ordenamiento municipal - NC.
- Recopilación de quejas y reclamos de la comunidad.
- Definición de zonas de especial de atención y puntos de medición (emisión y ambiental).

Trabajo de campo:

- Inventario preliminar de fuentes de ruido en las zonas delimitadas.
- Instalación estación fija de ruido de medición continua.
- Medición zonas tranquilas de ruido.
- Mediciones de ruido ambiental zona de especial atención (ZEA).
- Mediciones de ruido ambiental puntos adicionales.
- Mediciones de emisión de ruido zona de especial atención (ZEA).

Análisis y cálculo de emisiones:

- Se realizó el procesamiento de información primaria y secundaria obtenida.
- Modelización abstracta del área de simulación.
- Asignación de niveles de potencia sonora.
- Cálculo de las capas de ruido.
- Procesamiento SIG.
- Elaboración de mapas estratégicos de ruido.

5.1 Actividades de medición e inventario de fuentes

Una de las actividades importantes en el proceso de construcción de los MER, fue la medición de ruido ambiental y de emisión. Estas se realizaron con base a la norma ya mencionada, donde también, se caracterizaron las diferentes fuentes de ruido (tráfico en carretera, focos industriales, zonas comerciales, y sector de servicios).

Las medidas se extendieron en el total de 19 ZEA, en cada una de las cuales se ubicó un equipo de trabajo para la toma de muestreos de ruido ambiental y, paralelo a ello, se realizó la caracterización de los diferentes focos de ruido. Las mediciones de ruido de emisión se realizaron conforme la cantidad de fuentes emisoras en cada ZEA, teniendo en cuenta el horario de funcionamiento de los establecimientos a caracterizar.

Las fuentes fijas (ver anexo digital inventario de fuentes fijas en las comunas con zonas de especial atención) fueron inventariadas puntualizando detalles como la georreferenciación usando coordenadas WGS 84, la altura promedio de edificaciones, el material de las fachadas, la ubicación respecto al punto de medición, el tipo de actividad, y la fuente principal de emisión; esto se puede observar en el anexo digital formatos y datos de campo dentro de los informes de cada comuna.

5.1.1 Identificación puntos de monitoreo

Para todos los puntos de la ciudad, la codificación usada es la siguiente:

ZEA X₁ P X₂ X₃

Donde:

ZEA: Zona de especial atención

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

- X₁: Número indicativo de la zona
P: Punto de medición
X₂: Tipo de medición en el punto, una de las tres (A – Ambiental, F – Fijo, E – Emisión o I – Inventario)
X₃: Número indicativo del punto de medición

NOTA: para las zonas de tranquilidad, la codificación es ZTR X₁ P X₂ X₃, empleando la misma simbología que las ZEA.

5.1.2 Ruido ambiental

La metodología empleada para la medición de ruido ambiental se fundamentó en la ya mencionada norma ISO 1996 [2], esta norma está aprobada en el Inciso b del Capítulo II de la Resolución 627 de 2006: *“Las medidas de niveles de ruido ambiental con ponderación A, se efectúan teniendo en consideración la norma ISO 1996 o aquella norma que la adicione, modifique o sustituya”*. De igual manera en el Artículo 1° de la misma norma define: *“...Los términos técnicos no definidos expresamente, deberán asumirse de acuerdo con el glosario publicado por la International Standard Organization (ISO), en especial las definiciones contempladas en la ISO 1996”*. Las mediciones se dividieron en dos tipos, tal como se explica a continuación.

A) Muestreo espacial

El muestreo espacial consistió en mediciones de 15 minutos de duración para obtener la información de ruido ambiental del sector asociado a los diferentes tipos de fuentes. Estos registros se tomaron en todas las ZEA, ZTR y 23 puntos ambientales adicionales (PAA) en la ciudad, realizando mediciones un (1) día ordinario y un (1) día domingo, diferenciando los periodos diurno y nocturno de conformidad con la Resolución 627 [1], y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma ISO 1996-2:2017 [3].

En los respectivos informes de cada comuna es posible visualizar a mayor detalle la ubicación de cada uno de los puntos de muestreo espacial.

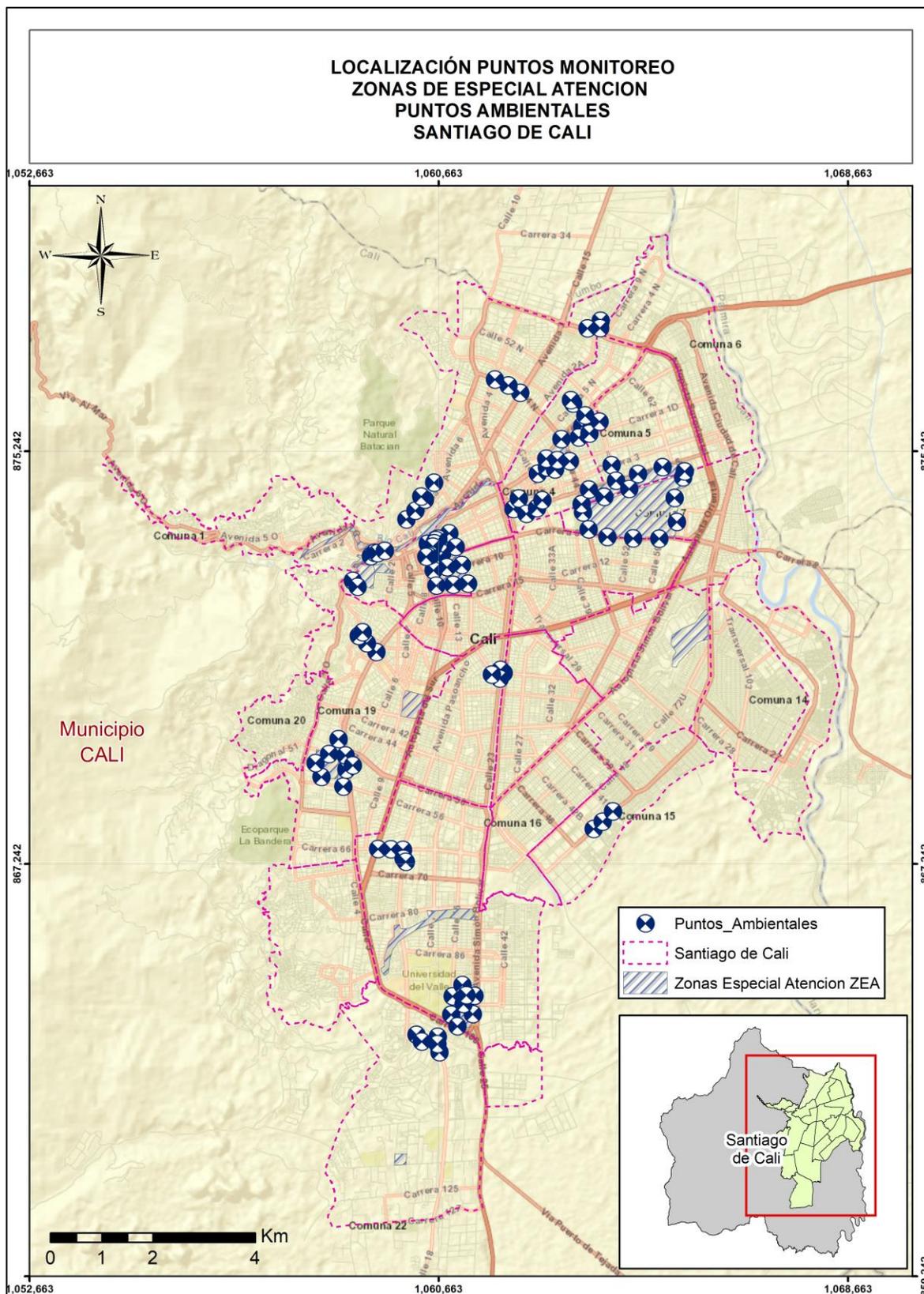


Ilustración 31. Puntos ambientales ZEA

Fuente: Propia (estudio actual)

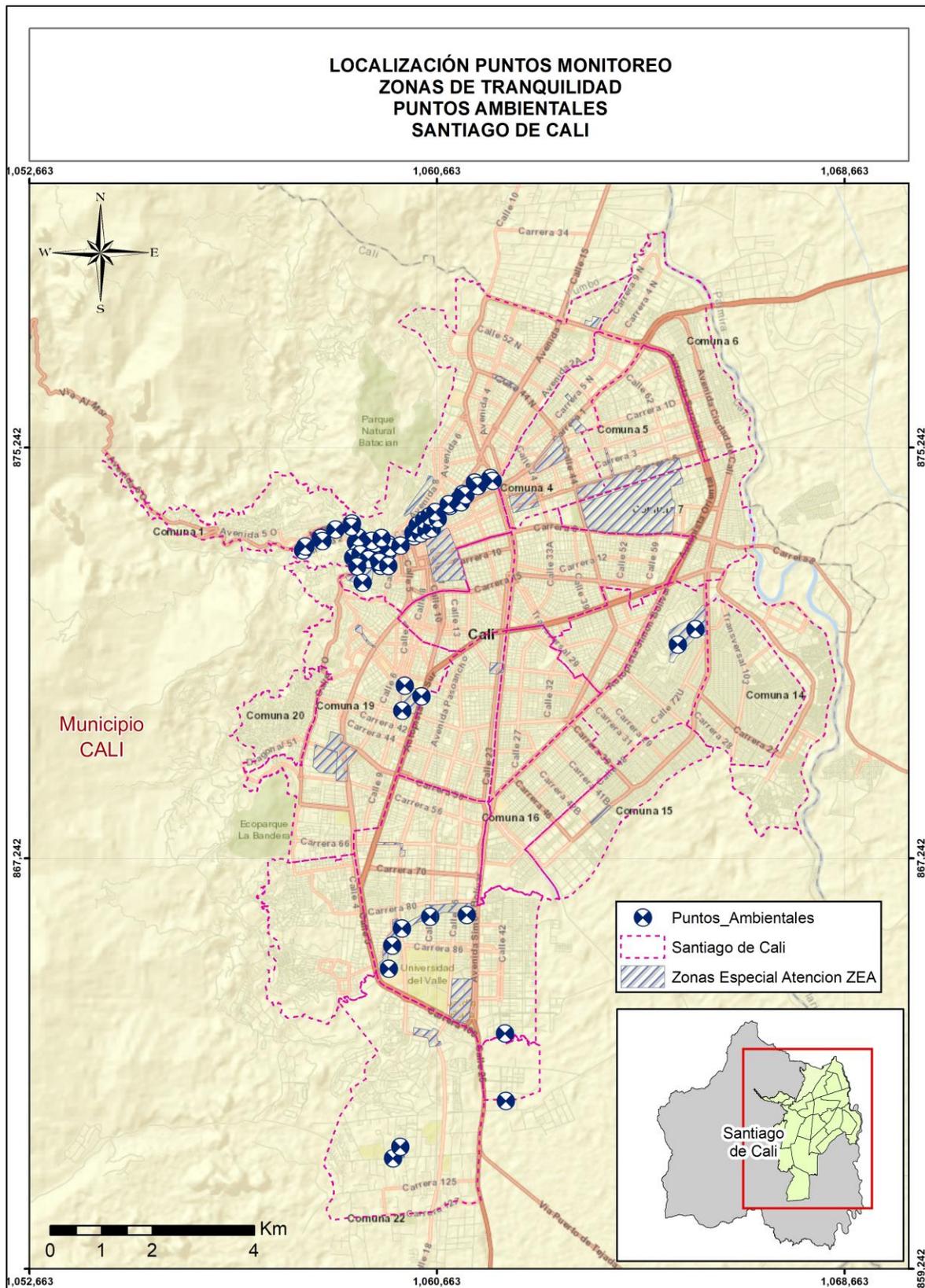


Ilustración 32. Puntos ambientales ZTR

Fuente: Propia (estudio actual)

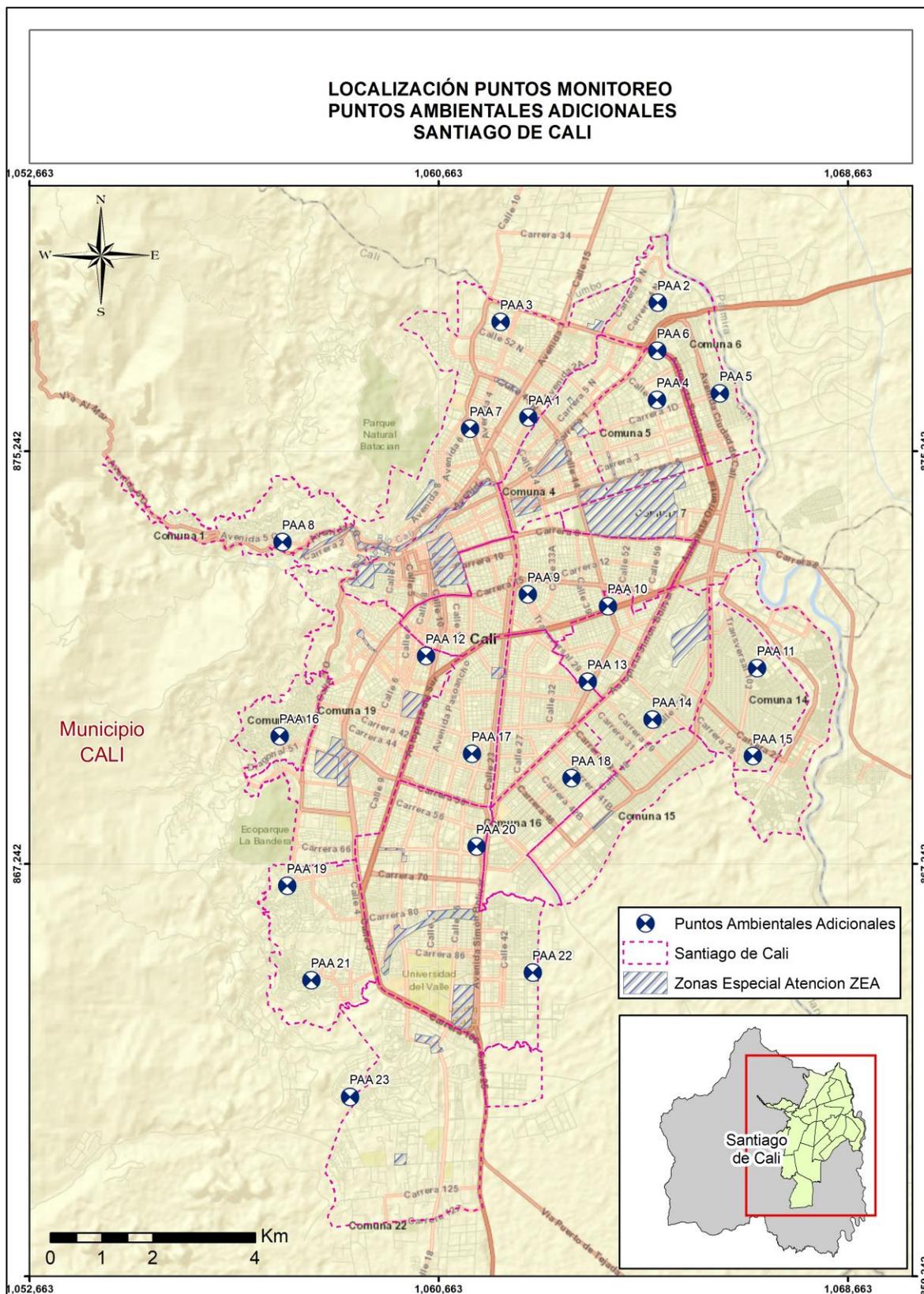


Ilustración 33. Puntos ambientales adicionales
Fuente: Propia (estudio actual)

B) Muestreo temporal

El muestreo temporal consistió en mediciones de ruido ambiental con tiempos de medición de mínimo 24 horas. Para la ciudad, se realizaron mediciones en 9 estaciones fijas situadas en la ZEA01, ZEA02, ZEA07, ZEA08, ZEA10, ZEA12, ZEA13, ZEA14 y ZEA15. La finalidad de las estaciones temporales es registrar un dato de mayor precisión sobre el comportamiento real en los sectores de análisis.

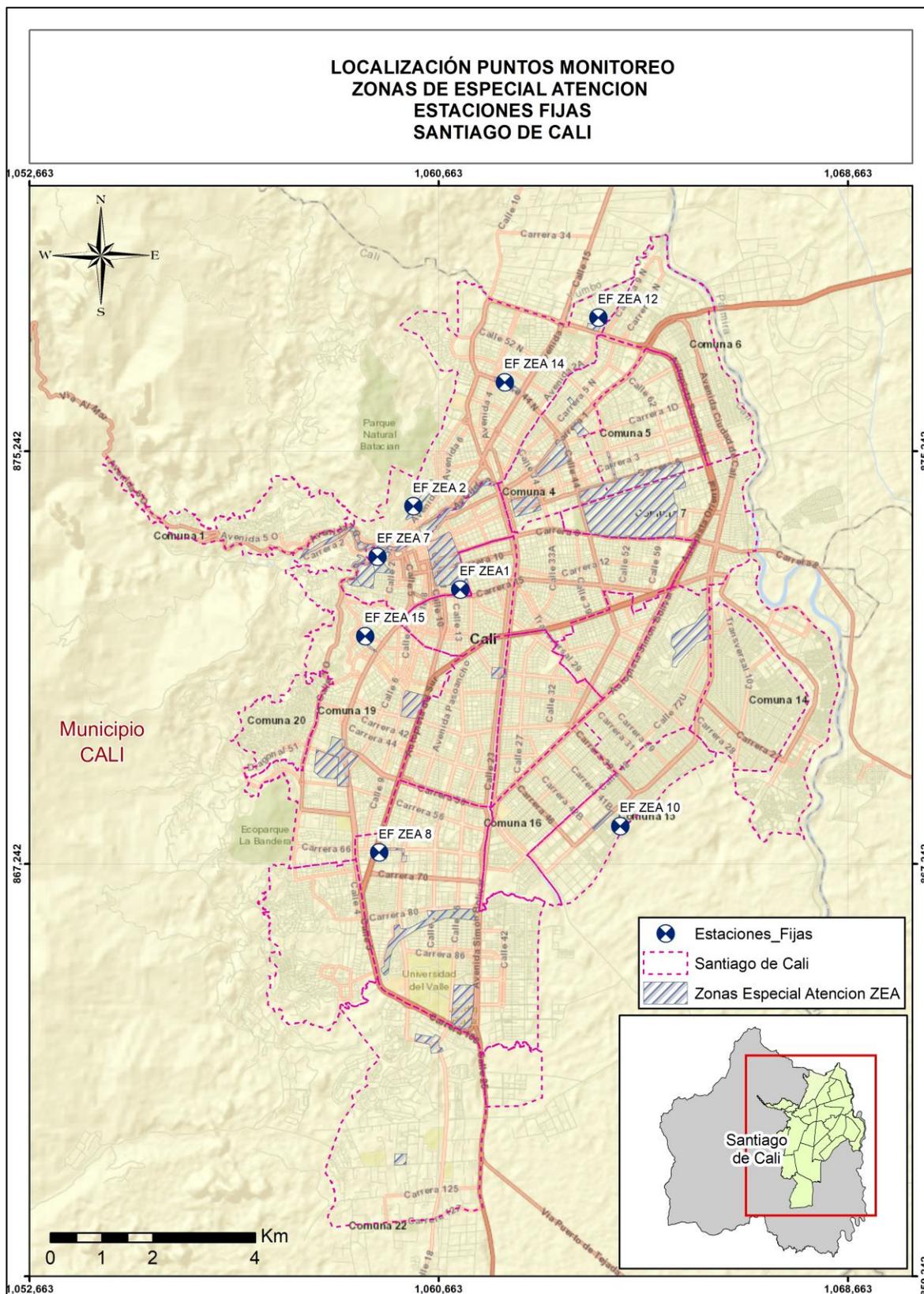


Ilustración 34. Puntos ambientales – Estaciones fijas
Fuente: Propia (estudio actual)

5.1.3 Ruido de emisión

Una vez terminadas las mediciones de muestreo temporal y muestreo espacial, se realizaron mediciones de emisión de ruido en cantidad suficiente para cubrir las predominancias del inventario de fuentes de cada ZEA en particular. Las mediciones se llevaron a cabo conforme al estándar normativo ya mencionado.

Se seleccionaron los diferentes tipos de fuente dentro de cada zona de especial atención, y, al hacer la medición de éstas, se buscó obtener una caracterización individual (ruido específico) la cual fue tomada en cuenta para determinar los niveles de potencia sonora de las mismas a utilizar en la etapa de modelación. La metodología de selección de puntos de monitoreo se puede ver en el anexo digital 1 metodología MER.

Es de aclarar que para las fuentes con predominancia nocturna los fines de semana, las mediciones del día ordinario se realizaron entre jueves, viernes y sábado entre las 21:01 horas y las 2:00 horas como periodos de máxima emisión.

En los informes individuales por comuna, se encuentran las ubicaciones del inventario de fuentes de emisión de ruido caracterizadas en la ciudad.

5.2 Consolidado de mediciones

En total se distribuyeron 449 puntos en la ciudad, repartidos en los siguientes tipos de medición.

Tabla 5. Consolidado de puntos muestreados

Clasificación	Descripción	Tipo de medición*	Puntos por tipo	Total de puntos
Zonas de especial atención	ZEA 01	RA	18	70
		ER	52	
	ZEA 02	RA	5	21
		ER	16	
	ZEA 03	RA	7	22
		ER	15	
	ZEA 04	RA	5	26
		ER	21	
	ZEA 05	RA	2	8
		ER	6	
	ZEA 06	RA	5	15
		ER	10	
	ZEA 07	RA	6	14
		ER	8	
	ZEA 08	RA	5	11
		ER	6	
	ZEA 09	RA	8	16
		ER	8	
	ZEA 10	RA	3	18
		ER	15	

Clasificación	Descripción	Tipo de medición*	Puntos por tipo	Total de puntos
	ZEA 11	RA	8	20
		ER	12	
	ZEA 12	RA	3	7
		ER	4	
	ZEA 13	RA	5	19
		ER	14	
	ZEA 14	RA	3	16
		ER	13	
	ZEA 15	RA	4	17
		ER	13	
	ZEA 16	RA	5	12
		ER	7	
ZEA 17	RA	6	17	
	ER	11		
ZEA 18	RA	8	21	
	ER	13		
ZEA 19	RA	2	3	
	ER	1		
Zonas de tranquilidad	ZTR 01	RA	35	35
	ZTR 02	RA	2	2
	ZTR 03	RA	2	2
	ZTR 04	RA	3	3
	ZTR 05	RA	4	10
		ER	6	
	ZTR 06	RA	5	5
	ZTR 07	RA	2	2
	ZTR 08	RA	3	3
ZTR 09	RA	2	2	
Otros	Adicionales de validación	RA	23	23
	Estación fija	Continuo	9	9
Total de puntos muestreados en la ciudad de Santiago de Cali				449

Fuente: Propia (estudio actual)

*RA = Ruido Ambiental, ER = Emisión de Ruido

5.3 Fecha y hora de monitoreo

Las mediciones de ruido ambiental y de emisión fueron realizadas durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2019; las fechas de las mediciones en las zonas de especial atención y

zonas de tranquilidad son presentadas en el anexo digital fechas de monitoreo dentro del informe cada comuna. Es importante resaltar que en las mediciones que no fue posible realizar la medición con fuente apagada, se utilizó el indicador L90 para ruido residual. En el anexo digital formatos y datas de campo de cada comuna, se reportan los formatos de campo donde se especifica con mayor detalle cada una de las mediciones realizadas.

5.4 Parámetros de medición

Los indicadores medidos tanto en los puntos de muestreo temporal como espacial son los siguientes:

- Espectro en Bandas de 1/3 octavas (16 Hz a 20 kHz)
- L_{eq}
- L_{Leq}
- L_{max}, L_{min}
- L_{90}, L_{10}
- L_{CPeak}

Las ponderaciones aplicadas fueron:

- Ponderación temporal Slow e Impulse
- Ponderación frecuencial [Z] y [A]

Con base a estos parámetros de medición se obtuvieron otros indicadores de ruido, tales como:

- $L_{RAeq,T}$ [dBA]: Nivel equivalente total corregido con ponderación [A], o nivel de evaluación en un tiempo T . Los intervalos temporales fueron D para la jornada diurna, N para la jornada nocturna.
- L_W [dBA]: Nivel de potencia acústica por banda de octava con ponderación [A].

5.5 Procesamiento de la información

5.5.1 Cálculo de nivel continuo equivalente corregido

Haciendo uso del software dBTrait 6.1, se obtuvo el nivel continuo equivalente, $L_{Aeq,T}$, para 15 minutos en cada jornada de medición y en ponderación A. Teniendo en cuenta las especificaciones de la normativa nacional, la información producto de las mediciones se corrigió por impulsividad (K_I) y tonalidad (K_T) para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, $L_{RAeq,T}$.

Se debe resaltar que los niveles corregidos de presión sonora, son los que se compararon con los estándares máximos permisibles de RA como se establece en el Artículo 6 “ajustes” parágrafo segundo de la Resolución 627 de 2006 [1].

Las correcciones, en decibeles ponderados A, se efectuaron de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T)$$

Ecuación 1. Corrección de los niveles de presión sonora continuo equivalente

Donde:

- K_I es un ajuste por impulsos en dB(A).
- K_T es un ajuste por tono y contenido de información en dB(A).

- $K_R(X)$ corresponde a cualquiera de los parámetros de medida.

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) sólo se corrige por un factor K , el de mayor valor en dB(A).

5.5.2 Cálculo de la emisión o aporte de ruido

Como se mencionó anteriormente, el MER fue desarrollado metodológicamente bajo la norma internacional ISO 9613-1:1993 Acústica. Atenuación del sonido durante su propagación al aire libre. Parte 1: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera [4], e ISO 9613-2:1996 Acústica. Atenuación del sonido durante su propagación al aire libre. Parte 2: Método de cálculo general [5].

Las predicciones de niveles con base a la norma ISO 9613 [4] estuvieron basadas en niveles de potencia acústica de cada fuente en bandas de octava. El software de modelación empleó sus algoritmos para determinar las atenuaciones que afectan la propagación del ruido, lo que permitió calcular el efecto de la divergencia esférica que se propaga en campo abierto desde una fuente puntual (cada foco emisor de ruido) y la atenuación debido a la absorción atmosférica durante una propagación a una distancia dada.

Partiendo de ello, con el software de modelación se obtuvo la energía acústica en cada punto de la malla de cálculo, considerando los diversos efectos resultantes en una propagación real del sonido, como la atenuación del suelo, la atenuación de los objetos naturales (cerros, quebradas, etc.) o artificiales (edificios, muros, etc.).

Los niveles de potencia acústica fueron estimados partiendo desde la formulación de la misma norma:

$$L_w = L_{eq} + 20 \log(r) + 10.9 - 10 \log(Q)$$

Ecuación 2. Cálculo del nivel de potencia acústica

Donde:

- L_{eq} es el Nivel Continuo Equivalente medido.
- r es la distancia existente entre la fuente y el punto de medida expresada en metros.
- Q es el factor de directividad, que fue idealizado con valores de uno (1) para las fuentes puntuales o dos (2) para las fuentes de área vertical sobre las fachadas de las edificaciones.

A su vez, la constante +10.9 se deriva de la siguiente formulación:

$$10 \log(4\pi) = 10.9$$

Ecuación 3. Constante de relación entre presión y potencia acústica

La Ecuación 2 también puede ser expresada como:

$$L_w = L_{dmre} + 20 \log\left(\frac{dmre}{1.0 m}\right) + 10 \log(4\pi)$$

Ecuación 4. Cálculo del nivel de potencia acústica modificada

Donde:

- L_{dmre} es el nivel de ruido específico
- $dmre$ es la distancia horizontal de medición de ruido específico medida en metros
- L_w el nivel de potencia sonora.

En el anexo digital 2 parámetros modelación, se encuentran en mayor detalle los parámetros específicos para el desarrollo del modelo, así como los archivos ejecutables del mismo.

5.6 Condiciones meteorológicas

Se realizaron mediciones de meteorología in situ para cada uno de los monitoreos realizados en las zonas de estudio, con el fin de constatar que las mediciones de ruido realizadas cumplieran con los requisitos técnicos exigidos por la Resolución 627 de 2006 [1]. Los datos meteorológicos ingresados al modelo para la ciudad de Santiago de Cali, fueron suministrados por el DAGMA y un análisis de esta información puede consultarse en el anexo digital 3 análisis meteorológico.

6 Análisis de resultados monitoreo de ruido ambiental

A continuación, se presentan los resultados de monitoreo de RA. Los niveles corregidos de presión sonora equivalente ponderados A, $-LRAeq,T-$, son los que se comparan con los estándares máximos permisibles de RA (véase Tabla 4). Respecto a los ajustes, se aplicaron teniendo en cuenta lo que estipula el Artículo 6 de la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 y se determinaron de acuerdo con el procedimiento del Anexo 2 de la misma resolución. Las mediciones se corrigieron por tono (K_T) y por impulso (K_I), por lo que se realizaron ajustes de 3 a 6 dB(A) en las diferentes mediciones. Los valores en su mayoría aumentan con la presencia de fuentes que generan tonos a altas frecuencias e impulsos incrementando el LAeq final en un máximo de 6 dB(A). Los resultados no se corrigieron por bajas frecuencias - K_S (instalaciones de ventilación y climatización) por la naturaleza de las fuentes identificadas y no se corrigieron por hora - K_R ya que el valor calculado del LAeq se realizó tanto para horario diurno como nocturno, y no como un sólo valor de LAeq para el día y la noche.

6.1 Zonas de especial atención (ZEA)

A continuación, se exponen los niveles de presión sonora mínimos y máximos registrados para cada una de las ZEA en jornada ordinaria y dominical con horario diurno y nocturno. Dichos niveles se pueden observar en la Tabla 6.

Para conocer en detalle las mediciones y resultados obtenidos, remitirse a los respectivos informes de cada comuna.

Tabla 6. Consolidado de RA en zonas de especial atención

Zona	LRAeq [dBA]							
	Ord. Diurno		Ord. Nocturno		Dom. Diurno		Dom. Nocturno	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
ZEA 01	60.6	82.4	53.0	77.1	62.6	83.5	52.2	79.8
ZEA 02	67.1	74.4	64.6	69.5	63.9	69.8	62.2	73.5
ZEA 03	64.7	79.8	52.7	64.2	61.6	71.7	49.5	70.5
ZEA 04	69.6	76.4	58.5	65.9	62.6	72.1	56.4	67.1
ZEA 05	67.4	71.7	56.7	59.0	62.9	62.9	59.6	67.0
ZEA 06	65.9	74.7	67.8	75.9	61.6	70.0	64.0	70.1
ZEA 07	65.6	77.1	56.8	72.4	61.3	74.6	52.7	68.2
ZEA 08	66.2	74.8	62.7	72.0	65.8	72.5	61.5	63.9
ZEA 09	64.4	76.2	60.2	76.4	61.3	73.5	59.4	70.6
ZEA 10	75.7	85.1	69.2	75.9	70.7	72.8	71.6	72.6
ZEA 11	65.6	78.1	57.5	71.6	64.6	73.6	56.3	65.2
ZEA 12	67.7	76.6	56.2	67.8	58.0	70.4	57.4	71.6
ZEA 13	74.0	79.1	67.8	77.3	64.8	72.9	54.4	66.8
ZEA 14	70.2	77.8	66.2	71.3	69.6	72.1	68.0	72.5
ZEA 15	69.2	75.	68.3	72.4	65.0	70.4	65.1	72.0

Zona	LRAeq [dBA]							
	Ord. Diurno		Ord. Nocturno		Dom. Diurno		Dom. Nocturno	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
ZEA 16	62.5	78.0	59.3	72.3	54.8	74.1	53.9	72.9
ZEA 17	62.3	74.2	54.3	70.7	53.6	76.0	52.8	71.7
ZEA 18	63.2	73.5	54.1	71.4	62.3	75.5	48.5	71.2
ZEA 19	71.4	78.1	57.1	57.1	62.9	71.0	59.9	66.1

Fuente: Propia (Estudio actual)

A partir de la tabla anterior, es posible notar que en jornada ordinaria diurna, la ZEA10 expone el mayor valor alcanzando 85.1 dB(A); en jornada ordinaria nocturna, la ZEA13 muestra el más alto nivel con 77.3 dB(A); en jornada dominical diurna, la ZEA01 presenta el mayor valor alcanzando 83.5 dB(A); por último, en jornada dominical nocturna, nuevamente la ZEA01 expone el más alto nivel con 79.8 dB(A).

En los informes por comuna, se encuentran en mayor detalle y análisis las fuentes asociadas a los niveles de ruido detectados durante los monitoreos en las zonas de especial atención.

Las siguientes ilustraciones muestran los porcentajes de cumplimiento de cada una de las mediciones realizada en las zonas de especial atención identificadas en la ciudad.

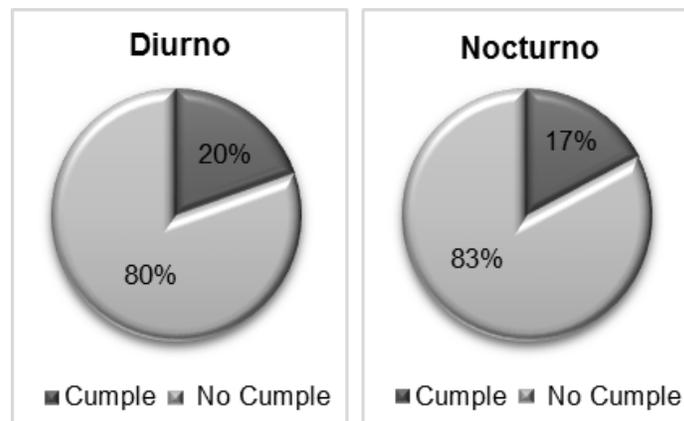


Ilustración 35. Porcentaje de cumplimiento ZEA - Jornada ordinaria

Fuente: Propia (estudio actual)

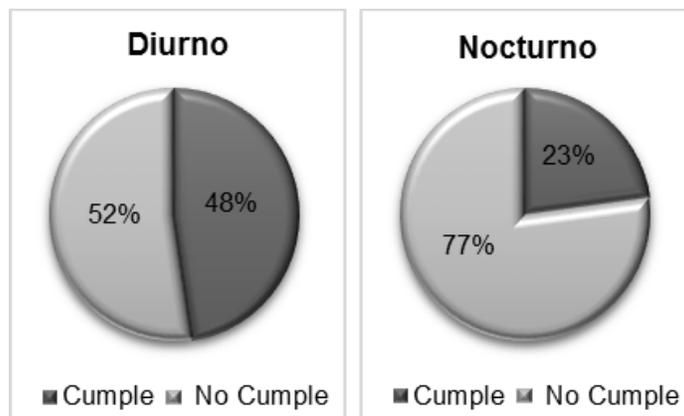


Ilustración 36. Porcentaje de cumplimiento ZEA - Jornada dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

6.2 Zonas de tranquilidad (ZTR)

En la Tabla 8 se presentan los niveles de presión sonora mínimos y máximos registrados para cada una de las ZTR en jornada ordinaria y dominical con horario diurno y nocturno.

Para conocer en detalle las mediciones y resultados obtenidos, remitirse a los respectivos informes de cada comuna.

Tabla 7. Consolidado de RA en zonas de tranquilidad

Zona	LRAeq [dBA]							
	Ord. Diurno		Ord. Nocturno		Dom. Diurno		Dom. Nocturno	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
ZTR 01	61.4	85.0	62.6	84.8	57.8	81.0	60.2	77.5
ZTR 02	64.1	79.2	65.3	71.7	65.0	74.5	66.7	71.3
ZTR 03	67.3	67.4	61.6	62.5	60.9	69.8	63.5	65.5
ZTR 04	67.6	82.3	65.8	69.7	61.4	70.7	63.0	67.3
ZTR 05	60.3	68.2	58.2	61.6	57.7	61.8	59.5	61.8
ZTR 06	51.6	76.1	46.6	67.6	58.5	81.0	52.2	58.1
ZTR 07	48.4	74.3	63.6	64.3	52.8	68.6	61.8	67.1
ZTR 08	*	*	62.9	72.7	69.2	74.2	56.2	67.7
ZTR 09	65.1	68.7	64.6	64.6	65.2	67.4	65.3	65.9

* No fue posible realizar medición alguna debido a presencia de lluvias durante el monitoreo

Fuente: Propia (Estudio actual)

Como se observa en la tabla anterior, en jornada ordinaria diurna, la ZTR1 presenta el mayor nivel detectado con 85.0 dB(A); en jornada ordinaria nocturna, nuevamente la ZTR1 expone el más alto valor llegando a 84.8 dB(A); en jornada dominical diurna, la ZTR06 muestra el mayor nivel registrado con 81 dB(A); finalmente en jornada dominical nocturna, la ZTR01 una vez más presenta el mayor nivel alcanzando 77.5 dB(A).

En los informes por comuna, se encuentran en mayor detalle y análisis las fuentes asociadas a los niveles de ruido detectados durante los monitoreos en las zonas de tranquilidad.

Las siguientes ilustraciones muestran los porcentajes de cumplimiento de cada una de las mediciones realizadas en las zonas de tranquilidad identificadas en la ciudad.

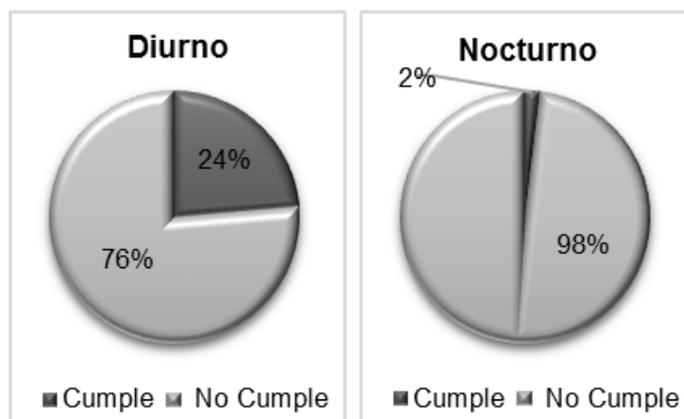


Ilustración 37. Porcentaje de cumplimiento ZTR - Jornada ordinaria

Fuente: Propia (estudio actual)

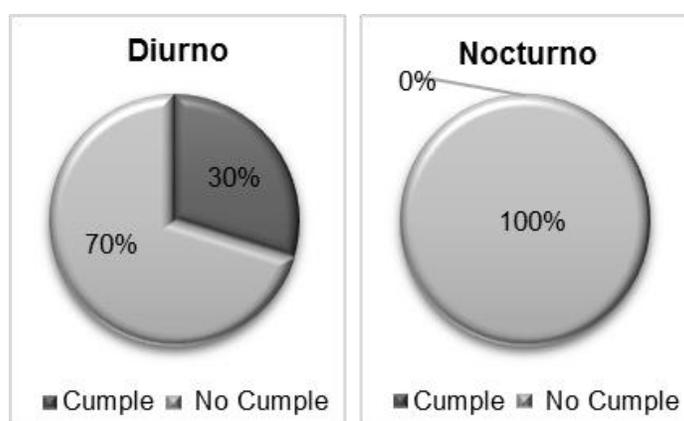


Ilustración 38. Porcentaje de cumplimiento ZTR - Jornada dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

6.3 Puntos ambientales adicionales (PAA)

En la Tabla 8 se presentan los niveles de presión sonora registrados para cada uno de los puntos ambientales adicionales en jornada ordinaria y dominical con horario diurno y nocturno.

Para conocer en detalle las mediciones y resultados obtenidos, remitirse a los respectivos informes de cada comuna.

Tabla 8. Consolidado de RA de los puntos ambientales adicionales

Punto	LRAeq [dBA]			
	Ord. Diurno	Ord. Nocturno	Dom. Diurno	Dom. Nocturno
PAA 01	69.1	60.8	66.5	67.5
PAA 02	61.1	47.1	75.3	46.9

Punto	LRAeq [dBA]			
	Ord. Diurno	Ord. Nocturno	Dom. Diurno	Dom. Nocturno
PAA 03	62.2	62.7	65.0	56.9
PAA 04	72.1	58.5	69.5	70.7
PAA 05	67.3	63.6	77.5	*
PAA 06	75.8	68.5	77.5	*
PAA 07	65.0	64.2	65.9	62.5
PAA 08	77.5	72.5	72.3	70.9
PAA 09	68.6	57.0	67.0	66.3
PAA 10	70.5	70.8	67.9	73.7
PAA 11	69.4	69.1	70.3	68.2
PAA 12	62.2	48.2	60.5	45.5
PAA 13	69.6	66.5	74.1	72.4
PAA 14	68.5	50.6	64.5	63.1
PAA 15	69.7	56.8	78.7	67.8
PAA 16	68.4	71.7	72.9	77.1
PAA 17	70.3	54.9	72.3	67.9
PAA 18	71.3	54.1	74.8	59.2
PAA 19	60.1	65.6	65.0	46.3
PAA 20	64.5	57.0	55.7	48.3
PAA 21	75.7	53.1	63.3	49.0
PAA 22	60.2	62.4	57.9	45.8
PAA 23	65.7	54.4	57.4	46.6

* No fue posible realizar medición alguna debido a presencia de lluvias durante el monitoreo

Fuente: Propia (Estudio actual)

De acuerdo a la tabla anterior, en jornada ordinaria diurna y nocturna, el PAA08 presenta los mayores niveles detectados con 77.5 dB(A) y 72.5 dB(A) respectivamente; en jornada dominical diurna, el PAA15 expone el más alto valor llegando a 78.7 dB(A); por último, en jornada dominical nocturna, el PAA16 presenta el mayor nivel alcanzando 77.1 dB(A).

En los informes por comuna, se encuentran en mayor detalle y análisis las fuentes asociadas a los niveles de ruido detectados durante los monitoreos en los puntos ambientales adicionales.

Las siguientes ilustraciones muestran los porcentajes de cumplimiento de cada una de las mediciones realizadas en los puntos ambientales adicionales establecidos en la ciudad.

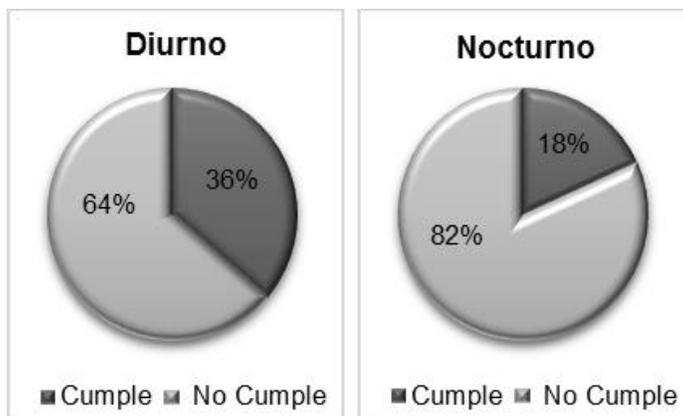


Ilustración 39. Porcentaje de cumplimiento PAA - Jornada ordinaria

Fuente: Propia (estudio actual)

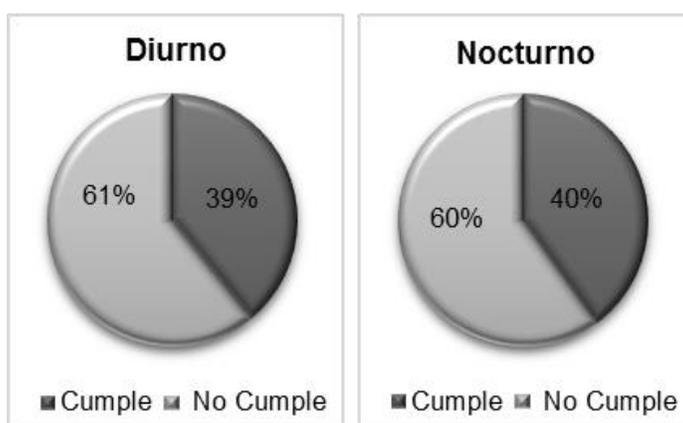


Ilustración 40. Porcentaje de cumplimiento PAA - Jornada dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

6.4 Puntos ambientales – Estaciones fijas

A continuación, en la Tabla 9 se exponen los resultados obtenidos del muestreo temporal en las estaciones fijas.

Tabla 9. Consolidado de RA en las estaciones fijas

Punto	LRAeq [dBA]			
	Ord. Diurno	Ord. Nocturno	Dom. Diurno	Dom. Nocturno
ZEA01EF01	---	---	61.4	58.1
ZEA02EF01	67.4	62.0	64.7	58.6
ZEA07EF01	63.2	59.2	---	---
ZEA08EF01	72.3	68.9	---	---
ZEA10EF01	72.3	75.7	---	---
ZEA12EF01	61.1	59.5	---	---
ZEA13EF01	62.1	55.7	64.5	54.1

Punto	LRAeq [dBA]			
	Ord. Diurno	Ord. Nocturno	Dom. Diurno	Dom. Nocturno
ZEA14EF01	68.4	64.8	65.6	68.2
ZEA15EF01	51.0	57.8	---	---

Fuente: Propia (Estudio actual)

De acuerdo a la tabla anterior, en jornada ordinaria diurna y nocturna, la estación ZEA10EF01 presenta los mayores niveles detectados con 72.3 dB(A) y 75.7 dB(A) respectivamente. En jornada dominical diurna y nocturna, la estación ZEA14EF01 expone los más altos valores llegando a 65.6 dB(A) y 68.2 dB(A) respectivamente.

En los informes por comuna, se encuentran en mayor detalle y análisis las fuentes asociadas a los niveles de ruido detectados durante los monitoreos en las estaciones fijas.

Las siguientes ilustraciones muestran los porcentajes de cumplimiento de cada una de las mediciones realizadas en las estaciones fijas establecidas en la ciudad.

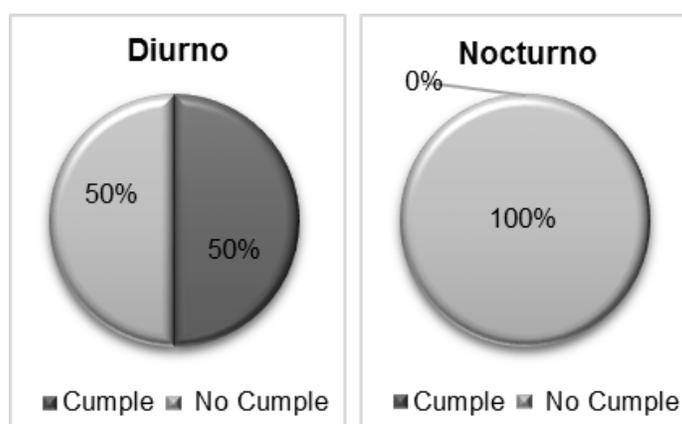


Ilustración 41. Porcentaje de cumplimiento en estaciones fijas - Jornada ordinaria

Fuente: Propia (estudio actual)

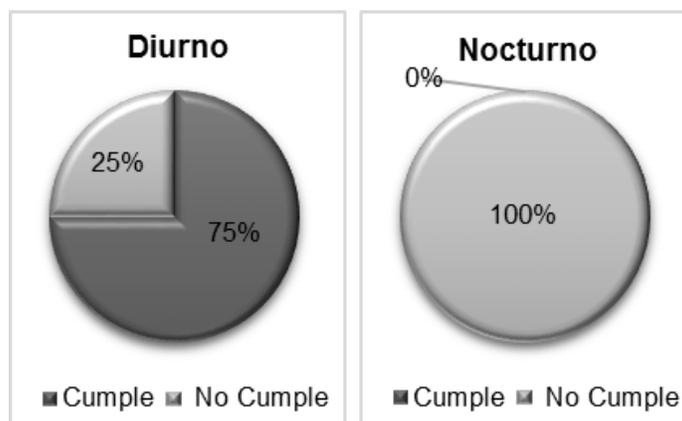


Ilustración 42. Porcentaje de cumplimiento en estaciones fijas - Jornada dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

6.5 Cumplimiento Resolución 627 de 2006, total en la ciudad Santiago de Cali

Finalmente, al analizar todos los resultados obtenidos en las zonas de especial atención, zonas de tranquilidad y puntos ambientales adicionales en toda la ciudad, respecto al cumplimiento o incumplimiento de la Resolución 627 de 2006, se puede observar que en la jornada ordinaria el 77% de los puntos ambientales en horario diurno y el 87% de los puntos ambientales en horario nocturno, exceden los niveles establecidos en la normativa vigente. En jornada dominical horario el 59% de los puntos exceden los límites permisibles, mientras que en horario nocturno el 82% de los puntos se encuentran superando los niveles establecidos en la resolución.

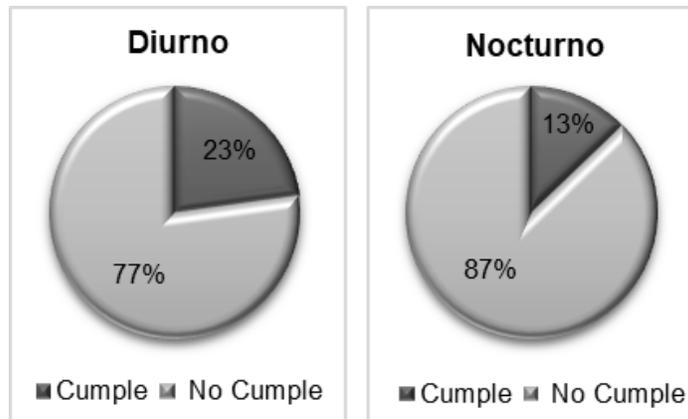


Ilustración 43. Porcentaje de cumplimiento en la ciudad de Santiago de Cali - Jornada ordinaria

Fuente: Propia (estudio actual)

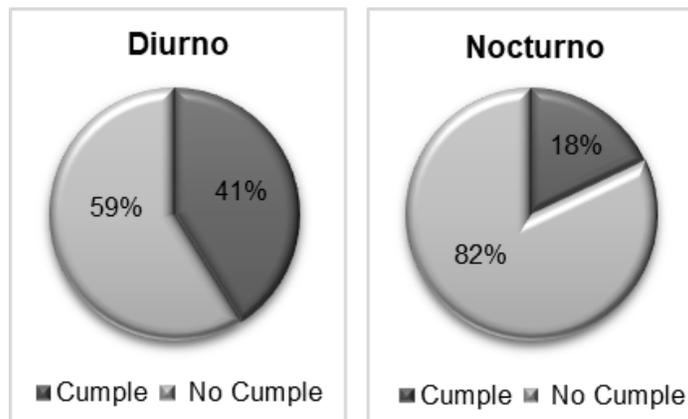


Ilustración 44. Porcentaje de cumplimiento en la ciudad de Santiago de Cali - Jornada dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

Al realizar la comparación entre los resultados entre día ordinario y dominical es evidente que la jornada dominical diurna es la más favorable en la ciudad, debido a que presenta un menor porcentaje de incumplimiento respecto a la normativa; esto es atribuible a la disminución de fuentes de emisión presentes (tráfico rodado, menor actividad comercial e industrial, etc.). En horario nocturno los porcentajes de incumplimiento aumentan en ambas jornadas y esto es debido al umbral establecido en la Resolución 627 que mantiene un nivel más restrictivo en dicho horario.

NOTA: los porcentajes de cálculo de incumplimiento se realizan con los valores corregidos de las mediciones obtenidas en campo y tienen en cuenta los sobrepasos de los niveles expresados en la Resolución 627 por más de 0.1 dB(A). Estos sobrepasos son expresados independiente de la incertidumbre de medición por principio de precaución, teniendo en cuenta que la incertidumbre es inferior a 2.3 dB(A).

6.6 Incertidumbre de las mediciones

En los informes distribuidos por comuna, es posible encontrar la explicación y resultados de las incertidumbres obtenidas durante las mediciones de ruido ambiental.

7 Modelación

7.1 Enfoque

La generación del mapa estratégico de ruido como resultado de la predicción de la propagación del ruido, se realiza con el fin de identificar los aportes de los diferentes tipos de fuentes relevantes que se identificaron. Con este mapa estratégico de ruido se podrán identificar los aportes de cada uno de estos tipos de fuentes identificadas, lo cual permitirá realizar una gestión del ruido más efectiva que permita controlar los niveles de ruido donde se determine exposiciones altas.

7.1.1 Estándares utilizados

El software utilizado para realizar la predicción de propagación de ruido fue SoundPLAN versión 2018 (32 - 64 Bit).

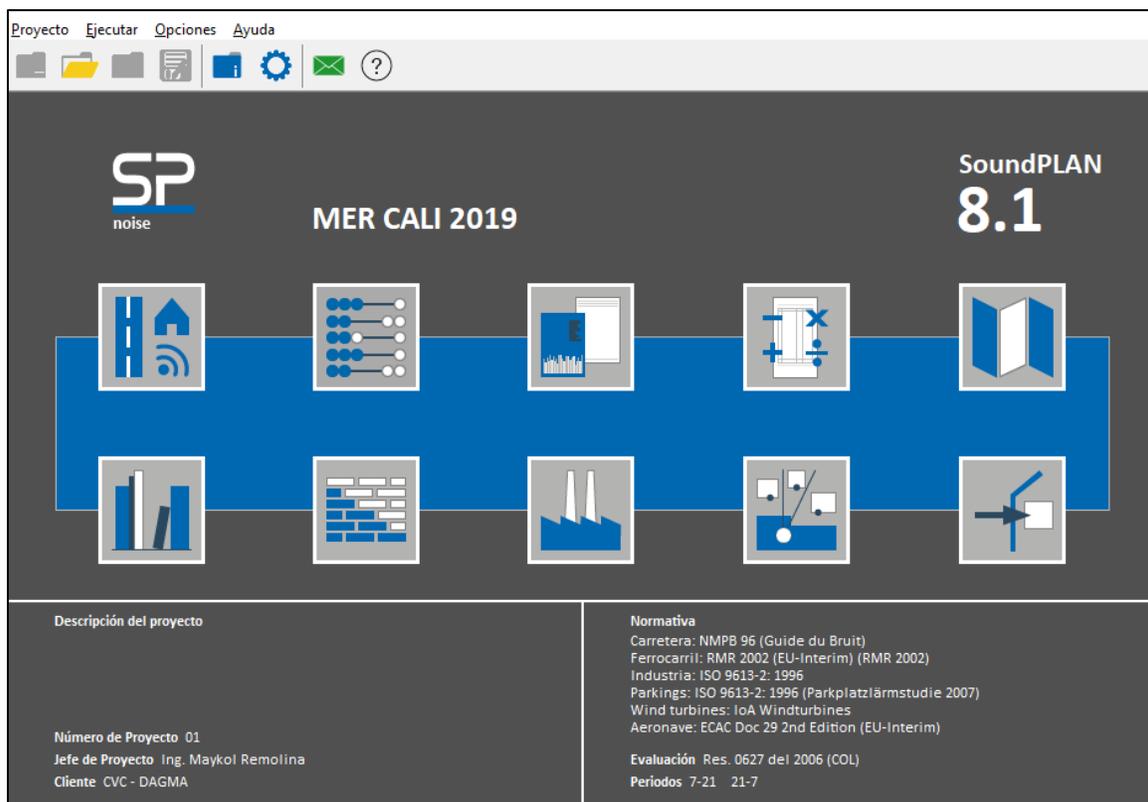


Ilustración 45. Licencia de SoundPLAN K2 Ingeniería S.A.S

Fuente: Licencia K2 Ingeniería. SoundPLAN GmbH, 2018

- **Parámetros acústicos**

Se estableció la configuración en el software de modelación ingresando los parámetros necesarios para ejecutar el modelo de ruido. Como se muestra en la siguiente ilustración para este estudio el único estándar usado fue el ISO 9613-2:1996, la selección de este, se fundamenta en que corresponde a uno de los estándares más conservadores, disminuyendo la probabilidad de subdimensionar los aportes por tráfico rodado, esto fue verificado en la validación del modelo.

- **Configuración general**

Se estableció una tolerancia de 0.1 dB, al tiempo que para la salida del modelo se configuró una modelación con una malla de 5x5.

- **Períodos de referencia**

Conforme lo establece la Resolución 627 de 2006, para la definición de los períodos de referencia en la modelación, se consideró desde la hora 7 hasta la hora 21 para las horas del día, y desde la hora 21 hasta la hora 7 para la noche.

- **Índices de cálculo**

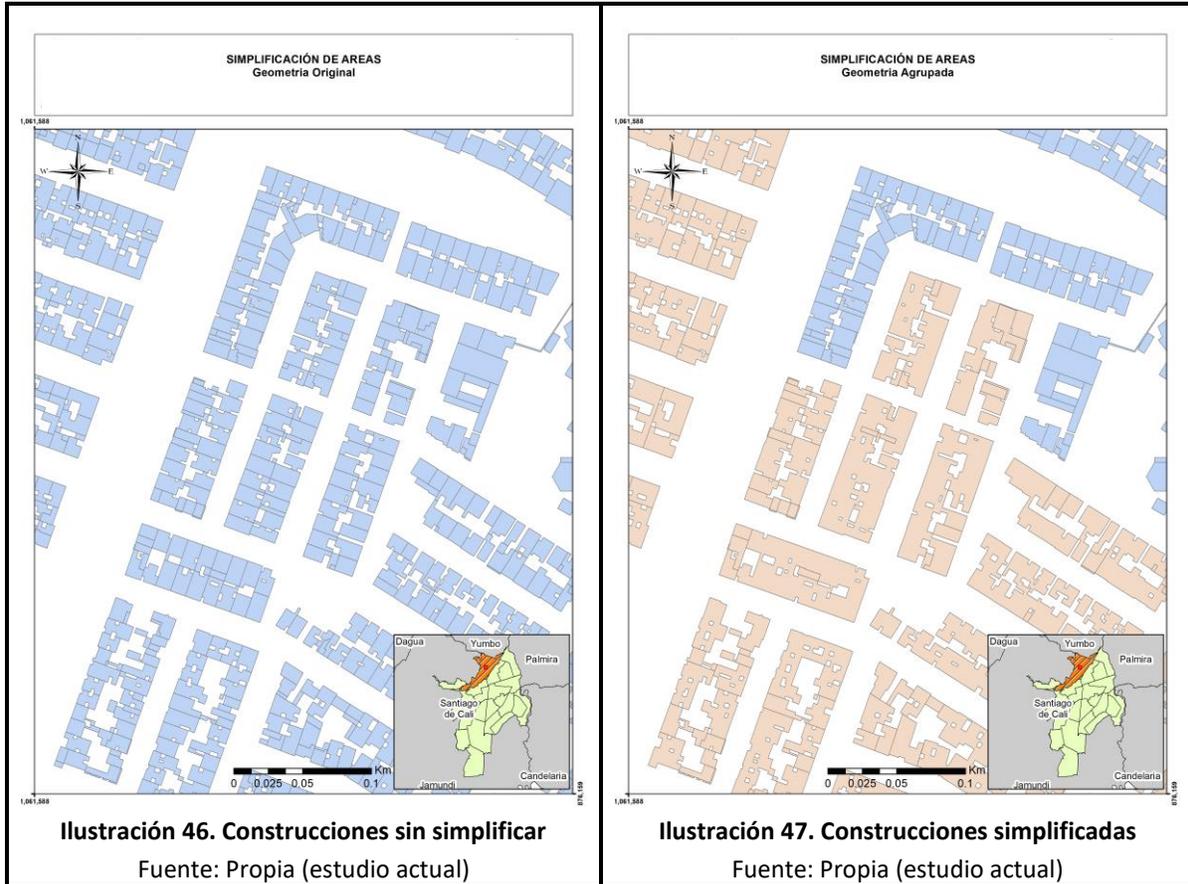
Los índices de cálculo usados fueron indicadores de niveles sonoros medios a lo largo del día, adecuados para la planificación y para la aplicación de un planteamiento integrado a zonas residenciales, ciudades y aglomeraciones, pero no apropiados para situaciones a corto plazo asociados a quejas y denuncias concretas.

Estos parámetros fueron LD, LN y LDN, referidos a los períodos definidos como día y noche respectivamente. LD por su parte, es un indicador de ruido asociado al día, donde al día le corresponden 14 horas, el período se extiende desde las 7 hasta las 21 horas. Por otra parte, LN es un indicador del nivel sonoro para el periodo de la noche, donde a la noche le corresponden 10 horas, este período se extiende desde las 21 hasta las 7 horas. Finalmente, LDN es un indicador de ruido asociado al nivel día y nivel noche tomando como base un periodo extendido de 24 horas.

7.1.2 Idealización del modelo geométrico

La idealización del modelo geométrico que se utiliza para realizar las predicciones de propagación de niveles de presión sonora comprendió los siguientes objetos: modelo digital de elevación, edificaciones, base cartográfica básica y la adquisición de información catastral (localización de bienes inmuebles), realizado directamente con la información oficial contenida en IDESC (Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali). La capa de construcciones fue trabajada mediante fotografías satelitales, la herramienta Street View de Google y un trabajo de confirmación y ajuste en campo.

Con el objetivo de disminuir los tiempos de cálculo fue necesario simplificar las geometrías de las construcciones. Este proceso se realizó por medio de análisis espaciales con herramientas de Sistemas de Información Geográficos (SIG).



7.1.3 Idealización de las fuentes de potencia sonora

Tráfico rodado

Los niveles de ruido generados por el tráfico rodado se determinaron con base en la información de los aforos realizados y se determinó para el resto de la malla vial el flujo vehicular. Al modelo se ingresaron por cada aforo redistribuido, los perfiles horarios (flujo promedio por cada hora del día) respectivos. Los perfiles se generaron con base en aforos vehiculares obtenidos de 3 formas: a) perfiles construidos en base a la información obtenida del IDESC para las vías primarias y secundarias, b) perfiles obtenidos de conteos realizados con cámaras de video que grabaron durante 24 horas el flujo, c) extrapolando los aforos de 15 minutos que se realizaron durante los momentos de medición de ruido ambiental y ruido de emisión en los puntos seleccionados.

El ancho de la vía se configuro teniendo en cuenta la clasificación de las vías de la malla vial. El tipo de material de la vía, las velocidades para cada aforo vehicular fueron tomadas según las recomendaciones y estudios previos realizados mediante el convenio de asociación CVC 130 con la Universidad Javeriana del año 2017 [8]. El estándar utilizado para vías es el NMPB 96 (software SoundPLAN).

7.2 Emisión de ruido de las zonas de especial atención (ZEA)

Para la medición de ruido específico de las emisiones del ruido generado en las zonas es especial atención se tomaron como referencia la medición de acuerdo a lo especificado en la ISO 1996-2:2016. Las idealizaciones de las fuentes en el modelo por motivo de simplicidad se realizaron como

fuentes superficiales o de área vertical sobre la fachada de la respectiva locación de donde se genera la emisión de ruido.

Como niveles de potencia sonora (PWL, por su sigla de inglés) para cada uno de estos tipos de fuentes se utilizan los niveles de ruido medidos in situ con fuente encendida y fuente apagada o su respectivo percentil L90 de fuente encendida; posteriormente, se aplica una resta energética por bandas de tercio de octava con la finalidad de determinar el nivel de emisión de ruido perteneciente a cada fuente. Al modelo se ingresaron los niveles como espectro de frecuencia en tercios de octavas (dBZ). Se determinaron los promedios por bandas de tercios de octava para cada tipo de fuente, donde el campo "Espectro de emisión" está representado por la siguiente expresión: D_#TF_Q#FD, donde #TF representa el número correspondiente al tipo de fuente clasificado y #FD representa el número correspondiente al factor de directividad (valores de 1 o 2). Finalmente, el espectro está expresado en ponderación A (dBA).

7.3 Mallas de cálculo

La malla de cálculo fue configurada a 4 metros de altura sobre el nivel del terreno de la ciudad, adicional se incluyeron las edificaciones con sus respectivas alturas. El espaciado de malla fue igual a 5 metros en el eje "x", como en el eje "y".

7.4 Configuraciones de cálculo generales

Los parámetros generales considerados en el modelado fueron los siguientes:

- **Estándar industrial:** ISO 9613 (International Organization for Standardization: ISO, 1996).
- **Tolerancia:** 0.1 dB
- **Radio máximo de búsqueda:** 1000 metros.
- **Orden de reflexión:** Escogido de orden 1 en base a lograr un equilibrio entre el detalle de los resultados y tiempo de procesamiento del modelo.
- **Meteorología:** Humedad relativa % = 66.3, temperatura en grados centígrados $T = 25.9^{\circ}\text{C}$, dirección del viento en grados predominante del Suroeste y presión atmosférica $mbar = 899$.
- **Interpolación de malla:** 5x5
- **Espaciado de malla:** 5 metros.
- **Máxima longitud de sección:** 2000 metros
- **Tiempo de referencia:** Diurno y nocturno acorde a lo establecido en la Res. 627. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 7 de Abril de 2006)
- **Parámetros evaluados:** $LA_{eq,D}$, $LA_{eq,N}$ y LDN , nivel jornada diurna, nivel jornada nocturna y nivel de 24 horas respectivamente.
- **Atenuación en las edificaciones:** ISO 9613-2
- **Atenuación en el área industrial:** ISO 9613-2

7.5 Datos de entrada al modelo

7.5.1 Dominio de estudio

El dominio de estudio principal corresponde al límite del casco urbano basado en el área propuesta por el POT del municipio, y para el modelo este límite se incrementó para obtener información necesaria para conocer el comportamiento del modelo en las zonas periféricas de la ciudad de Cali.

7.5.2 Modelo digital de elevación

En el modelo de propagación objeto de estudio, se tuvo en cuenta el relieve de la zona que comprende la ciudad de Santiago de Cali, elevaciones tanto para los receptores como para todas las fuentes simuladas, generando de esta manera las condiciones topográficas en el dominio de interés.

El modelo digital de elevación fue construido a partir de información topográfica obtenida de parte de la autoridad ambiental del municipio de Santiago de Cali y cuenta con una capacidad de detalle entre 1 a 10 metros.

En la siguiente ilustración se observa la topografía utilizada en el escenario de estudio para realizar el cálculo de propagación de ruido. El sistema de referencia geográfico utilizado corresponde a MAGNA-SIRGAS Cali_Valle_del_Cauca_2009.



Ilustración 48. Modelo digital del terreno del modelo de cálculo

Fuente. Propia (estudio actual)

7.5.3 Fuentes

- Tráfico rodado

Para el cálculo de las emisiones de ruido de tráfico rodado, la malla vial fue clasificada en cuatro tipos de vías con su respectivo número de tramos viales (ver Tabla 10) para la distribución del IMD (Índice medio diario) como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10. Clasificación vial de la ciudad de Santiago de Cali

Nombre vía	Número de tramos viales
Principal	3464
Secundaria	3476
Colectora	3101
Local	23827

Fuente: Propia (estudio actual)

Los cálculos de perfiles de vehículos por tipo vía se realizaron en base a información existente en el IDESC, conteos realizados con cámaras instaladas por 24 horas en distintos puntos de la ciudad y conteos realizados durante las mediciones de ruido ambiental y ruido emisión. A continuación, se muestra un ejemplo de perfil vehicular incluido en el modelo.

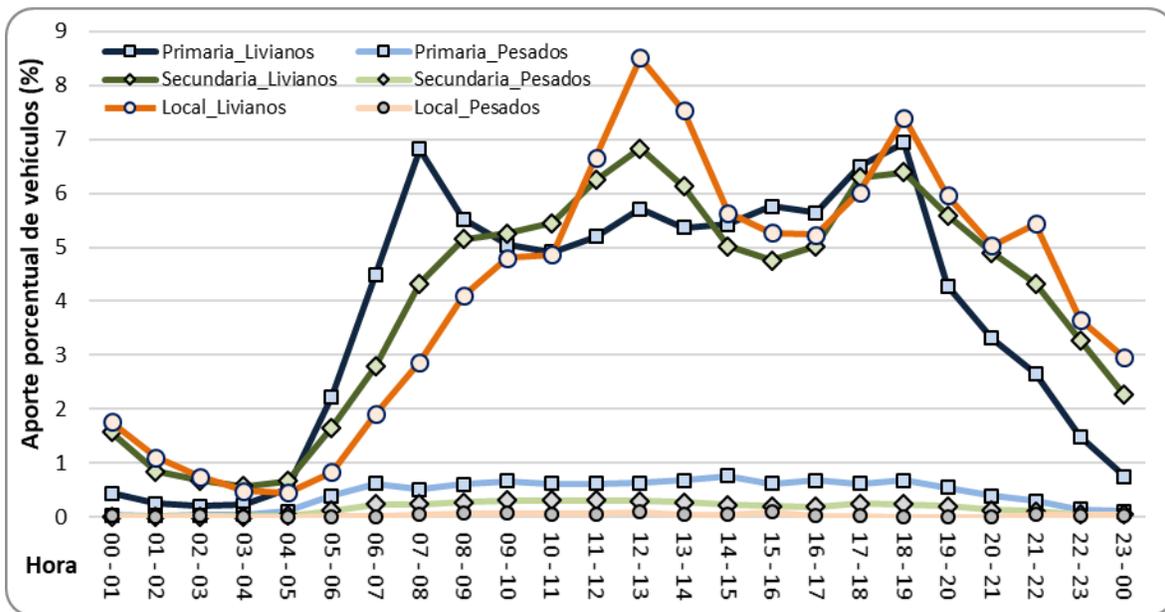


Ilustración 49. Flujo vehicular por hora en jornada ordinaria para las vías de la ciudad de Santiago de Cali

Fuente: Propia (estudio actual)

En el anexo digital 4 conteos vehiculares, se pueden encontrar la información detallada de los conteos vehiculares.

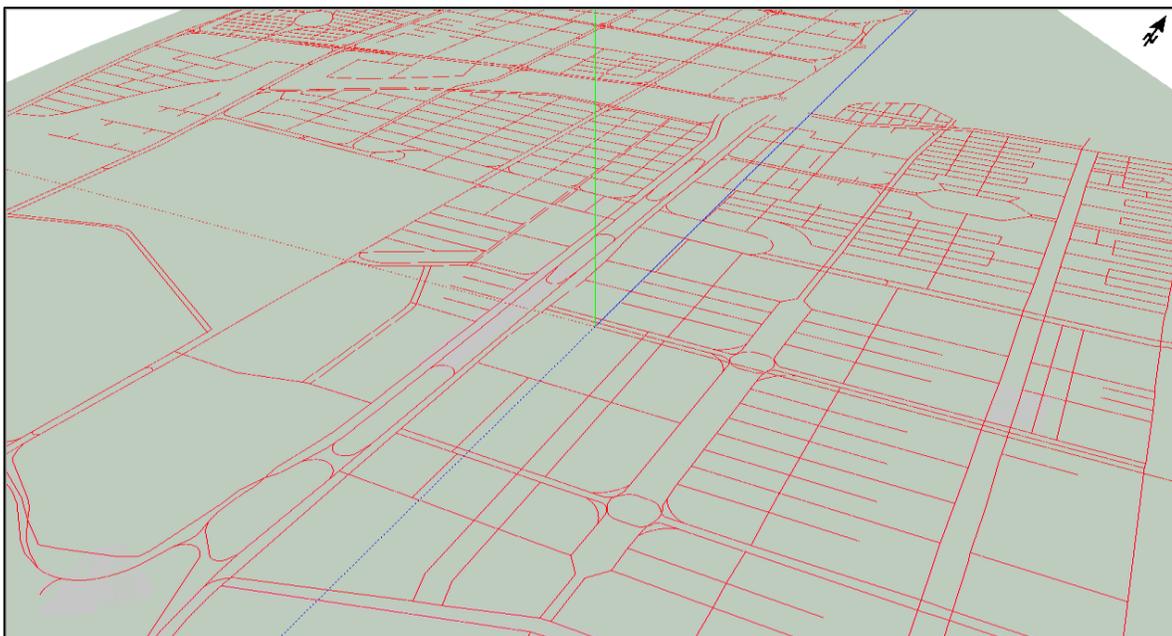


Ilustración 50. Malla vial ingresada al modelo

Fuente: Propia (estudio actual)

- Obstáculos

Se presenta una sección de las edificaciones ingresadas al modelo.



Ilustración 51. Sección con edificaciones dentro del modelo del cálculo

Fuente: Propia (estudio actual)

- Fuentes fijas

Las fuentes fijas corresponden a las fuentes inventariadas y clasificadas por código como resultado del inventario realizado en campo, estos datos de emisión de ruido conforman las zonas de especial atención – ZEA.

7.5.4 Niveles de potencia acústica

Como respuesta al enfoque de MER para la ciudad de Santiago de Cali, se han idealizado los niveles de potencia acústica de emisión, clasificados por cada tipo de fuente, y a partir de ellos se introdujo en el modelo la contribución de fuentes fijas diferentes al tráfico vehicular.

Estos niveles de potencia acústica fueron obtenidos bajo mediciones de presión acústica tomadas a 1.2 m de altura sobre el nivel del suelo y a una distancia de 1.5 m de la fachada.

La potencia fue calculada bajo la metodología explicada en el apartado 5.5, y los espectros resultantes fueron introducidos al software de cálculo.

Durante la modelación de fuentes de área en fachadas, se tomó un valor para el factor de directividad $Q = 2$ y para fuentes puntuales se tomó un valor de factor de directividad $Q = 1$. Los espectros idealizados de las fuentes se pueden consultar en los respectivos informes por comuna.

A continuación, se presenta la clasificación de las fuentes identificadas; en el anexo digital inventario fuentes de ruido para cada una de las comunas que contienen ZEA, se presentan las distintas fuentes con su clasificación, coordenadas e información adicional.

Tabla 11. Inventario de fuentes

Categoría de Fuente	Impacto	Tipo de Fuente	Código
Vial	Bajo	Actividad de personas (Hablando, gritando, etc.)	1
	Alto	Aeronaves, trenes u otros medios	2
	Alto	Bocinas, sirenas, alarmas	3
	Medio	"Chatarras andantes"	4
	Medio	Resonadores, amplificador en vehículos.	5
	Bajo	Tráfico vehicular Liviano	6
	Alto	Tráfico vehicular Mixto	7
	Alto	Tráfico vehicular Pesado	8
	Alto	Trancones	9
Comercial	Alto	Amplificación sonido/Música (Fija)	10
	Alto	Centro Comercial	11
	Alto	Discotecas/Bares/Tabernas	12
	Medio	Evento masivo (Protesta, caravana, desfile)	13
	Alto	Iglesias o Salas de Culto	14
	Alto	Lavaderos	15
	Alto	Perifoneo/ altoparlante (Móvil)	16
	Bajo	Supermercados (Tiene Parking)	17
	Bajo	Tiendas	18
	Bajo	Venta ambulante sin amplificación	19
Industrial y de Servicios	Bajo	C. educativo (Colegio, Universidad)	20
	Medio	Coliseos, Estadio (en uso) Concierto, Partido	21
	Bajo	Complejos deportivos o recreación	22
	Alto	Estaciones de servicio	23
	Alto	Fábrica, Industria	24
	Bajo	Hospitales	25
	Alto	Motobombas	26

Categoría de Fuente	Impacto	Tipo de Fuente	Código
	Alto	Obras, Planta de producción	27
	Bajo	Parqueaderos	28
	Bajo	Parques urbanos	29
	Alto	Plantas eléctricas	30
	Medio	Talleres, carpinterías, etc.	31
Otros	Bajo	Animales silvestres	32
	Bajo	Otros	33

Fuente: Propia (Estudio actual)

Además de las fuentes fijas presentadas, otras fuentes hicieron parte del registro que entregaron los técnicos de campo (ver anexo digital formatos y datas de campo de cada comuna). Esa información no hace parte del presente reporte, sin embargo, su utilidad radicó en tener para cada zona un panorama general de la dinámica de las actividades de tráfico y otras que eventualmente, ayudaron a soportar los análisis realizados.

7.6 Estructura MAG

La carpeta final relacionada a esta comuna contiene:

GDB_PROYECTO: Se reúne la información referente a los archivos tipo shape que se incluyen en cada mapa de ruido, los cuales corresponden a la cartografía base, componente urbano de la comuna y shapes generados del proyecto.

GDB_IDESC: Se incluye la información de la cartografía base suministrada como insumo del proyecto por parte del DAGMA, a partir de esto se digitalizó el componente urbano de la comuna, el cual incluye construcciones, manzanas, perímetro urbano y malla vial.

RASTER: Es el producto en formato .TIF generado a partir de la modelación de ruido, los datos representan fenómenos de propagación de ruido en la zona evaluada.

7.6.1 Diccionario de datos: catálogo de objetos

El catálogo de objetos y representaciones de acuerdo a la estructura propuesta la cual se ajusta a los parámetros de la CVC. La información se documenta en archivos Excel en formato *.XLSX, e incluye los datos de cada elemento (LAYER) contenido en los mapas temáticos, junto con las propiedades y características de la tabla de atributos.

7.6.2 Catálogo de objetos

En el catálogo de objetos se realiza una descripción de cada objeto contenido en cada uno de los mapas temáticos. Se realiza una descripción del objeto y de sus atributos.

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

Tabla 4. Objeto Isofona ruido Total periodo Ordinario Diurno								
Nombre	Laeq_OD_T			Código	010101			
Definición	El objeto describe los niveles de ruido generados por las diferentes fuentes en el municipio de Tuluá, conforme a lo dispuesto en la resolución 0627 de 2006 y los estándares para modelación ISO 9613.							
Alias	Isofona Ruido Total periodo Ordinario Diurno							
Subtipo	Laeq_OD_T							
Geometría	Poligono							
Responsable	Nombre de la entidad	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca			Ciudad	Valle del Cauca		
	Cargo	0			Departamento	Valle del Cauca		
	Tipo de responsable	Creador			País	Colombia		
	Dirección	0			Teléfono	0		
Atributos								
Nombre	Alias	Definición	Código	Unidad de Medida	Tipo de valor	Tamaño	Obligatoriedad	Dominio
OBJECTID_1	ID	Número único identificador del poligono, generado como un consecutivo de no más de seis caracteres.	01010101	N/A	OBJECTID		SI	
DB_LO	LIMITE INFERIOR	Corresponde al límite inferior de los niveles de presión sonora determinados a partir de la modelación	01010102	dB (A)	FLOAT		SI	
DB_HI	LIMITE SUPERIOR	Corresponde al límite superior de los niveles de presión sonora determinados a partir de la modelación	01010103	dB (A)	FLOAT		SI	
RULEID	SIMBOLOGIA	Cada uno de los niveles de representación determinados en la modelación	01010104	N/A	LONGINTEGER		SI	
VERRIDE	EXCEPCIONES	Excepciones de geometrias	01010105	N/A	BLOB		SI	
FECH_CREA	FECHA CREACION	Fecha de creación del nivel geográfico, dada en (DD/MM/AAAA)	01010106	N/A	DATE		SI	
FECH_ACTU	FECHA ACTUALIZACION	Fecha de actualización del nivel geográfico, dada en (DD/MM/AAAA)	01010107	N/A	DATE		SI	
SHAPE_AREA	AREA	Corresponde al área que representa cada nivel de presión sonora	01010108	m2	DOUBLE		SI	
SHAPE_LENGTH	PERIMETRO	Corresponde al perimetro que representa cada nivel de presión sonora	01010109	m	DOUBLE		SI	
Relaciones entre objetos								
Nombre	UENICIO	Código	Nombre de rol	Tipo	Ordenado	Relación	Cardinalidad	
Operaciones								
Nombre			Definición			Firma		
Dominios								
Atributo	Etiqueta	Código	Definición					
RuleID	TotalDiurnoOrd_Rep_Rules	1	<35					
		2	35.1 a 40					
		3	40.1 a 45					
		4	45.1 a 50					
		5	50.1 a 55					
		6	55.1 a 60					
		7	60.1 a 65					
		8	65.1 a 70					
		9	70.1 a 75					
		10	75.1 a 80					
		11	80 >					
		-1	Free representation					

Ilustración 52. Catálogo de objetos

Fuente: Propia (estudio actual)

7.6.3 Catálogo de representación

En el catálogo de representación se definen las funciones y simbologías de los objetos.

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

CONJUNTO DE FUNCIONES	Código	CF020500			Ciudad	
	Título	Niveles de Ruido			Departamento	
	Responsable				País	
	Nombre de la organización				Teléfono	
	Cargo				Fecha	
	Tipo de responsable				Tipo de fecha	
	Dirección				Resumen	
	Código de la función	Título	Fecha	Tipo de fecha	Especificación	
	CF020500 -01	dB (A) < 35	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango de 35 dB (A), ENTONCES el símbolo es CF020500 - 01	
	CF020500 -02	dB (A) > 35.1 < 40	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 35.1 dB (A) y menor a 40 dB (A), ENTONCES el	
CF020500 -03	dB (A) > 40.1 < 45	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 40.1 dB (A) y menor a 45 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -04	dB (A) > 45.1 < 50	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 45.1 dB (A) y menor a 50 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -05	dB (A) > 50.1 < 55	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 50.1 dB (A) y menor a 55 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -06	dB (A) > 55.1 < 60	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 55.1 dB (A) y menor a 60 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -07	dB (A) > 60.1 < 65	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 60.1 dB (A) y menor a 65 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -08	dB (A) > 65.1 < 70	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 65.1 dB (A) y menor a 70 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -09	dB (A) > 70.1 < 75	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 70.1 dB (A) y menor a 75 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -10	dB (A) > 75.1 < 80	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 75 dB (A) y menor a 80.1 dB (A), ENTONCES el		
CF020500 -11	dB (A) > 80.1	20171027	Creación	Si el ruido se presenta en un rango mayor de 80.1 dB (A) ENTONCES el símbolo es CF020500-		
Código del conjunto de símbolos	CF020500			Fecha	2011027	
Título	Niveles de Ruido			Tipo de fecha	Creación	
Código del símbolo	Título	Geometría	Muestra Gráfica	Propiedad	Valor	
CF020500 -01	dB (A) < 35	Polígono		Color del relleno	198,224,180 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -02	dB (A) > 35.1 < 40	Polígono		Color del relleno	86,142,20 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -03	dB (A) > 40.1 < 45	Polígono		Color del relleno	0,102,51 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -04	dB (A) > 45.1 < 50	Polígono		Color del relleno	255,255,0 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -05	dB (A) > 50.1 < 55	Polígono		Color del relleno	255,204,0 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -06	dB (A) > 55.1 < 60	Polígono		Color del relleno	255,138,0 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -07	dB (A) > 60.1 < 65	Polígono		Color del relleno	227,66,52 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -08	dB (A) > 65.1 < 70	Polígono		Color del relleno	204,51,0 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -09	dB (A) > 70.1 < 75	Polígono		Color del relleno	222,76,138 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -10	dB (A) > 75.1 < 80	Polígono		Color del relleno	0,0,255 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	
CF020500 -11	dB (A) > 80.1	Polígono		Color del relleno	0,0,128 RGB	
				Color de línea externa	110,110,110 RGB	
				Grosor de la línea	0,4 milímetros	

Ilustración 53. Catálogo de representación

Fuente: Propia (estudio actual)

7.6.4 Mapa base

Contiene los mapas temáticos elaborados en el software ArcGIS, la escala depende del tamaño de la comuna en estudio y el sistema de coordenadas es MAGNA_Cali_Valle_del_Cauca_2009.

Salidas cartográficas: Allí se adjunta el producto final e incluye los mapas estratégicos de ruido de las comunas y ciudad en formato JPG y PDF; adicionalmente la carpeta se clasifica en salidas gráficas generales y detalladas.

7.6.5 Estructura metadatos

Los metadatos se presentan en formato Excel y ArcMap, cumpliendo con la norma NTC 4611

PLANTILLA INSTITUCIONAL DE METADATOS PARA APLICACIÓN AL MODELO DE DATOS DE LA GEODATABASE				
NUMERACIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO	
1	IDENTIFICACIÓN	Información básica requerida para identificar inequívocamente el producto.		
1.1	Identificación del Dato			
1.1.1	Citación	Imágenes de Radar Ortorectificado - ORI en banda X de la Cuenca Amame	Texto libre	
1.1.1.1	Título	Imágenes de Radar Ortorectificado - ORI en banda X de la Cuenca Amame	Texto libre	
1.1.1.2	Fecha	01/2019	Fecha	
1.1.2	Resumen	Imagen de Radar Ortorectificado (ORI) obtenida por la amplitud en la faja de frecuencia de las micro-ondas conocida como Banda X cuya frecuencia central varía de 9,35GHz a 9,75GHz y longitud de onda entre 3,25 a 2,5 cm.	Texto libre	
1.1.3	Punto de contacto	Grupo Sistemas de Información Ambiental - CVC	Sección 11 correo	
1.1.8	Muestra gráfica	Insertar Imagen ORI		
1.1.4	Tipo de representación espacial	Grilla	8.8	
1.1.5	Nivel de detalle	1/10.000		
1.1.5.1	Escala	1:10.000		
1.1.5.1.1	Denominador	10.000	Entero >0	
1.1.5.1.2	Redondeo	1	Entero >0	
1.1.5.2	Arrodo	Completar	8.1	
1.1.6	Alfabeto	Catolico	8.2	
1.1.7	Conjunto de caracteres	utf8	8.9	
1.1.7	Información de Mantenimiento	N/A		
1.1.7.1	Mantenimiento y ocurrencia de actualizaciones	Los datos se actualizan según las necesidades o requerimientos.	8.3	
1.1.7.2	Nota de mantenimiento	Sección 11 correo	8.4	
1.1.8	Categoría temática	Sensores remotos / mapas base / cobertura terrestre	8.10	
1.1.9	Cubrimiento	La información geográfica de la imagen de radar ortorectificada sobre la cuenca Amame		
1.1.9.1	Descripción	El cubrimiento espacial comprende total o parcialmente los municipios de Palmira y El Centro	Texto libre	
1.1.9.1.1	Cubrimiento Geográfico	El cubrimiento geográfico de la imagen de radar corresponde a la comuna hidrográfica de la Cuenca Amame	Texto libre	
1.1.9.1.2	Cobordadas geográficas límites	parte del departamento del Valle del Cauca (ver E, xxx 03 y xxx 04, xxx 5)	Texto libre	
1.1.9.1.1.1	Oeste	xxx	Texto libre	
1.1.9.1.1.2	Este	xxx	Texto libre	
1.1.9.1.1.3	Sur	xxx	Texto libre	
1.1.9.1.1.4	Norte	xxx	Texto libre	
1.1.9.1.2	Descripción Geográfica	Cuenca Amame departamento del Valle del Cauca	Texto libre	
1.1.9.1.2.1	Identificador Geográfico	Código IDEAM	Texto libre	
1.1.9.1.2.1.1	Código	2012000000	Texto libre	
1.1.9.2	Cubrimiento Temporal	Creación: 01/2019. Publicación: AAMM19	Texto libre	
1.1.9.2.1	Extensión temporal	N/A		
1.1.9.3	Cubrimiento Vertical	xxx metros	Real	
1.1.9.3.1	Valor Mínimo	xxx metros	Real	
1.1.9.3.2	Valor Máximo	xxx metros	Real	
1.1.9.3.3	Datum vertical	Buenaventura	ISO 19111 SC_CRS	
1.1.9	Descripciones	Imágenes de Radar, Sensores remotos, ORI, Radar Aerotransportado, Valle del Cauca, Amame		
1.1.9.2	Tipo	Tema	8.3	
1.1.9.3	Palabra clave	Imágenes de Radar, Sensores remotos, ORI, Radar Aerotransportado, Valle del Cauca, Amame	Texto libre	
1.1.10	Restricciones	Restricciones de edición y distribución		
1.1.10.1	Limitaciones de uso	Uso únicamente para consulta	Texto libre	
1.1.10.2	Restricciones legales	Restricciones legales de uso, modificación y distribución de información determinada por la entidad	Texto libre	
1.1.10.2.1	Restricciones de acceso	Copyright	8.4	
1.1.10.2.2	Restricciones de uso	Copyright	8.4	
1.1.10.2.3	Otras restricciones	Se restringe su modificación y su distribución de la respectiva consulta a la entidad	Texto libre	
1.1.10.3	Restricciones de seguridad	Méjano	8.5	
1.1.10.3.1	Seguridad	No clasificado	8.5	
1.1.10.3.2	Notas de usuario	Ampe 10	Texto libre	
1.1.11	Ambiente de desarrollo	Ampe 10	Texto libre	
2	CALIDAD DE LOS DATOS	Información sobre la calidad de los datos especificada en el alcance de calidad, la cual evalúa el grado en que un producto cumple con los requerimientos que le hacen apto para su utilización.		
2.1	Alcance	Imagen de Radar Ortorectificado (ORI) Monocromática, obtenida por la amplitud en la faja de frecuencia de las micro-ondas conocida como Banda X cuya frecuencia central varía de 9,35GHz a 9,75GHz y longitud de onda entre 3,25 a 2,5 cm, con una resolución radiométrica de 10 bits.		
2.1.1	Nivel	Conjunto de datos	8.14	
2.1.2	Descripción del nivel	N/A		
2.1.2.1	Atributos	N/A	ISO 19108	
2.1.2.2	Objetos	N/A	ISO 19110	
2.1.2.3	Instancias de objetos	N/A	ISO 19111	
2.1.2.4	Instancias de atributos	N/A	ISO 19112	
2.1.2.5	Conjunto de datos	N/A	Texto libre	
2.1.2.6	Otros	N/A	Texto libre	

Ilustración 54. Modelo metadatos sección 1

Fuente: Propia (estudio actual)

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

2.2	Historia	para, usando el sensor OrbisAR, se adquirieron imágenes de todo el departamento del Valle del Cauca y el norte del departamento del Cauca, los vuelos fueron realizados entre los meses junio y julio de 2015.	
2.2.1	Declaración	N/A	Texto libre
2.2.2	Fuentes de información	Imágenes de radar aerotransportado con el sensor OrbisAR, con una altitud de vuelo de 25.000 pies.	
2.2.2.1	Citación	Sensor OrbisAR, trabajo de campo del contrato CVC No. 485 de 2014, el Plan de vuelo se ejecuto entre junio y julio del año 2015.	Sección 10 Citación
2.2.2.2	Descripción	Generación de imágenes de radar a través del contrato CVC No. 485 de 2015 con la firma Ingeovista Ltda.	Texto libre
2.2.2.3	Escala	1:10.000	
2.2.2.3.1	Denominador	10.000	Entero > 0
2.2.3	Proceso	Generación de imágenes de radar ortorectificadas.	
2.2.3.1	Descripción	Se generaron imágenes de radar aerotransportado con el sensor OrbisAR, con una altitud de vuelo de 25.000 pies, con un par de imágenes con una superposición superior al 60% se realizó la interferometría de radar, de la cual se derivó los Modelos Digitales de elevación. Mecanismo digital usado para representar espacialmente el conjunto de datos.	Texto libre
3	REFERENCIA ESPACIAL		
3.1	Representación/Raster	Raster	
3.1.1	Objetos geométricos	N/A	
3.1.1.1	Tipo de objeto		8 16
3.1.1.2	Número de Objetos	N/A	
3.1.2	Nivel topológico		8 17
3.2	Representación Raster	Imágenes de Radar Ortorectificadas - CRF	
3.2.1	Número de Dimensiones	2 ejes espaciales - 1 Temporal	
3.2.2	Propiedades de las Dimensiones	Ejes X y Y - Fecha de toma única	
3.2.2.1	Nombre de la dimensión	File	8 18
3.2.2.2	Tamaño de la dimensión	XXXX	
3.2.2.3	Resolución	1 metro	
3.2.3	Tipo de Objeto	Píxel	8 19
3.2.4	Disponibilidad de parámetros de trans	N/A	1 si 0 no
	Información de Georreferenciación	El sistema de radar utilizado graba datos de control de la trayectoria realizados por el Sistema de Navegación Apilado: POSAV 610, que es compuesto de una Unidad de Medición Inercial (IMU: Inertial Measurement Unit), un receptor DGPS y un computador integrado. El GPS de la aeronave, junto con un GPS instalado en tierra programable, por medio del procesamiento GPS, la posición de la aeronave durante toda la trayectoria del vuelo.	
3.2.5.1	Número de Dimensiones	2 ejes espaciales - 1 Temporal	
3.2.5.2	Propiedades de las Dimensiones	Ejes X y Y - Fecha de toma única	
3.2.5.2.1	Nombre de la dimensión	File	8 18
3.2.5.2.2	Tamaño de la dimensión	xxxx	
3.2.5.2.3	Resolución	1 metro	
3.2.5.3	Tipo de Objeto	Píxel	8 19
3.2.5.4	Disponibilidad de parámetros de trans	Parámetros oficiales para Colombia definidos por el ISAC	1 si 0 no
3.2.5.5	Disponibilidad de Puntos de Chequeo	Puntos de control los tomados en campo con dispositivos GPS y Estación Total, para la verificación de la precisión planimétrica de las imágenes.	1 si 0 no
3.2.5.6	Descripción de los puntos de chequeo	-	Texto libre
3.2.5.7	Puntos de Esquina	-	
3.2.5.8	Punto en el centro	-	1 si 0 no
3.2.5.9	Punto en píxel	-	8 20
3.2.5.10	Descripción de la transformación	-	
3.2.6	Información de Georreferenciación	-	
3.2.6.1	Número de Dimensiones	-	
3.2.6.2	Propiedades de las Dimensiones	-	
3.2.6.2.1	Nombre de la dimensión	-	8 18
3.2.6.2.2	Tamaño de la dimensión	-	
3.2.6.2.3	Resolución	-	
3.2.6.3	Tipo de Objeto	-	8 19
3.2.6.4	Disponibilidad de parámetros de trans	-	1 si 0 no
3.2.6.5	Puntos de control	-	1 si 0 no
3.2.6.6	Parámetros de orientación	-	1 si 0 no
3.2.6.7	Descripción de los parámetros	-	
3.2.6.8	Parámetros de georreferenciación	-	
4	REFERENCIA ESPACIAL		
4.1	Identificación del Sistema de Referencia	Sistema de referencia: MAGNA Epsode: GRS80 Proyección Cartográfica: Gauss - Krüger Origen de la zona: Oeste Coordenadas geográficas: 4° 35' 48" 32 Latitud Norte 77° 04' 39" 03 Longitud Oeste Coordenadas planas: 1.000.000 metros Norte 1.000.000 metros Este	
4.1.1	Código	xxx	Texto libre
4.1.2	Información del Sistema de Referencia	Magna-Sirgas Origen Oeste	
4.1.2.1	Responsable del Identificador del Siste	ISAC- Instituto Geográfico Agustín Codazzi	
4.2	Descripción del Sistema de Referencia	Magna-Sirgas Origen Oeste	Texto libre
5	REFERENCIA DEL METADATO		
5.1	Identificador del archivo	xxx	Texto libre
5.2	Idioma	Castellano	ISO 639-2
5.3	Conjunto de caracteres	utf	8 9
5.4	Nombre del estándar del metadato	NTC-4111 versión 3.0	Texto libre
5.5	Versión del metadato	Tercera actualización	Texto libre
5.6	Punto de contacto	Grupo Sistema de Información Ambiental - CVC	Sección 11 contacto
5.7	Fecha de creación del metadato	31/2/2015	AAAMMDD
6	CATALOGO DE SIMBOLOS	Información que identifica el catálogo de símbolos usado	
6.1	Citación	xxx	
7	DISTRIBUCION		
7.2	Formato	Formato GeoTIFF e IMG	
7.2.1	Nombre	Imagen 0000	Texto libre
7.2.2	Versión	Version 1.0	Texto libre
7.3	Información del distribuidor	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca	
7.3.3	Opción de transferencia digital	Digital análogo	
7.3.3.3.1	Opciones en línea	eduardo.medina@cvc.gov.co	
7.3.3.3.1	Dirección en línea	http://www.cvc.gov.co	URL
10	CITACION	Información de las referencias citadas en el conjunto de datos.	
10.1	Grupo Responsable	Grupo Sistema de Información Ambiental - CVC	Contacto
10.8	Forma de presentación	Documento Digital	8 28
11	CONTACTO	Identificación de la persona(s) y organizaciones asociadas con el conjunto de datos, y los mecanismos para comunicarse con ellos.	
11.1	Nombre de la organización	Estación Médica Benítez	
11.2	Cargo	Profesional Especializado	
11.3	Tipo de Responsable	Punto de Contacto	8 29
11.4	Información sobre el contacto	eduardo.medina@cvc.gov.co	
11.4.1	Ubicación del contacto	Ciudad Grupo Sistema de Información Ambiental, segundo piso	
11.4.1.1	Dirección	Carrera 88 No. 11-36	
11.4.1.2	Ciudad	Santiago de Cali	
11.4.1.3	Departamento	Valle del Cauca	
11.4.1.4	País	Colombia	
11.4.1.5	Código electrónico	eduardo.medina@cvc.gov.co	
11.4.1.6	Teléfono	(057) Fax: 621 61 00 – 3181700 ext. 1240, 1239	
11.4.2	Recursos en línea	eduardo.medina@cvc.gov.co	
11.4.3	Información de la fecha	Fecha de referencia y evento al cual corresponde	
12.1	Fecha		6/2/2015
12.2	Tipo de fecha	Creación	8 30

Ilustración 55. Modelo metadatos sección 2

Fuente: Propia (estudio actual)

8 Cálculo de personas expuestas a ruido

Tomando como base la información que se describe a continuación, y detallada en el anexo digital 1 metodología MER dentro de los informes de cada comuna, se realiza el análisis para el cálculo de las personas expuestas en la ciudad según los rangos establecidos en la Res. 627 de 2006 y el número de personas que se encuentran expuestas a niveles superiores a los establecidos en la clasificación del uso de suelo correspondiente a cada edificación y documentado en la resolución previamente mencionada.

Las personas expuestas se analizan con base en la tabla de atributos de las edificaciones en SoundPLAN con las siguientes variables: nombre de la edificación (las edificaciones no deben tener nombres repetidos), número de pisos(o similar que permita calcular el número de pisos), uso de suelo y distribución de personas que habitan en cada edificación; y los resultados obtenidos mediante la tabla de resultados para el mapa de fachadas los cuales deben tener los siguientes parámetros: nombre de edificación (asociada a la tabla de atributos de edificación), variable para número de piso (PB,P1,P2...) y los niveles o las variables de análisis LD, LN y LDN. A continuación, se explica el cálculo para los dos análisis de personas expuestas.

8.1 Cálculo para la clasificación de personas expuestas por rangos de clasificación Res. 627

El número de personas expuestas en la ciudad, fue determinado mediante un procesamiento en Python 3.5.4 (lenguaje de programación) con la finalidad de tener los niveles máximos en cada fachada (receptor con nivel máximo por piso). Posteriormente, se toman los valores obtenidos por cada piso para ser relacionados con el número de habitantes por edificación y el número de pisos mediante procesamiento en Excel; es decir, el valor obtenido en el piso “x” es clasificado en uno de los intervalos establecidos previamente según la Res. 627 y seguidamente se le asigna el número de personas expuestas haciendo una relación directa entre el número de habitantes en la edificación y el número de pisos. Este proceso se replica para cada una de las edificaciones y sus respectivos pisos, finalmente, se agrupan las personas expuestas en cada clasificación y se genera un resultado que permite conocer el número y porcentaje de personas expuestas en cada uno de sus rangos. A continuación, se presenta la Tabla 12 con los resultados correspondientes a las personas expuestas para la ciudad en jornada ordinaria, y la Tabla 13 en la cual se muestran los resultados pertenecientes a las personas expuestas para la ciudad en jornada dominical.

Tabla 12. Clasificación de personas expuestas según Res. 627 en jornada ordinaria

Tipo de clasificación	Clasificación de personas (unidades)			Clasificación de personas (porcentual)		
	LD	LN	LDN	LD	LN	LDN
Nivel exposición ruido						
≤ 35 dBA	0	1021	0	0.00%	0.04%	0.00%
35 < dBA ≤40	1224	2734	130	0.05%	0.11%	0.01%
40 < dBA ≤45	3060	20274	2317	0.13%	0.84%	0.10%
45 < dBA <50	22840	67776	10023	0.95%	2.82%	0.42%
50 < dBA ≤55	70363	102523	50147	2.93%	4.26%	2.09%
55 < dBA ≤60	107738	490009	89502	4.48%	20.38%	3.72%
60 < dBA ≤65	616701	1032412	214416	25.65%	42.95%	8.92%
65 < dBA ≤70	917633	429026	1090672	38.17%	17.85%	45.37%

Tipo de clasificación	Clasificación de personas (unidades)			Clasificación de personas (porcentual)		
	LD	LN	LDN	LD	LN	LDN
Nivel exposición ruido						
70 < dBA ≤75	412611	215712	549971	17.16%	8.97%	22.88%
75 < dBA ≤80	202338	41656	291566	8.42%	1.73%	12.13%
dBA >80	49326	691	105091	2.05%	0.03%	4.37%
Total	2403834	2403834	2403834	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Propia (estudio actual)

Tabla 13. Clasificación de personas expuestas según Res. 627 en jornada dominical

Tipo de clasificación	Clasificación de personas (unidades)			Clasificación de personas (porcentual)		
	LD	LN	LDN	LD	LN	LDN
Nivel exposición ruido						
≤ 35 dBA	82	2132	0	0.0034%	0.09%	0.00%
35 < dBA ≤40	2255	9770	1381	0.09%	0.41%	0.06%
40 < dBA ≤45	11148	48786	4059	0.46%	2.03%	0.17%
45 < dBA <50	52755	86706	31248	2.19%	3.61%	1.30%
50 < dBA ≤55	89084	174378	76834	3.71%	7.25%	3.20%
55 < dBA ≤60	215174	1051647	112521	8.95%	43.75%	4.68%
60 < dBA ≤65	1094238	603182	719540	45.52%	25.09%	29.93%
65 < dBA ≤70	538152	340862	860759	22.39%	14.18%	35.81%
70 < dBA ≤75	310971	83217	416103	12.94%	3.46%	17.31%
75 < dBA ≤80	86402	3136	166150	3.59%	0.13%	6.91%
dBA >80	3570	18	15238	0.15%	0.00%	0.63%
Total	2403834	2403834	2403834	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Propia (estudio actual)

En la Tabla 12 (jornada ordinaria), es posible observar que las mayores concentraciones de personas expuestas se presentan en los rangos 65 - 70 dB(A) para los niveles LD (Nivel Día) y LDN (Nivel Día – Noche) y 60 - 65 dB(A) para el nivel LN (Nivel Noche). En el horario de análisis correspondiente a LD, se encontró que los niveles de exposición entre 60 y 80 dB(A) representan un 89.3% de las personas clasificadas en la ciudad; por otro lado, también se puede observar que el nivel mínimo de clasificación para las personas en este horario se encuentra en el rango 35 - 40 dB(A) con el 0.05% (1224 personas). En el horario de análisis correspondiente a LN, se observó que los niveles de exposición entre 55 y 75 dB(A) representan un 90.1 % de las personas clasificadas en la ciudad. Finalmente, el nivel LDN presentó que el 89.3% de las personas se encuentran expuestas a niveles entre los 60 - 80 dB(A) siendo la jornada de análisis más crítica que se puede presentar en la ciudad; en este nivel, también se puede observar que individualmente el rango de 65 - 70 dB(A) presentó la mayor concentración de personas expuestas en los tres niveles de análisis (LD, LN y LDN).

En la Tabla 13 (jornada dominical), es posible observar que las mayores concentraciones de personas expuestas se presentan en los rangos 60 – 65 dB(A) para el nivel LD (Nivel Día), 55 – 60 dB(A) para el nivel LN (Nivel Noche) y 65 – 70 dB(A) para el nivel LDN (Nivel Día-Noche). En el horario de análisis correspondiente a LD, se encontró que los niveles de exposición entre 55 y 75 dB(A) representan un 89.8% de las personas clasificadas en la ciudad; por otro lado, también se puede observar que el nivel mínimo de clasificación para las personas en este horario se encuentra en valores inferiores a 35 dB(A) con el 0.003% (82 personas). En el horario de análisis correspondiente a LN, se encontró que los niveles de exposición entre 50 y 70 dB(A) representan un 90.3 % de las personas clasificadas en la ciudad. Finalmente, el nivel LDN presentó que el 89.9 % de las personas se encuentran expuestas a niveles entre los 60 - 80 dB(A), siendo el rango más crítico en la jornada dominical.

8.2 Evaluación porcentaje de población urbana expuesta a ruido (%PUAR)

En este apartado se presenta el cálculo del porcentaje de población urbana expuesta al ruido ambiental por encima de las recomendaciones de la organización mundial de la salud – OMS, este valor de referencia se establece en 65 dB(A) para el nivel LDN [10]. El porcentaje de población expuesta (%PUAR) se calcula mediante:

$$\%PUAR_{LDN} = \frac{PUAR}{PUT} \times 100$$

Ecuación 5. Cálculo del %PUAR

Donde:

$\%PUAR_{LDN}$ = porcentaje de población urbana expuesta a ruido ambiental por encima del valor de referencia para el periodo LDN del mapa de ruido ambiental.

PUAR = población urbana expuesta por encima del valor de referencia de 65 dB(A) para LDN.

PUT = población urbana total de la ciudad.

Para el caso de la ciudad de Santiago de Cali, se calcularon los %PUAR para cada uno de los mapas realizados de nivel LDN; estos mapas se pueden consultar en el apartado 9 de este documento. A continuación, se presenta el valor de %PUAR para el total de fuentes identificadas tanto en jornada ordinaria como dominical.

$$\%PUAR_{LDN - \text{Ordinario}} = 84.75\%$$

$$\%PUAR_{LDN - \text{Dominical}} = 60.66\%$$

Al analizar los %PUAR, se puede evidenciar que la ciudad de Cali se encuentra con altos índices de personas expuestas; adicionalmente es importante resaltar la disminución del %PUAR entre las jornadas dominical y ordinaria, lo cual indica que existe una disminución en las fuentes de ruido presentes en la ciudad durante la jornada dominical.

8.3 Cálculo de personas expuestas a niveles que exceden los niveles establecidos por la Res. 627

Para determinar el número de personas expuestas a niveles que exceden los máximos permitidos por la Res. 627 en la ciudad, inicialmente se hace un procesamiento en Python 3.5.4 (Lenguaje de programación) con la finalidad de tener los niveles máximos en cada fachada (receptor con nivel máximo por piso). Posteriormente, se toman los valores obtenidos por cada piso y se le resta el nivel máximo permitido según su clasificación de uso de suelo, si el resultado es positivo, este piso se encuentra expuesto a niveles que exceden la norma, finalmente para determinar el número de

personas expuestas, se hace una relación entre el número de habitantes por edificación y el número de pisos mediante procesamiento en Excel; es decir, el valor obtenido en el piso “x” se le resta el valor máximo permitido del uso del suelo para la edificación clasificado previamente según la Res. 627, si el resultado es un número positivo se le asignará el número de personas expuestas a niveles que exceden la norma haciendo una relación directa entre el número de habitantes en la edificación, y el número de pisos. Este proceso se replica para cada una de las edificaciones y sus respectivos pisos, finalmente, se agrupan las personas que exceden los niveles máximos permitidos y se genera un resultado que con la información correspondiente al número y porcentaje de personas expuestas en cada uno de sus rangos. A continuación, se presenta la tabla con los resultados correspondientes a las personas expuestas a niveles superiores a los establecidos por la Res. 627 para la ciudad de Santiago de Cali.

Tabla 14. Clasificación de personas expuestas a niveles que exceden los valores establecidos en la Res. 627 en jornada ordinaria

Tipo de clasificación	Clasificación de personas (unidades)			Clasificación de personas (porcentual)		
	LD	LN	LDN	LD	LN	LDN
Nivel exposición ruido						
0 < dBA ≤ 5	930842	461130	800156	38.72%	19.18%	33.29%
5 < dBA ≤ 10	404519	1054812	840148	16.83%	43.88%	34.95%
10 < dBA ≤ 15	128275	413833	370952	5.34%	17.22%	15.43%
15 < dBA ≤ 20	16286	206520	87758	0.68%	8.59%	3.65%
20 < dBA ≤ 25	4467	58197	10018	0.19%	2.42%	0.42%
25 < dBA ≤ 30	1063	5557	4042	0.04%	0.23%	0.17%
30 < dBA ≤ 35	233	1144	677	0.01%	0.05%	0.03%
35 < dBA ≤ 40	0	196	10	0.00%	0.01%	0.0004%
Total	1485686	2201389	2113761	61.80%	91.58%	87.93%

Fuente: Propia (estudio actual)

Tabla 15. Clasificación de personas expuestas a niveles que exceden los valores establecidos en la Res. 627 en jornada dominical

Tipo de clasificación	Clasificación de personas (unidades)			Clasificación de personas (porcentual)		
	LD	LN	LDN	LD	LN	LDN
Nivel exposición ruido						
0 < dBA ≤ 5	555810	1005882	1130152	23.12%	41.84%	47.01%
5 < dBA ≤ 10	243178	603493	511206	10.12%	25.11%	21.27%
10 < dBA ≤ 15	33124	328351	179434	1.38%	13.66%	7.46%
15 < dBA ≤ 20	4737	99337	20062	0.20%	4.13%	0.83%
20 < dBA ≤ 25	1570	8633	5211	0.07%	0.36%	0.22%
25 < dBA ≤ 30	346	1266	592	0.01%	0.05%	0.02%
30 < dBA ≤ 35	0	269	198	0.00%	0.01%	0.01%
35 < dBA ≤ 40	0	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
Total	838765	2047231	1846855	34.89%	85.17%	76.83%

Fuente: Propia (estudio actual)

En la Tabla 14 y Tabla 15, se puede observar que en el nivel correspondiente a LN se presenta una mayor cantidad de personas expuestas que en los demás niveles, debido a que la Resolución 627 del 2006 decreta valores más restrictivos en horario nocturno con diferencias de hasta 15 dB(A) en relación al horario diurno. De igual manera, se muestra que para los niveles LN y LDN en jornada ordinaria, la mayor concentración de personas expuestas que superan los límites permisibles se encuentra en el rango de 5 dB(A) a 10 dB(A) con el 43.88% y 34.95% respectivamente de las personas clasificadas en la ciudad. Para la jornada dominical, la mayor concentración de personas expuestas que sobrepasan los límites permisibles, se localiza en el rango de 0 a 5 dB(A) en los tres niveles de análisis.

Nota: cada mapa de ruido generado como salida gráfica incluye sus respectivas tablas con la clasificación de personas correspondiente al tipo de fuente como se puede observar en el anexo digital 5 mapas.

9 Mapas acústicos

Partiendo de la información detallada en los capítulos anteriores, se construyen los mapas estratégicos de ruido respectivos de la ciudad de Santiago de Cali.

En esta sección se presentan los resultados de las modelaciones expresados como niveles de presión sonora en ponderación [A] para LDN. Estas imágenes y las específicas de valores LD y LN se encuentran en el anexo digital 5 mapas para efectos de mejora en su visualización.

La escala de la información cartográfica que se usó para el proceso de modelación y que es presentada a continuación, fue de 1:110000.

9.1 Mapas totales

Cada uno de los mapas, fue obtenido a partir de la suma energética de las fuentes de ruido inventariadas en la ciudad; los niveles obtenidos corresponden al aporte neto de tráfico, actividad comercial y de servicios, actividad industrial y actividades catalogadas en sección de otros de acuerdo a lo especificado en cada mapa.

Estos mapas se han calculado a partir del software de modelación detallado en la sección 7, y las salidas gráficas se encuentran en concordancia con los estándares normativos citados en la sección 7.1.1.

Igualmente, los mapas son presentados por jornada y horario para dar correspondencia a los cambios de actividad u operación de los diversos focos de ruido y de las tendencias de tráfico.

Los mapas adjuntan una tabla con la distribución de personas expuestas a los diferentes niveles de ruido que se encuentran descritos en la Resolución 627 de 2006; la explicación del cálculo de estas personas expuestas y el análisis se encuentra en el capítulo 8.

9.1.1 Mapa LDN total en jornada ordinaria

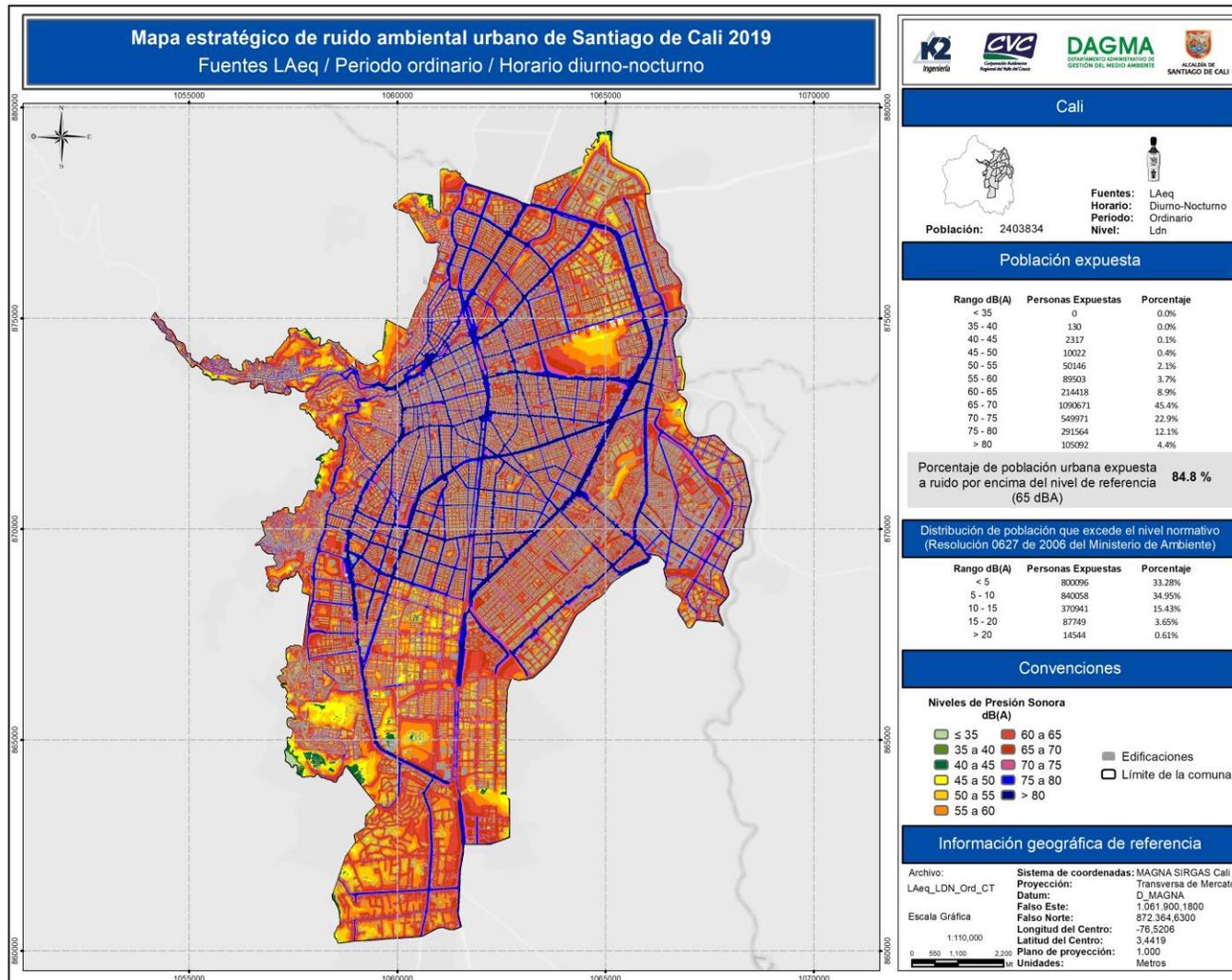


Ilustración 56. Nivel LDN ordinario

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.2 Mapa LDN total en jornada dominical

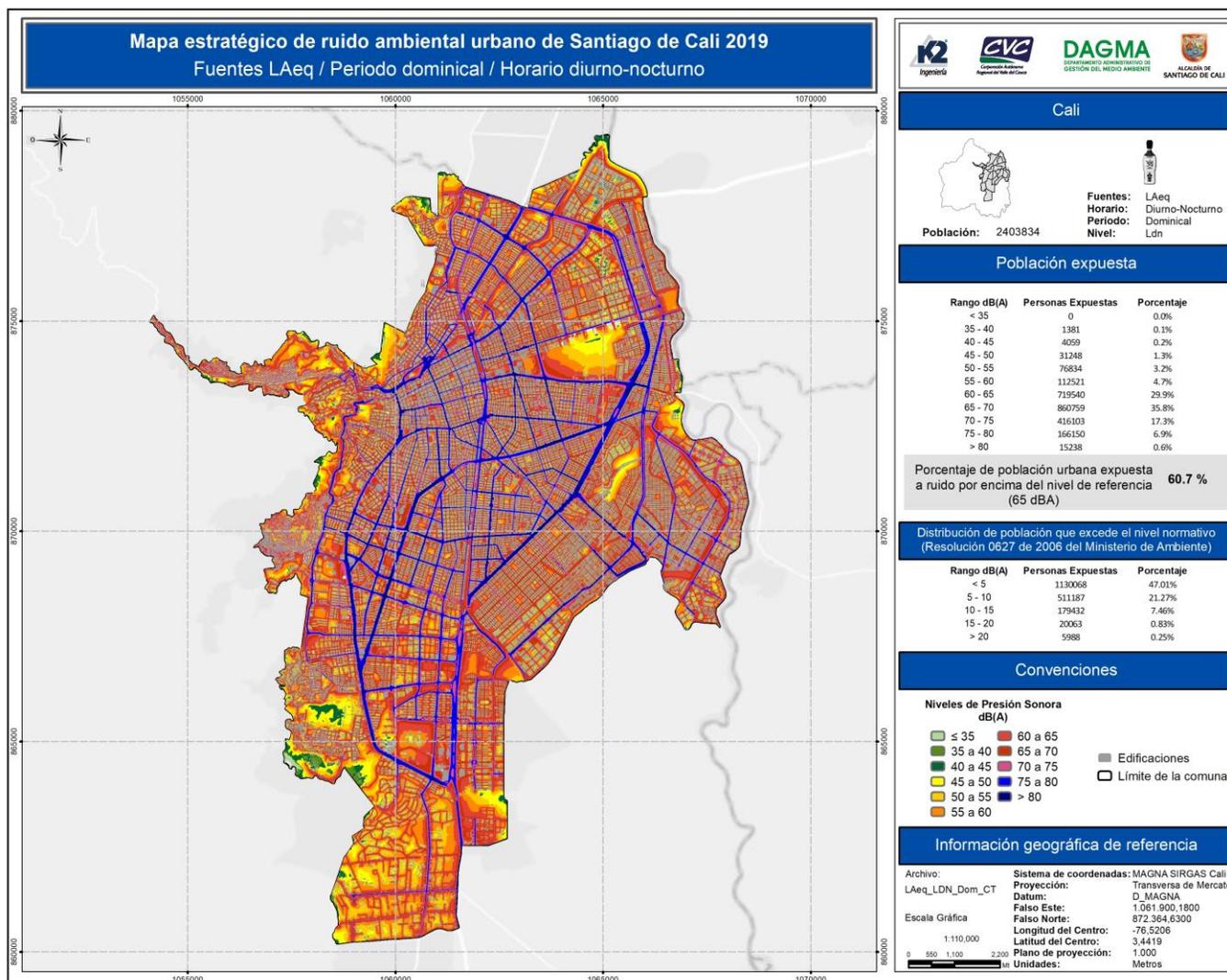


Ilustración 57. Nivel LDN dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.3 Mapa LDN tráfico rodado en jornada ordinaria

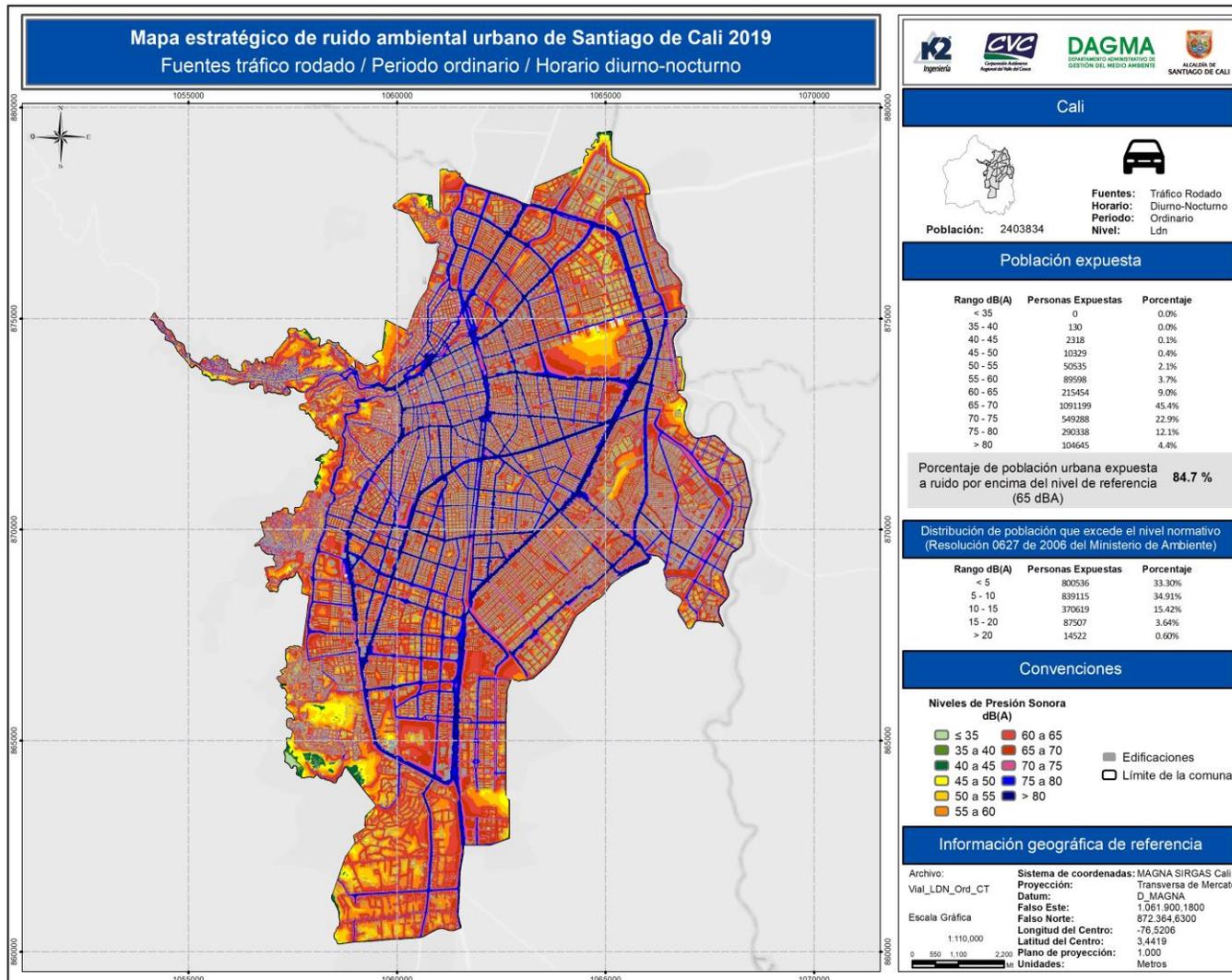


Ilustración 58. Nivel LDN tráfico rodado ordinario

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.4 Mapa LDN tráfico rodado en jornada dominical

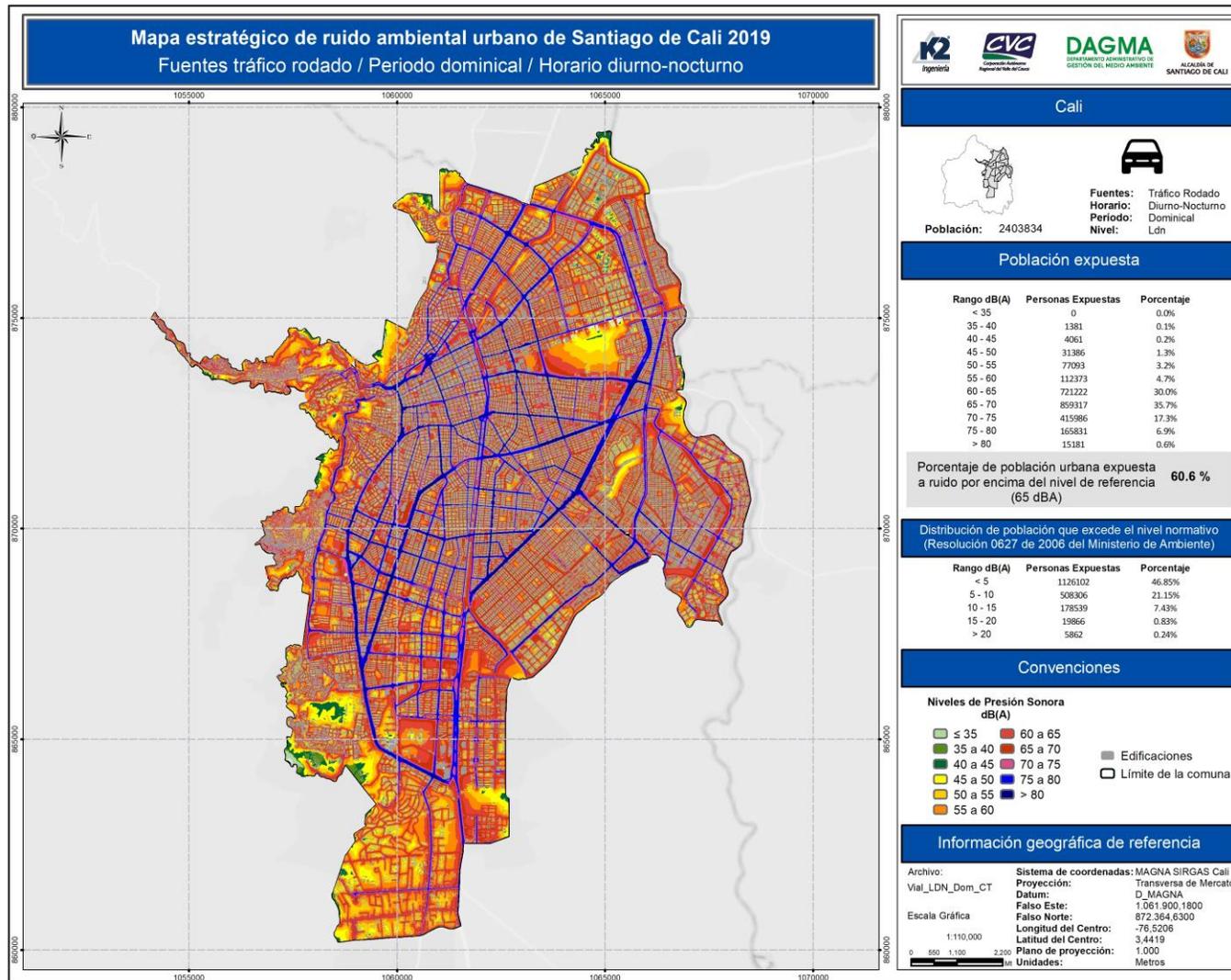


Ilustración 59. Nivel LDN tráfico rodado dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.5 Mapa LDN industrias en jornada ordinaria

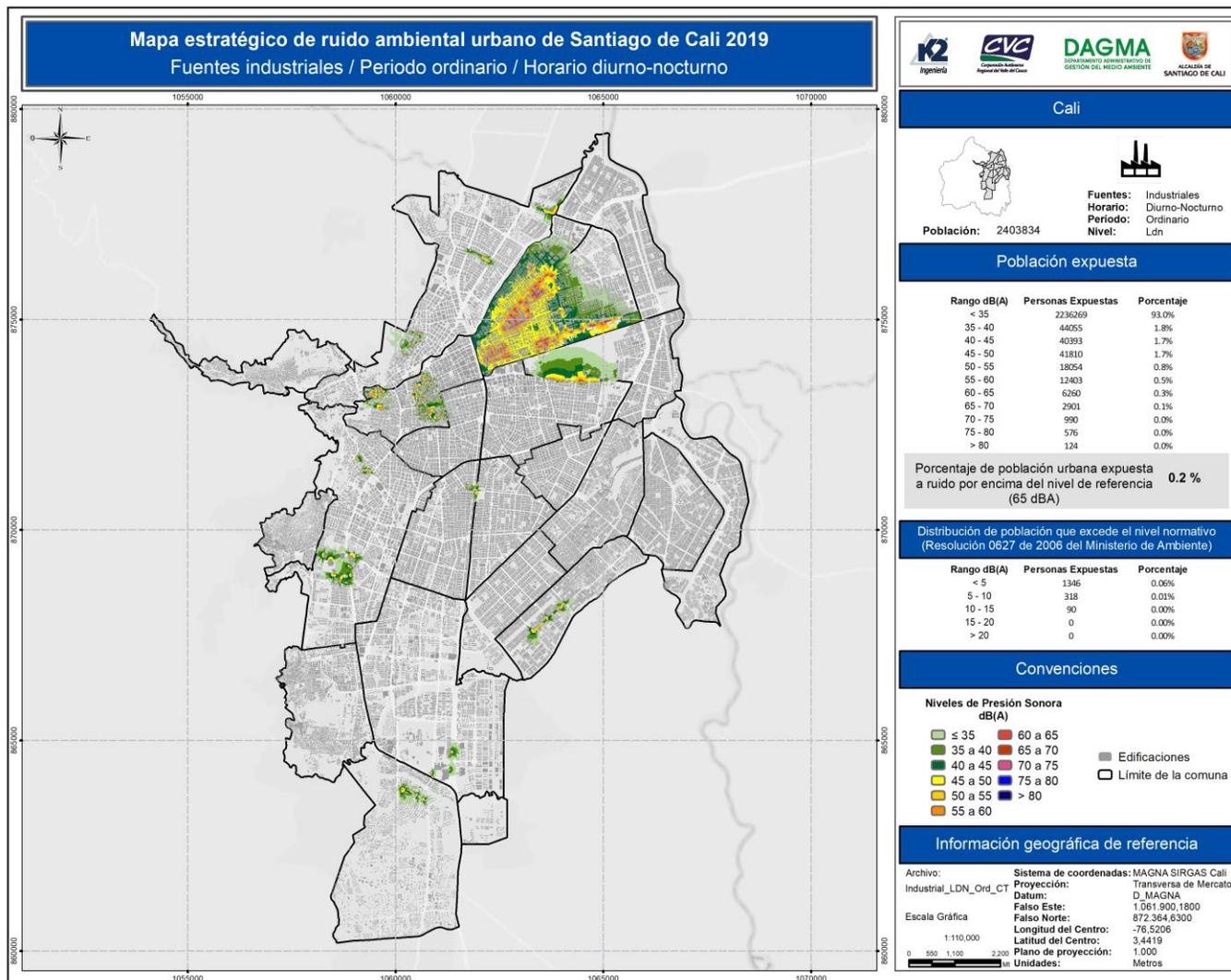


Ilustración 60. Nivel LDN industria ordinario

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.6 Mapa LDN industrias en jornada dominical

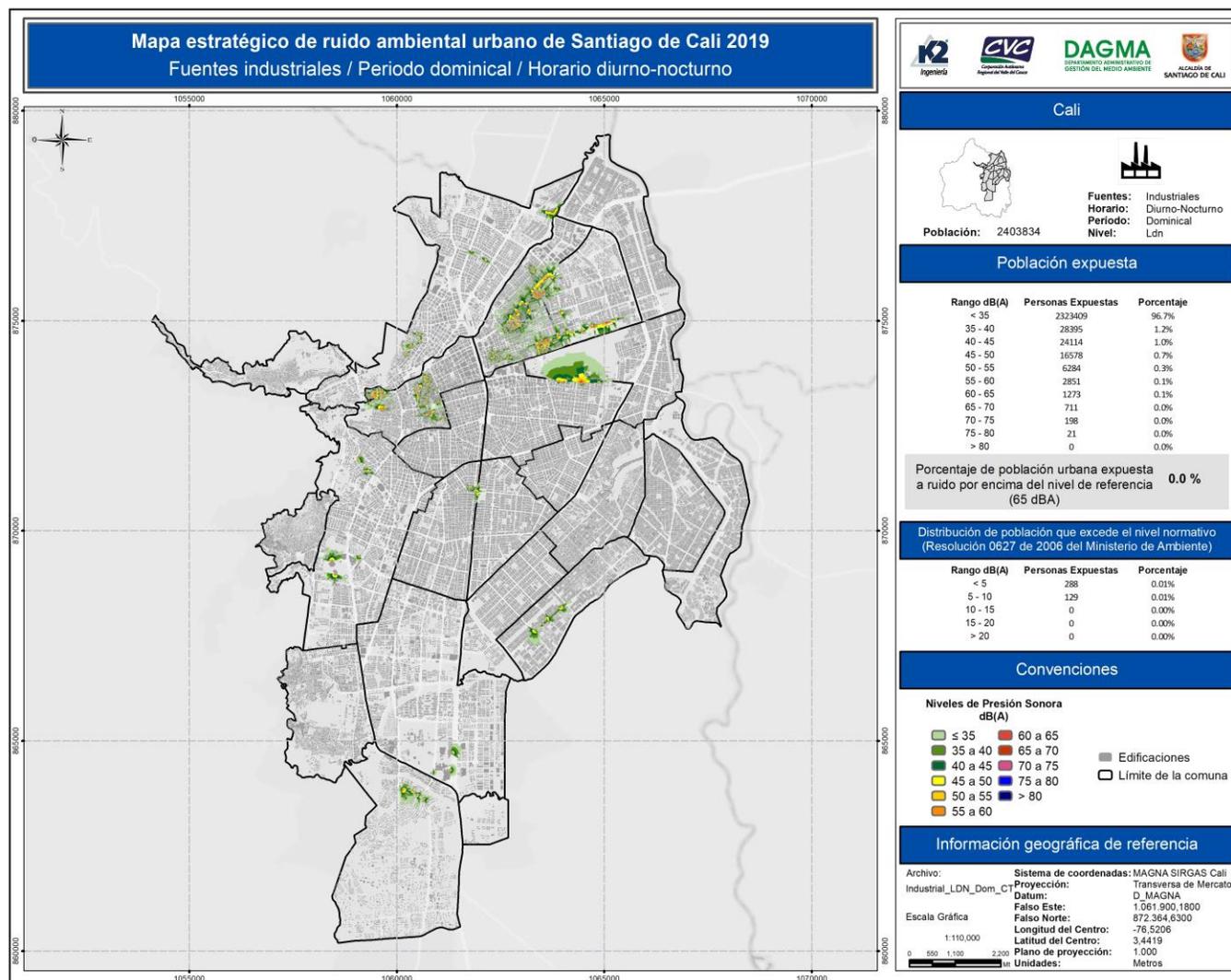


Ilustración 61. Nivel LDN industria dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.7 Mapa LDN comercial en jornada ordinaria

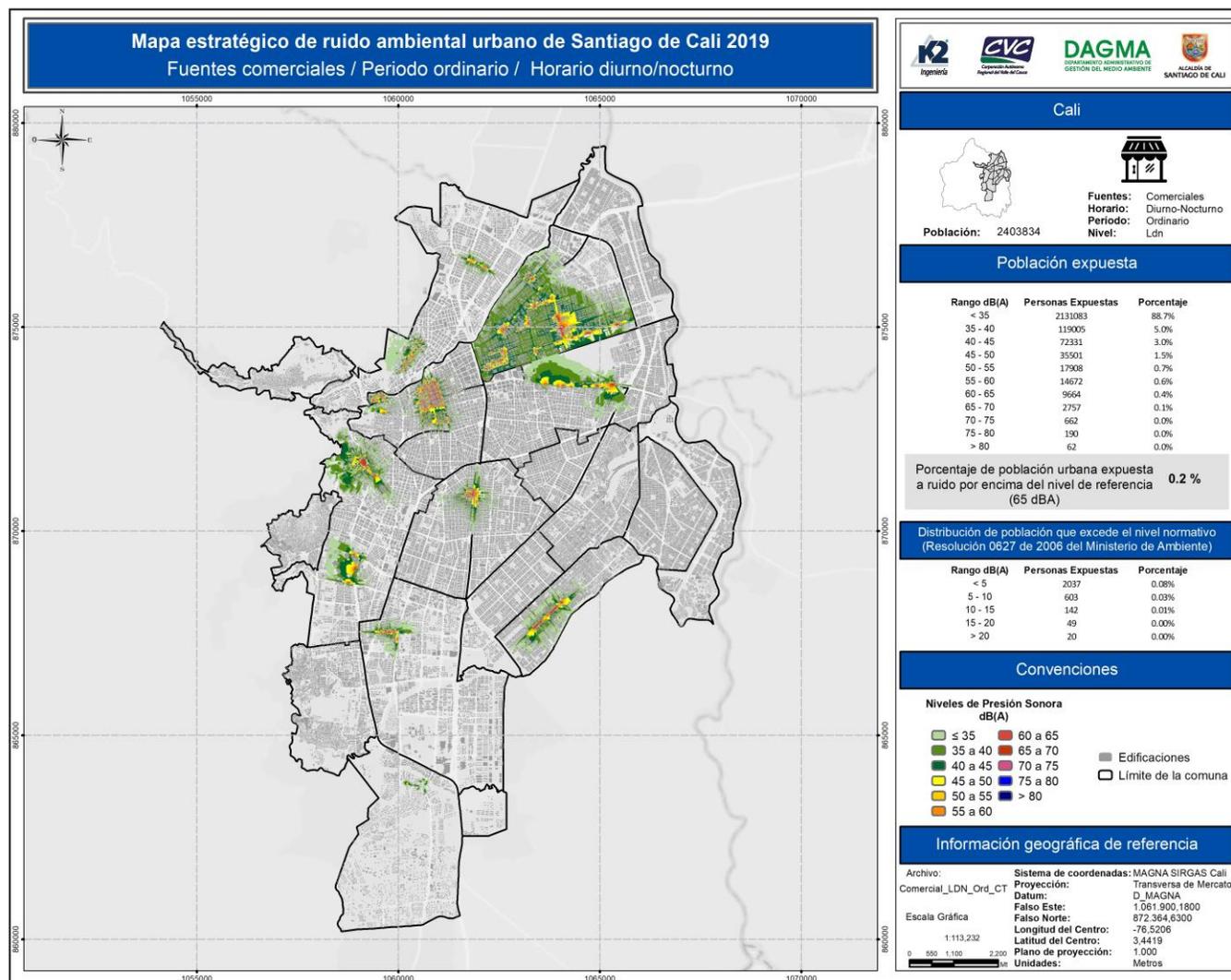


Ilustración 62. Nivel LDN comercial ordinario

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.8 Mapa LDN comercial en jornada dominical

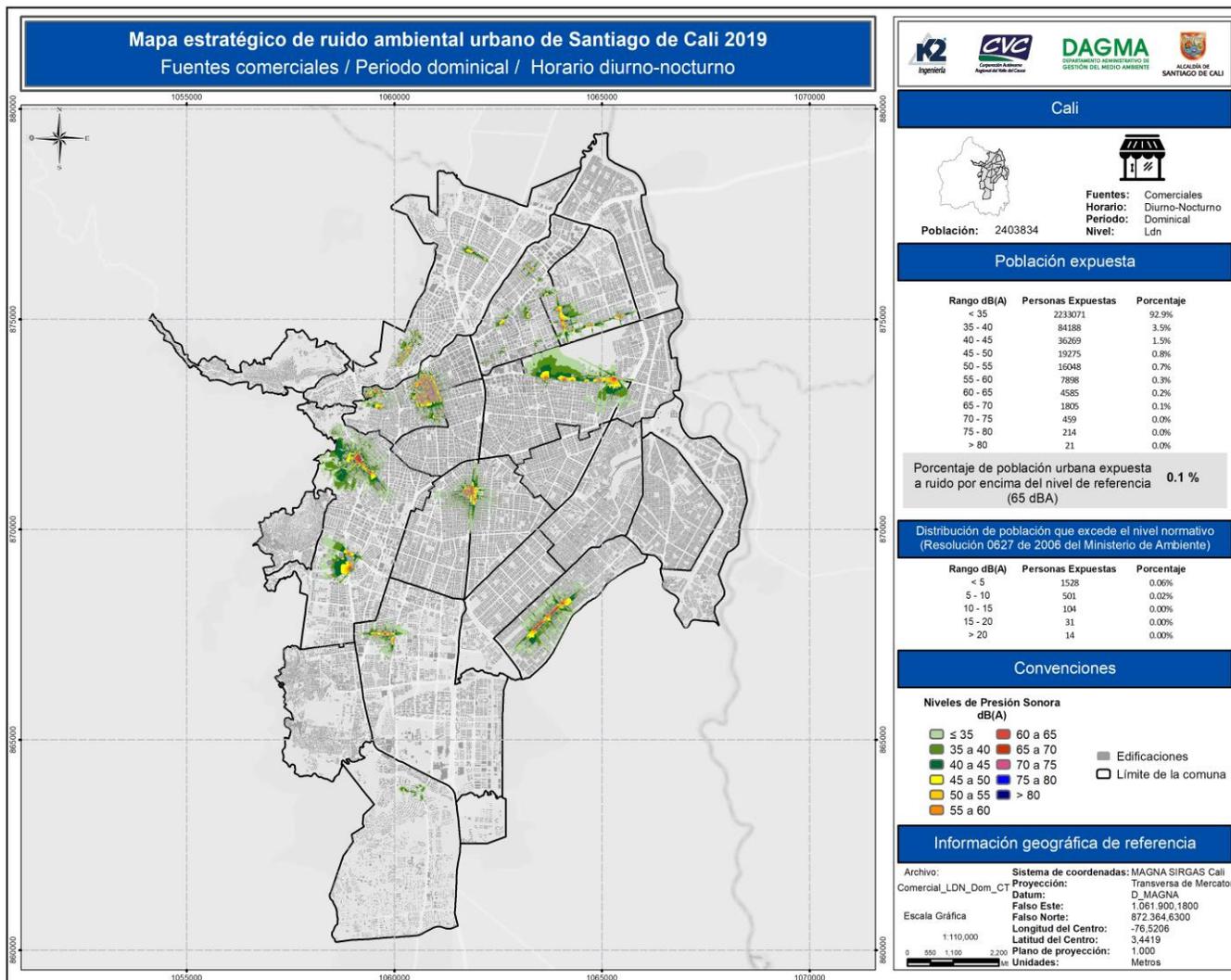


Ilustración 63. Nivel LDN comercial dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.9 Mapa LDN otras fuentes en jornada ordinaria

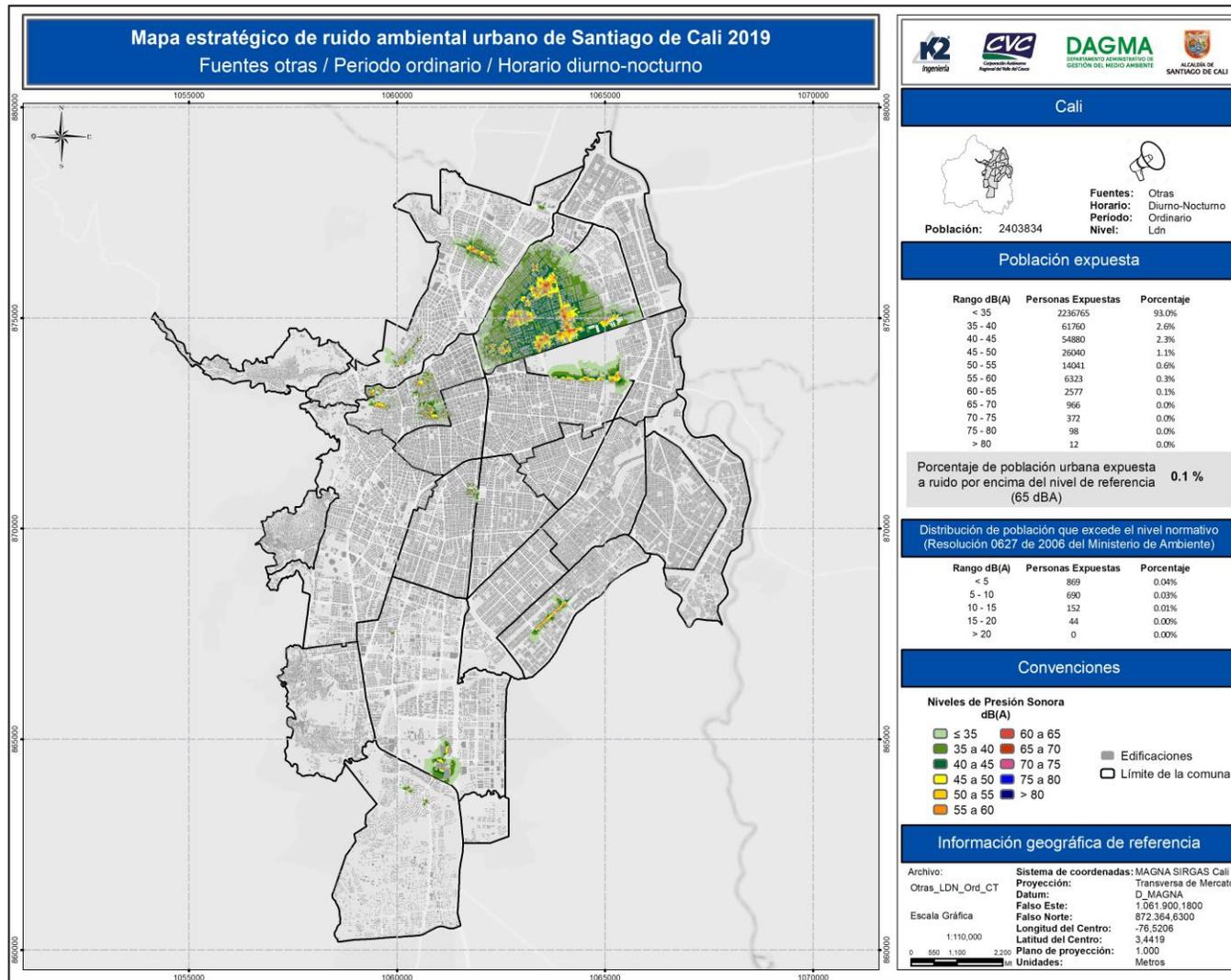


Ilustración 64. Nivel LDN otras fuentes ordinario
Fuente: Propia (estudio actual)

9.1.10 Mapa LDN otras fuentes en jornada dominical

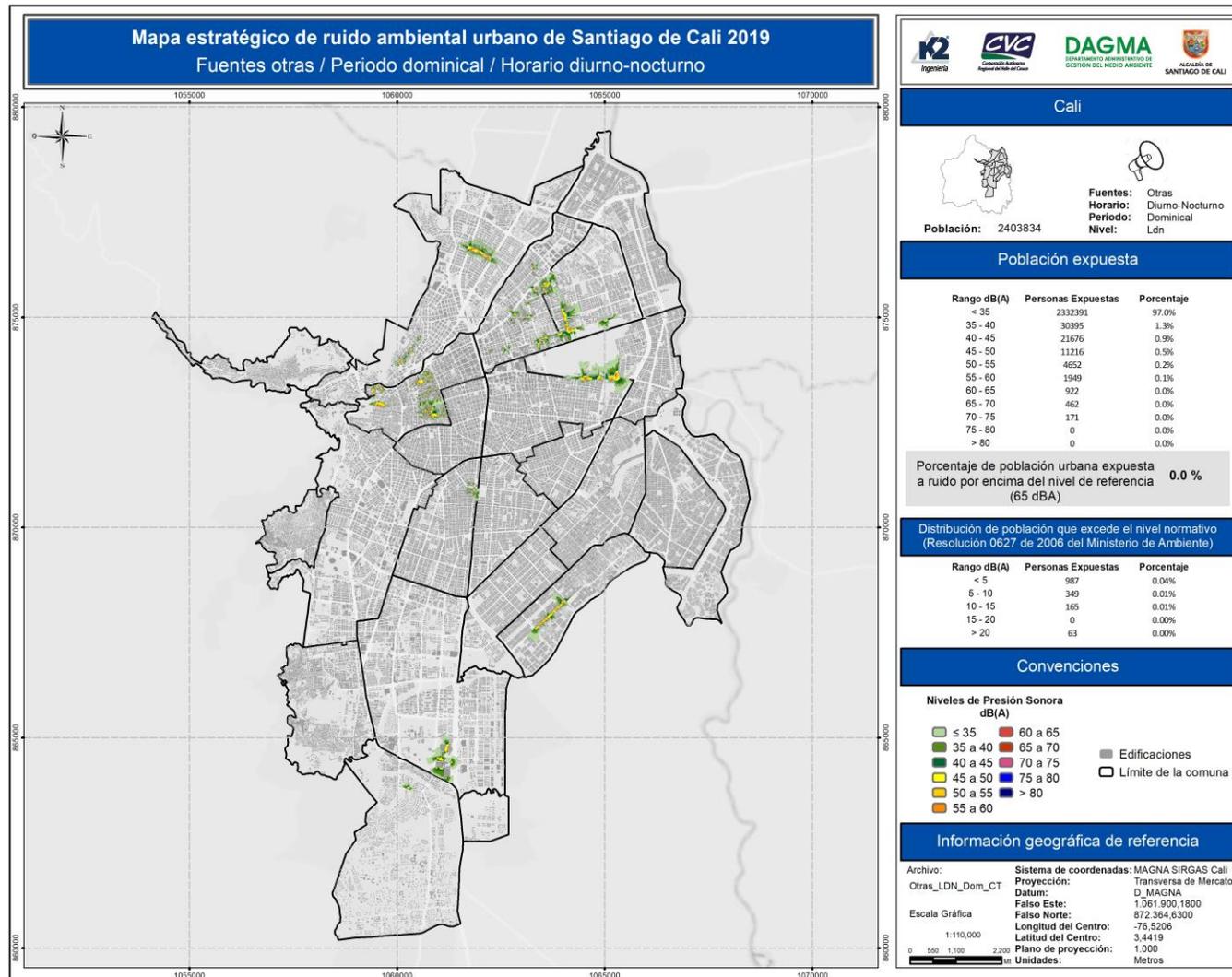


Ilustración 65. Nivel LDN otras fuentes dominical

Fuente: Propia (estudio actual)

9.2 Evaluación e incertidumbre del modelo

La realización de un mapa de ruido mediante técnicas de simulación, validado mediante medidas experimentales, tiene asociados muchos parámetros que influyen en la incertidumbre del resultado final [9].

Las principales fuentes de incertidumbre de los mapas de ruido se pueden dividir en los siguientes grupos: Medidas experimentales, Método de cálculo y Motor de cálculo (Software) y Creación del modelo acústico [11].

En el presente estudio se realizó la cuantificación de la incertidumbre asociada al modelo partiendo de la metodología Ausejo formulada en 2009 [9]. En esta metodología se determinó que el modelo de propagación de la incertidumbre asociado a un mapa de ruido, tiene en cuenta las contribuciones aportadas por la medida, denominada Y_M y por el resto del proceso de simulación denominado Y_S .

La siguiente ecuación describe la formulación general:

$$Y_S = (X_{SA}, X_{SB}, X_{SC},) \quad (1)$$

Donde:

X_{SA} Es la cuantificación de las contribuciones debidas al modelo de cálculo utilizado.

X_{SB} Es la cuantificación de las contribuciones debidas al motor de cálculo.

X_{SC} Es la cuantificación de las contribuciones debidas a la creación del modelo acústico

Partiendo de ello, se puede representar cada factor en función de las cuantificaciones que contribuyen en la incertidumbre de cada una, es decir:

$$X_{SA} = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SA_n}) \quad (2)$$

Donde

X_{SA1} Es la cuantificación debida a la categorización de vehículos.

X_{SA2} Es la cuantificación debida a la Influencia de la velocidad.

X_{SA3} Es la cuantificación debida a la Influencia de la porosidad de la carretera.

$$X_{SB} = f(X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{SB_n}) \quad (3)$$

Donde

X_{SB1} Es la cuantificación debida a la Implementación del modelo de cálculo

X_{SB2} Es la cuantificación debida al radio de búsqueda de fuentes de ruido

X_{SB3} Es la cuantificación debida al número de reflexiones contempladas

$$X_{SC} = f(X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SC_n}) \quad (4)$$

Donde

X_{SC1} Es la cuantificación debida a datos de tráfico.

X_{SC2} Es la cuantificación debida a condiciones ambientales.

X_{SC3} Es la cuantificación debida a la cartografía.

Por lo tanto, el resultado de la incertidumbre en función de las variables mencionadas anteriormente se cuantifica de la siguiente manera:

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

$$Y_S = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SAn}, X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{Sbn}, X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SCn}) \quad (5)$$

Ahora bien, es de considerarse que esta función es dependiente de una muestra bastante grande, con lo cual, se pudo realizar la aproximación por el teorema del límite central, es decir que la distribución de la suma de las variables aleatorias tiende a una distribución normal (Curva de Gauss). Esta premisa permitió utilizar el cálculo establecido en la GUM, por lo que la variable final Y_T se estimó de la siguiente manera:

$$U_T = u_{cT} * k \quad (6)$$

$$u(S) = \sqrt{(u_{cT})^2 - u^2(M)} \quad (7)$$

$$U(S) = u(S) * k \quad (8)$$

Donde

U_T Es la incertidumbre expandida total del mapa de ruido

u_{cT} Es la incertidumbre combinada total del mapa de ruido, calculada a partir de U_T

$u(M)$ Es la incertidumbre combinada debida a las medidas.

$u(S)$ Es la incertidumbre combinada debida a la simulación (Modelo).

$U(S)$ Es la incertidumbre expandida debida a la simulación (Modelo), lo que es igual a Y_S .

A continuación, se presentan las formulaciones y resultados del cálculo de la incertidumbre en jornada ordinaria.

Tabla 16. Comparación entre los valores medidos y los resultados del modelo jornada ordinaria

Ordinario / Escenario	Diurno			Nocturno		
	Modelo [dBA]	Medición [dBA]	Diferencia absoluta [dBA]	Modelo [dBA]	Medición [dBA]	Diferencia absoluta [dBA]
ZEA02EF01	67.4	67.7	0.3	62.0	63.4	1.4
ZEA07EF01	63.2	63.27	0.07	59.2	58.83	0.37
ZEA08EF01	72.3	72.11	0.19	68.9	67.06	1.84
ZEA10EF01	72.3	76.7	4.4	75.7	71.3	4.4
ZEA12EF01	61.1	61	0.1	59.5	54.1	5.4
ZEA14EF01	68.4	65.6	2.8	64.8	72.1	7.3
ZEA15EF01	51	63.8	12.8	57.8	59.5	1.7

Fuente: Propia (Estudio actual)

Partiendo de estos valores, y con base a las ecuaciones (6), (7) y (8) se obtuvo una **incertidumbre del modelo de ± 2.8 [dB], que se representó en un factor de cobertura de $K = 2$ y un nivel de confianza del 95%**.

$$K = 2 \quad (9)$$

$$u(M) = 0.64 \text{ dB} \quad (10)$$

$$U_T = 2.80 \text{ dB} \quad (11)$$

$$u_{cT} = 1.40 \text{ dB} \quad (12)$$

$$u(S) = 1.25 \text{ dB} \tag{13}$$

$$U(S) = 2.49 \text{ dB} \tag{14}$$

Adicionalmente, los valores de la Tabla 16 demuestran que existió una correlación lineal muy alta [9] ($R^2 = 0.8595$) entre los valores medidos y los del modelo, con lo cual se valida la precisión de los resultados.

La siguiente ilustración demuestra gráficamente el comportamiento obtenido:

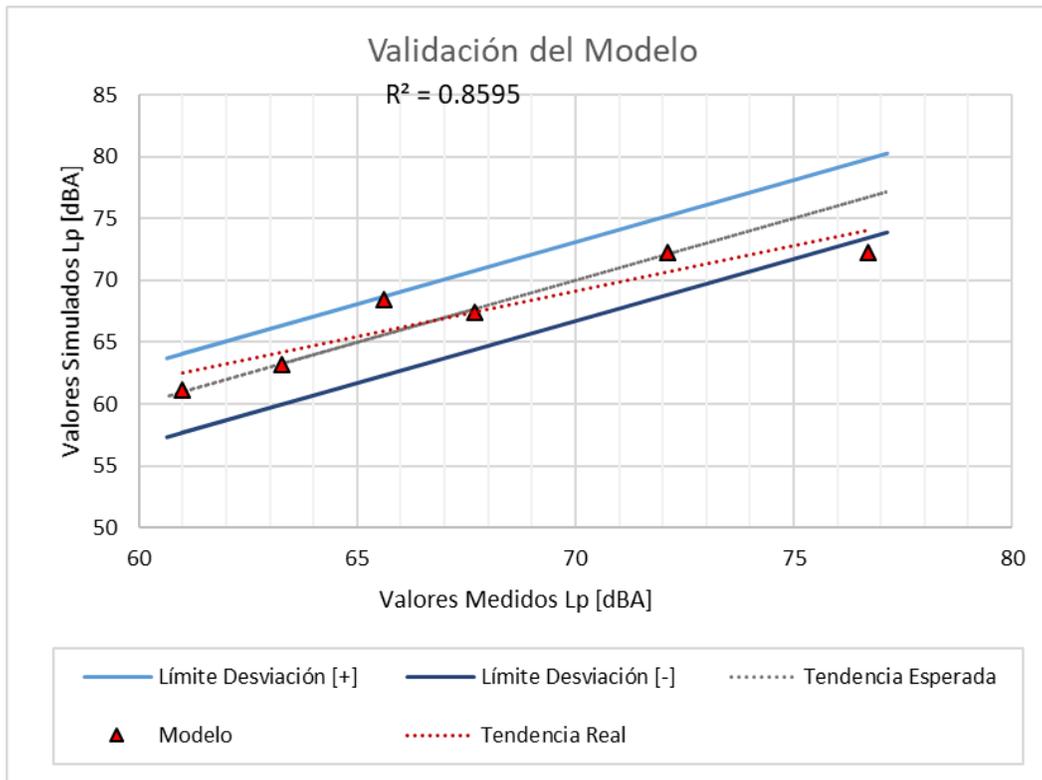


Ilustración 66. Validación del modelo jornada ordinaria

Fuente: Propia (Estudio actual)

A continuación, se presentan las formulaciones y resultados del cálculo de la incertidumbre en jornada dominical.

Tabla 17. Comparación entre los valores medidos y los resultados del modelo jornada dominical

Dominical / Escenario	Diurno			Nocturno		
	Modelo [dBA]	Medición [dBA]	Diferencia absoluta [dBA]	Modelo [dBA]	Medición [dBA]	Diferencia absoluta [dBA]
ZEA01EF01	60.89	61.4	0.51	56.34	58.1	1.76
ZEA02EF01	64.9	64.7	0.2	60.6	58.6	2.0
ZEA13EF01	63.88	64.5	0.62	59.07	54.1	4.97
ZEA14EF01	74.2	65.6	8.6	69.4	68.2	1.2

Fuente: Propia (Estudio actual)

Partiendo de estos valores, y con base a las ecuaciones (6), (7) y (8) se obtuvo una **incertidumbre del modelo de ± 1.28 [dB]**, que se representó en un factor de cobertura de $K = 2$ y un nivel de confianza del 95%.

$$K = 2 \quad (15)$$

$$u(M) = 0.64 \text{ dB} \quad (16)$$

$$U_T = 2.46 \text{ dB} \quad (17)$$

$$u_{cT} = 1.23 \text{ dB} \quad (18)$$

$$u(S) = 1.05 \text{ dB} \quad (19)$$

$$U(S) = 2.10 \text{ dB} \quad (20)$$

Adicionalmente, los valores de la Tabla 16 demuestran que existió una correlación lineal muy alta [9] ($R^2 = 0.856$) entre los valores medidos y los del modelo, con lo cual se valida la precisión de los resultados.

La siguiente ilustración demuestra gráficamente el comportamiento obtenido:

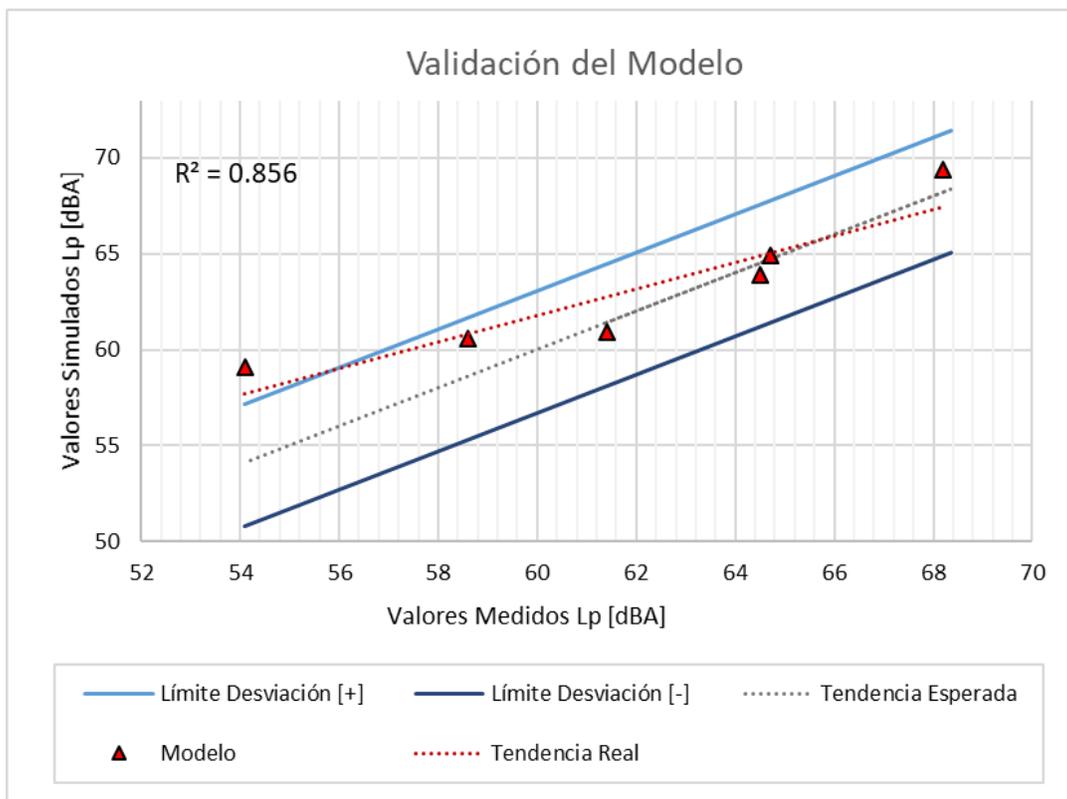


Ilustración 67. Validación del modelo jornada ordinaria

Fuente: Propia (Estudio actual)

10 Línea base para el plan de descontaminación acústica

El plan de descontaminación acústica es una herramienta de gestión que busca mitigar la contaminación acústica originada por los altos niveles de ruido, conservar espacios con buen ambiente y mejorar condiciones acústicas de las edificaciones afectadas por ruido ambiental generados por las diferentes fuentes de emisión de ruido presentes en la ciudad

La ejecución de las medidas contempladas en este plan de acción, es competencia de las autoridades, quienes mediante una evaluación multidisciplinar, deben priorizar su ejecución, valorando la efectividad de las medidas contempladas en planes de acción anteriores, las acciones propuestas en este documento y los resultados del actual mapa de ruido, identificando las condiciones particulares en cada comuna, sus zonas de especial atención (niveles considerables de contaminación acústica), zonas de tranquilidad o zonas de expansión, con el fin de conseguir una mayor efectividad y eficiencia.

A continuación, se describen el tipo de acciones propuestas para desarrollar el plan de descontaminación sonora y conservación de espacios con buen ambiente, en el anexo 6 digital línea base plan de descontaminación de las diferentes comunas, se puede consultar la teoría sobre las acciones propuestas.

Acciones preventivas: son todas aquellas acciones establecidas a eliminar la causa del problema, alguna situación potencialmente indeseable o aquellas acciones que relacionan el diseño o configuración de un nuevo componente emisor o receptor de ruido, o el medio de propagación entre ambos con la función de disminuir el ruido emitido o transmitido y proporcionar la mejor situación acústica posible para reducir la necesidad de añadir posteriormente medidas correctoras. Normalmente se emplean en aspectos esenciales del objeto de diseño como ubicación, trazado, componentes, materiales utilizados, uniones, etc. En la mayoría de las veces no es posible cuantificar su efecto o rentabilidad ambiental, ya que en algunas situaciones resulta difícil hacerlo; básicamente este tipo de acciones se ejecutan porque suponen una mejora cualitativa, tanto a nivel acústico como en otras variables.

Acciones correctivas: una vez que el proceso de planificación o diseño se ha desarrollado y se valida algún tipo de afección, todas aquellas medidas propuestas a eliminarlas son consideradas como acciones correctivas. Estas acciones pueden ser necesarias como consecuencia de no realizar acciones preventivas durante la elaboración del proyecto o del diseño del mismo, o bien por qué no fueron suficientes para impedir que apareciera el problema.

Acciones de seguimiento y control: los trabajos o labores de evaluación, seguimiento y control, así como la aplicación de las medidas técnicas legales que se desarrollen con el fin de reducir o impedir cualquier tipo de contaminación acústica y una posterior afectación a la población, contribuyen a salvaguardar la salud de la comunidad y propiciar un ambiente sano.

En cada uno de los informes realizados por comuna, se encuentran los planes de descontaminación acústica detallados y con sus respectivas acciones para mitigar los altos niveles de ruido evidenciados en toda el área urbana de la ciudad de Santiago de Cali.

11 Consideraciones finales

Respecto a los resultados de la evaluación de ruido ambiental:

Se consideraron como sectores representativos del suelo en la ciudad: Sector A. Tranquilidad y silencio, Sector B. tranquilidad y ruido y Sector C. Ruido intermedio restringido, para comparar los resultados obtenidos con la norma de la Resolución 627 de 2006 del antiguo MAVDT actual MADS, como se describe a continuación:

- El cumplimiento normativo en la ciudad para ruido ambiental en jornada ordinaria arrojó que en horario diurno y nocturno el 23% y el 13% respectivamente de los puntos evaluados, no superan los niveles máximos permitidos por la Res. 627 del 2006.
- El cumplimiento normativo en la ciudad para ruido ambiental en jornada dominical arrojó que en horario diurno y nocturno el 41% y 18% respectivamente de los puntos evaluados, no sobrepasan los niveles máximos permitidos por la Res. 627 del 2006.

Respecto a los mapas acústicos resultantes:

Con los resultados obtenidos de las mediciones se elaboraron las curvas de ruido que revelaron que la fuente predominante de ruido en la ciudad, es el tráfico de vehículos que se movilizan tanto por las vías primarias como secundarias y terciarias. De igual manera, en lo que respecta al tráfico, los conteos y el aforo vehicular realizado, demostraron que posiblemente la mayor fuente de ruido por tráfico sea proveniente de vehículos ligeros; razón por la cual debe tenerse especial atención a los escapes o mofles que han sido alterados en su silenciador o que son modificados mecánicamente con un resonador acústico.

Por otra parte, se destacan los establecimientos comerciales que generan ruido contaminante por el empleo de equipos de sonido a elevado volumen, presentando en su mayoría comportamientos tonales (específicamente en frecuencias superiores de 500 Hz) e impulsivos.

De acuerdo con el %PUAR obtenido, el 84.75% de la población de la ciudad se encuentra expuesta a niveles por encima de 65 dB(A) en jornada ordinaria. Igualmente, en jornada dominical, el 60.66% de los habitantes de la ciudad están expuestos a niveles superiores de 65 dB(A).

Respecto al plan de descontaminación:

El DAGMA como autoridad ambiental en conjunto con autoridades de tránsito (Secretaría de tránsito y transporte de la ciudad de Santiago de Cali), deben primar sus esfuerzos en la reducción de emisión de ruido producida por el tráfico vehicular en las vías aledañas a los sectores residenciales, además, priorizar las medidas que se deben implementar tanto en el horario diurno como nocturno, junto con el fortalecimiento de campañas sobre la sensibilización en el tema de ruido a toda la comunidad (habitantes, propietarios de establecimientos comerciales, conductores, colegios, instituciones entre otros).

Para reducir el impacto de contaminación de ruido por tráfico vehicular, las medidas ingenieriles pueden ir desde el empleo de pantallas acústicas, semicubiertas a lo largo del tramo de las vías de alta densidad de tráfico, hasta mecanismos que aborden la reducción de la propagación del ruido. A continuación, se resumen algunas de las medidas que se podrían emplear para afrontar esta problemática y que se detallaron previamente en este documento (debe tenerse a consideración que, dependiendo la geografía, la organización y la población, algunas pueden resultar más ventajosas que otras):

Informe evaluación de la calidad acústica ambiental. Mapas de ruido 2019 – Santiago de Cali

- Control acústico en los establecimientos comerciales con amplificación de música por medio de la implementación de materiales acústicos aislantes o absorbentes sintonizados a las frecuencias que presentaron componentes tonales fuertes especialmente en frecuencias superiores a 500 Hz.
- Como parte de la responsabilidad social y ambiental de los sectores industriales y próximos a zonas de tranquilidad, silencio y ruido moderado; implementar medidas para controlar y/o mitigar los niveles de emisión de ruido producto de sus actividades.
- Concienciar a los habitantes de la necesidad de lograr una ciudad silenciosa, por medio de campañas de información (posters, folletos, audiovisuales, etc.).
- Organizar el paso vehicular y el sentido de las vías que permitan un mejor flujo vehicular.
- Limitar la velocidad en sectores caracterizados con criticidad alta.
- En las áreas de expansión establecidas por la ciudad, aumentar el distanciamiento entre la traza vehicular y los establecimientos residenciales. Se consiguen reducciones de 3 dB(A) a 6 dB(A) al duplicar la distancia a la fuente de ruido.
- Controlar y vigilar el paso de los vehículos más ruidosos en los sectores más restrictivos por la Resolución 627/2006.
- Realizar mantenimientos preventivos a la malla vial evitando los empedrados irregulares, baches, huecos, etc. El paso por este tipo de calzadas genera gran contenido de ruido impulsivo.
- Cuando sea necesario repavimentar o cuando se vislumbren futuras vías, contemplar materiales menos ruidosos ante la fricción. Utilizar pavimentos más porosos permite reducir la emisión causada por las reflexiones del sonido en la calzada, y los pavimentos drenantes absorbentes, también ofrecen reducción para el considerado ruido de los motores, característico de los núcleos urbanos.

12 Bibliografía

1. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 627 de 2006. República de Colombia. Bogotá, 2006.
2. ISO, «ISO 1996-1:2016 Acústica. Descripción, medición y evaluación del RA. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.,» CTN 74 - ACÚSTICA, 2016.
3. ISO, «ISO 1996-2:2017 Acústica. Descripción, medición y evaluación del RA. Parte 2: Determinación de los niveles de RA.,» CTN 74 - ACÚSTICA, 2017.
4. ISO 9613-1, «Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere,» 1993. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/17426.html>. [Último acceso: 18 septiembre 2017].
5. ISO 9613-2, «Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation,» 1996. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/20649.html>. [Último acceso: 18 septiembre 2017].
6. Grupo de Trabajo 1 del Comité Conjunto de Guías en Metrología JCGM/WG01 , «Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida,» Traducciones del Centro Español de Metrología, España, 2008.
7. R. Payne, «Uncertainties associated with the use of a sound level meter,» NPL Report DQL-AC 002, Teddington, Middlesex, UK, Abril 2004.
8. Pontificia Universidad Javeriana, «Informe final convenio de asociación CVC 130 de 2017,» Cali, 2017
9. M. A. Prieto, «Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido ,,» Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, MADRID, 2009.
10. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Índice de Calidad Ambiental Urbana» Política de Gestión Ambiental Urbana, Bogotá D.C., 2016.
11. European Commission Working Group, «Assessment of exposure to noise. Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on,» Version 2, August 2007.
12. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, «LA OBSERVACIÓN METEOROLÓGICA,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/obsmet2004.pdf>. [Último acceso: 24 10 2017].

Fin del documento

Estos resultados son válidos únicamente para el presente muestreo (los parámetros medidos y analizados), estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente y/o totalmente sin la autorización por escrito de K2 Ingeniería S.A.S.

Esta versión del informe cumple con los requisitos de la propuesta técnica presentada al cliente y las posteriores observaciones recibidas dadas las diferentes revisiones realizadas antes de entregar la versión final.