



Secretaría Distrital de Ambiente

OBJETO CONTRACTUAL: ELABORAR LA ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO DE BOGOTÁ D.C. COMO INSUMO PARA EL DISEÑO DE LA RED DE RUIDO Y PLANES DE DESCONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL DISTRITO

FECHA Y NÚMERO DE CONTRATO: CONTRATO DE CONSULTORÍA N.º. 20161244 DEL 28 DE DICIEMBRE DE 2016.

TÍTULO:
INFORME FINAL: EVALUACIÓN GLOBAL Y MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO AMBIENTAL(MER) EN BOGOTÁ D.C.



K2 INGENIERÍA S.A.S.

BOGOTÁ D.C.
DICIEMBRE DE 2017

INFORME FINAL

PROPUESTA TÉCNICA No. 870132-SDA-MAPAS-2016

El presente informe entrega el resultado global de Ruido Ambiental en Bogotá D.C. junto con la línea base para el plan de descontaminación de la capital, que incluye la delimitación de ocho (8) zonas críticas dentro de la ciudad, los mapas de ruido de diecinueve (19) localidades y el valor estimado del porcentaje de población urbana expuesta al ruido %PUAR como insumo para el cálculo del ICAU (Índice de Calidad Ambiental Urbana) de la ciudad.

Todo lo anterior en marco del proyecto realizado por la división de Ingeniería de la empresa K2 Ingeniería S.A.S. con N.I.T. 804.007.055-3 ubicada en la Carrera 36 Numero 36 – 28 Barrio el Prado en la ciudad de Bucaramanga, acreditada ante el IDEAM mediante la resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 producto de la renovación y extensión de la resolución de acreditación 0031 del 21 de enero de 2013.

	Nombre	Cargo	Firma
Proyectó	Juliette Olivella López	Ingeniero Consultor	
Revisó	Jesualdo José Castro Dávila	Coordinador de Proyectos	
Revisó	Luis Manuel Barco Rincón	Coordinador de Proyectos	
Revisó	Henry Castro Ortiz	Director Gral. de Proyectos	
Aprobó	Manuel Amaya Martínez	Director de Proyecto SDA	



DIVISIÓN Ingeniería
Consultoría e Innovación



Este reporte ha sido preparado por K2 INGENIERÍA S.A.S con un conocimiento razonable, y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con el cliente.

Este informe es confidencial al cliente, no se acepta cualquier responsabilidad en absoluto, si otros tienen acceso a parte o a la totalidad del informe.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN DEL PROYECTO.....	10
2	LISTADO DE ABREVIATURAS.....	11
3	INTRODUCCIÓN.....	13
4	OBJETIVOS.....	14
4.1	OBJETIVO GENERAL	14
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4.3	ALCANCE	14
5	ANTECEDENTES.....	15
6	GENERALIDADES	16
6.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
6.2	NORMATIVA APLICABLE	19
6.2.1	NORMATIVA NACIONAL	19
6.2.2	NORMATIVA INTERNACIONAL UNE ISO 1996.....	21
6.2.3	NORMATIVA INTERNACIONAL ISO 9613	22
6.3	ACREDITACIONES	22
6.4	DEFINICIONES.....	22
7	METODOLOGÍA.....	23
7.1	ACTIVIDADES DE MEDICIÓN E INVENTARIO DE FUENTES.....	23
7.2	RUIDO AMBIENTAL	24
7.2.1	MUESTREO TEMPORAL.....	24
7.2.2	MUESTREO ESPACIAL.....	24
7.3	RUIDO DE EMISION.....	25
7.4	PARÁMETROS DE MEDICIÓN	25
7.5	PUNTOS DE MEDICIÓN	26
7.6	FECHAS DE LAS MEDICIONES	27
7.7	DATOS DE ENTRADA AL MODELO	27
7.8	TEST DE TRÁFICO	27
7.9	REQUERIMIENTO TÉCNICO.....	27
7.10	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	28
7.10.1	CÁLCULO DE LA EMISIÓN O APOORTE DE RUIDO	28
7.10.2	CÁLCULO DEL % PUAR (POBLACIÓN URBANA EXPUESTA AL RUIDO). 29	
7.11	CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	31
8	MODELACIÓN.....	33
8.1	ENFOQUE	33
8.1.1	ESTÁNDARES UTILIZADOS	33
8.1.2	INFORMACIÓN DE ENTRADA	34
8.2	PARÁMETROS GENERALES DE PREDICCIÓN	34

8.2.1	IDEALIZACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO	35
8.2.2	ALGEBRA DE CAPAS DE RUIDO	39
8.3	DATOS DE ENTRADA AL MODELO	40
8.3.1	DOMINIO DE ESTUDIO	40
8.3.2	MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	40
8.3.3	FUENTES	41
8.3.4	OBSTÁCULOS	42
8.4	NIVELES DE POTENCIA ACÚSTICA	42
9	MAPAS ACÚSTICOS	45
9.1	MAPAS TOTALES BOGOTÁ D.C (MER CAPITAL)	45
9.1.1	MAPA TOTAL BOGOTÁ EN JORNADA ORDINARIA	46
9.1.2	MAPA TOTAL BOGOTÁ EN JORNADA DOMINICAL	49
9.2	NIVEL EQUIVALENTE DÍA/NOCHE	52
9.3	CONTRIBUCIONES DEL TRÁFICO VEHICULAR	54
9.3.1	APORTES DE TRÁFICO EN JORNADA ORDINARIA	55
9.3.2	APORTES DE TRÁFICO EN JORNADA DOMINICAL	57
9.4	CONTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO TRANSMILENIO	59
9.4.1	APORTES TRANSMILENIO EN JORNADA ORDINARIA	59
9.4.2	APORTES TRANSMILENIO EN JORNADA DOMINICAL	61
9.5	CONTRIBUCIÓN DE FUENTES FIJAS	63
9.5.1	APORTES POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL	64
9.5.2	APORTES POR ACTIVIDAD COMERCIAL	69
9.5.3	APORTES POR ACTIVIDAD DE SERVICIOS	74
9.6	HUELLA ACÚSTICA AERÓDROMO	79
9.6.1	APORTES AERÓDROMO EN JORNADA ORDINARIA	80
9.6.2	APORTES AERÓDROMO EN JORNADA DOMINICAL	82
9.7	CONTRIBUCIONES DE EVENTOS MASIVOS	84
10	ANÁLISIS DEL CONTEXTO ACÚSTICO	86
10.1	% POBLACIÓN URBANA EXPUESTA AL RUIDO (% PUAR)	86
10.2	CLIMA DE RUIDO	91
10.3	RELACIÓN DOSIS/RESPUESTA AL RUIDO	95
10.4	CORRELACIÓN DE QUEJAS	102
10.5	CONFLICTO DE USO DEL SUELO	107
10.6	DETERMINACIÓN DE PRIORITARIOS	112
11	ESTÁNDARES DE DISEÑO A LA RED DE RUIDO	117
11.1	DETERMINACIÓN DE PUNTOS	119
11.2	CARACTERÍSTICAS EN LOS PUNTOS DE MEDIDA	119
12	LÍNEA BASE PARA EL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ACÚSTICA ...	122

12.1	DESCRIPCIÓN DE ACCIONES SUGERIDAS	122
12.1.1	ACCIONES PREVENTIVAS.....	122
12.1.2	ACCIONES CORRECTIVAS.....	123
12.1.3	ACCIONES DE SEGUIMIENTO Y CONTROL.....	123
12.2	PLAN DE DESCONTAMINACIÓN.....	123
13	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN.....	138
14	INCERTIDUMBRE DEL MODELO	142
15	RECOMENDACIONES GENERALES.....	145
16	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
17	ANEXOS	154

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Zonas críticas evaluadas.....	17
Tabla 2. Horarios establecidos por la Resolución 0627 de 2006.....	19
Tabla 3. Estándares máximos permisibles para Ruido Ambiental.....	20
Tabla 4 Escalas de precipitación.....	31
Tabla 5 Escala de velocidad del viento - Beaufort.....	31
Tabla 6. Coeficiente de absorción por bandas de Octava.....	35
Tabla 7. Inventario de Fuentes.....	44
Tabla 8. Conteo de fuentes fijas.....	63
Tabla 9. Conteo de fuentes fijas de actividad comercial	63
Tabla 10. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad industrial.....	64
Tabla 11. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad comercial.....	69
Tabla 12. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad industrial.....	74
Tabla 13. % PUAR (ORD.) por localidad con totalidad de cobertura geográfica....	87
Tabla 14. % PUAR (DOM.) por localidad con totalidad de cobertura geográfica. ..	87
Tabla 15. % PUAR (ORD.) por ZEA.	90
Tabla 16. %PUAR (DOM.) por ZEA.	90
Tabla 17. Jerarquía clima de ruido horario diurno	92
Tabla 18. Jerarquía Clima de Ruido Nocturno	92
Tabla 19. Jerarquía Dosis/Respuesta al ruido (Ordinario)	98
Tabla 20. Jerarquía Dosis/Respuesta al ruido (Dominical)	98
Tabla 21. Priorización de ZEA por PQR.....	107
Tabla 22. Jerarquía de ZEA por perspectiva de análisis	112
Tabla 23. Jerarquía resaltada por perspectiva de análisis	113
Tabla 24. Resultados de priorización en la matriz.....	116
Tabla 25. Resultados de Incertidumbre Típica Combinada por cada ZEA.....	141

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Bogotá D.C	16
Ilustración 2. Relación gráfica de las diecinueve (19) localidades de alcance.	18
Ilustración 3. Metodología general del proyecto	23
Ilustración 4. Georreferencia de puntos de monitoreo de ruido ambiental	26
Ilustración 5. Información sobre licencia del software de simulación de ruido	33
Ilustración 6. Ejemplo, superposición de curvas de niveles	35
Ilustración 7. Construcciones sin simplificar	36
Ilustración 8. Construcciones simplificadas	37
Ilustración 9. Superposición de la malla vial con edificaciones	37
Ilustración 10. Cuerpos hídricos como vías	38
Ilustración 11. Cuerpos hídricos como vías	38
Ilustración 12. Cuerpos hídricos como vías	39
Ilustración 13. Modelo digital del terreno del modelo de cálculo (ArcScene)	40
Ilustración 14. Modelo digital del terreno ingresado en el motor de cálculo	40
Ilustración 15. Malla vial ingresada al modelo.	41
Ilustración 16. Información tabular de la malla vial en modelo de cálculo.	41
Ilustración 17. Sección con edificaciones dentro del modelo del cálculo	42
Ilustración 18. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Comercial/Bares	43
Ilustración 19. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Industrial/Fábricas	43
Ilustración 20. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Servicios/Iglesias	43
Ilustración 21. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinaria Diurna [$LRAeq, D$]	46
Ilustración 22. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinaria Nocturna [$LRAeq, N$]	48
Ilustración 23. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical Diurna [$LRAeq, D$]	49
Ilustración 24. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical Nocturna [$LRAeq, N$]	51
Ilustración 25. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinario 24h [$LRAeq, DN$]	52
Ilustración 26. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical 24h [$LRAeq, DN$]	53
Ilustración 27. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Ord. Diurno)	55
Ilustración 28. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Ord. Nocturno)	56
Ilustración 29. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Dom. Diurno)	57
Ilustración 30. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Dom. Nocturno)	58
Ilustración 31. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Ord. Diurno)	59
Ilustración 32. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Ord. Nocturno)	60
Ilustración 33. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Dom. Diurno)	61
Ilustración 34. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Dom. Nocturno)	62
Ilustración 35. Mapa de Ruido por fuentes industriales en ZEA (Ord. Diurno)	65
Ilustración 36. Mapa de Ruido por fuentes Industrial en ZEA (Ord. Nocturno)	66
Ilustración 37. Mapa de Ruido por fuentes Industriales en ZEA (Dom. Diurno)	67
Ilustración 38. Mapa de Ruido por fuentes Industriales en ZEA (Dom. Nocturno) ..	68
Ilustración 39. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Ord. Diurno)	70
Ilustración 40. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Ord. Nocturno) .	71
Ilustración 41. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Dom. Diurno)	72
Ilustración 42. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Dom. Nocturno) ..	73
Ilustración 43. Mapa de Ruido por fuentes servicios en ZEA (Ord. Diurno)	75

Ilustración 44. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Ord. Nocturno).....	76
Ilustración 45. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Dom. Diurno)	77
Ilustración 46. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Dom. Nocturno)	78
Ilustración 47. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Ord. Diurno)	80
Ilustración 48. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Ord. Nocturno)	81
Ilustración 49. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Dom. Diurno)	82
Ilustración 50. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Dom. Nocturno) ...	83
Ilustración 51. Aportes Rock Al Parque 2017 nivel de ruido L_{dn} [dBA]	85
Ilustración 52. Top 8 de % PUAR en Jornada Ordinaria	88
Ilustración 53. Top 8 de % PUAR en Jornada Dominical	88
Ilustración 54. Clima de Ruido en ZEA / Jornada Diurna	93
Ilustración 55. Clima de Ruido en puntos ZEA / Jornada Nocturna.....	94
Ilustración 56. Representación Dosis/Respuesta Ordinario	96
Ilustración 57. Representación Dosis/Respuesta Dominical	97
Ilustración 58. Mapa Dosis/Respuesta al Ruido (Ord.).....	100
Ilustración 59. Mapa Dosis/Respuesta al Ruido (Dom.)	101
Ilustración 60. Georreferenciación de Quejas	102
Ilustración 61. Georreferenciación de Quejas a campo total en leyenda	103
Ilustración 62. Agrupación de Quejas por Polígonos.....	104
Ilustración 63. Georreferenciación de quejas atendidas por la SDA	106
Ilustración 64. Conflicto de Uso de Suelo Ord. Diurno	108
Ilustración 65. Conflicto de Uso de Suelo Ord. Nocturno	109
Ilustración 66. Conflicto de Uso de Suelo Dom. Diurno.....	110
Ilustración 67. Conflicto de Uso de Suelo Dom. Nocturno.....	111
Ilustración 68. Peso porcentual de cada perspectiva dentro de la matriz.....	114
Ilustración 69. Ejemplo de Puntos propuestos	117
Ilustración 70 Ejemplo de características para puntos de monitoreo	120
Ilustración 71. Esquema base de una red automática de monitoreo de ruido	121
Ilustración 72. Ejemplo de encapsulado	125
Ilustración 73. Ejemplo Silenciador acústico	126
Ilustración 74. Validación del modelo	144

LISTA DE ANEXOS

Anexo Digital 1	Actas de Reuniones
Anexo Digital 2	Fichas técnicas para las 20 ZEA
Anexo Digital 3	Formatos de campo estaciones de monitoreo
Anexo Digital 4	Georreferenciación de puntos (.kml)
Anexo Digital 5	Datos Medidos y relación fechas/horas de mediciones
Anexo Digital 6	Inventario de Fuentes
Anexo Digital 7	Registro fotográfico
Anexo Digital 8	Descripción de equipos y certificados de calibración
Anexo Digital 9	Estudio Especial Rock Al Parque 2017
Anexo Digital 10	Informe del Test a Tráfico Rodado
Anexo Digital 11	Informe de Datos de Entrada al modelo
Anexo Digital 12	Resultados de Condiciones Meteorológicas
Anexo Digital 13	Carpeta SIG.
Anexo Digital 14	Ejecutable de modelación
Anexo Digital 15	Reportes Técnicos por Localidad
Anexo Digital 16	Evaluación de Ruido Ambiental Bajo Res. 627 de 2006
Anexo Digital 17	Matriz de cálculo para priorización de ZEA
Anexo Digital 18	Resolución IDEAM 2016 y extensión 2017
Anexo Digital 19	Presentación Firma Consultora K2 INGENIERÍA (En informe)

1 RESUMEN DEL PROYECTO

En concordancia con la obligación de la Secretaría Distrital de Ambiente como autoridad ambiental de la ciudad de Bogotá D.C. para elaborar los planes de descontaminación con base a los mapas de ruido (Art. 22 Res. 0627 de 2006 [1]) y ante la desactualización de cartografía ambiental en material de ruido de la ciudad, fue celebrado el contrato de consultoría No. 20161244 entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la firma consultora K2 INGENIERIA S.A.S

Este proyecto de consultoría fue enmarcado en el programa “Ambiente Sano para la Equidad y Disfrute del Ciudadano” del Plan de Desarrollo “Bogotá Mejor Para Todos” (2016-2020), buscando ejecutar planes de descontaminación en ocho (8) zonas críticas de la ciudad, con el propósito de reducir el nivel de presión sonora promedio anual día-noche en al menos un 5%, así como, implementar al 100% la red de monitoreo de ruido de la ciudad.

La firma consultora elaboró la actualización de los Mapas Estratégicos de Ruido-MER- de Bogotá D.C. como insumo en el diseño de la mencionada red de ruido y de los planes de descontaminación. Los mapas fueron acotados a las diecinueve (19) localidades del área urbana distrital (excluyendo Sumapaz), evaluando el impacto de los diversos focos de ruido relevantes en la capital.

El desarrollo del mismo fue llevado a cabo durante doce (12) meses contados a partir del 19 de enero de 2017, fecha en la cual fue firmada el acta de inicio, y estuvo supervisado por la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente, ejecutando el consultor sus obligaciones conforme a lo establecido en el manual de contratación (Resolución 3167 de 2015) y manual de supervisión e interventoría de la Secretaría (Resolución 950 de 2016).

En el transcurso del proyecto, fueron entregados dos informes de avance al objeto final, el primero de ellos reportando la finalización de las mediciones, y el segundo detallando las salidas gráficas junto con el PUAR de diez (10) localidades, incluyendo también los respectivos reportes de seguimiento semanal y el plan para la Dirección del proyecto adjudicada en los primeros meses tras el inicio del contrato.

El presente documento constituye el informe final del proyecto y acota la finalización del mismo.

2 LISTADO DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA O SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
<i>dB</i>	Decibelio o Decibel
DOM.	Abreviación para referir a la jornada dominical de medición
ER	Emisión de Ruido
Frec.	Frecuencia
<i>HA</i>	Función Dosis-Respuesta al Ruido
<i>Hz</i>	Hercio o Hertz
ICAU	Índice De Calidad Ambiental Urbana
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDECA	Infraestructura Integrada de Datos Espaciales del Distrito Capital
<i>L10</i>	Percentil 10 de Ruido. Nivel de Ruido sobrepasado en el 10% de la vez
<i>L90</i>	Percentil 90 de Ruido. Nivel de Ruido sobrepasado en el 90% de la vez
<i>LAE</i> o <i>SEL</i>	Nivel de exposición sonora ponderado A
<i>Leq</i>	Nivel de presión sonora continuo equivalente
<i>Lleq</i>	Nivel Equivalente con ponderación temporal <i>Impulse</i>
<i>LAeq, D</i>	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] para la jornada Diurna
<i>LAeq, N</i>	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] para la jornada Nocturna
<i>LAeq, T</i>	Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación frecuencial [A] muestreado durante un tiempo <i>T</i> definido.
<i>LAFmax</i>	Nivel máximo de Presión Sonora con ponderación frecuencial [A] y promediado exponencial <i>Fast</i>
<i>LAFNT</i>	Nivel percentil <i>N</i> con ponderación frecuencial [A] y promediado exponencial <i>Fast</i>
<i>LCpeak</i>	Nivel Pico de presión sonora con ponderación frecuencial [C]
<i>Ldn</i> o <i>LAeq, DN</i>	Nivel de presión sonora Continuo Equivalente con ponderación frecuencial [A] de 24 horas (Día/Noche)
<i>Lmax</i>	Nivel máximo de presión sonora
<i>Lmin</i>	Nivel mínimo de presión sonora
<i>LpAF</i>	Nivel de Presión Sonora con ponderación frecuencial [A]. y promediado exponencial <i>Fast</i>
<i>LRE</i>	Nivel de exposición sonora corregido
<i>LRAeq, D</i>	Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado [A] Diurno, corregido por tonos e impulsos. Se corresponde con el Nivel de Evaluación Normativo
<i>LRAeq, N</i>	Nivel de presión sonora continuo Equivalente ponderado [A] Nocturno, corregido por tonos e impulsos. Se corresponde con el Nivel de Evaluación Normativo
<i>m. s. n. m</i>	Metros Sobre El Nivel Del Mar
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

ABREVIATURA O SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
MER	Mapa Estratégico de Ruido
OMS	Organización Mundial de la Salud
ORD.	Abreviación para referir a la jornada ordinaria de medición (L-S)
PDR	Plan de Descontaminación de Ruido
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
<i>PUAR</i>	Población Urbana Expuesta al Ruido por encima del nivel de referencia
RA	Ruido Ambiental
RAP	Rock al Parque
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SIG/GIS	Sistema de Información Geográfica
UPZ	Unidades de Planeamiento Zonal
ZEA	Zona de Especial Atención
$\Delta Noise$	Clima de Ruido. Relación $L_{10} - L_{90}$
α	Alpha. Coeficiente de Absorción sonora

DECLARACIÓN DE SIMBOLOS 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 software SIG empleados están referenciados a territorios americanos.

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

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

3 INTRODUCCIÓN

La Secretaría Distrital del Ambiente (SDA) es el organismo del Distrito Capital con la función de velar, como autoridad ambiental, para que el proceso de desarrollo económico y social del Distrito se oriente según mandato constitucional, en procura de un desarrollo sostenible para la recuperación, protección y conservación del ambiente, en función y al servicio del ser humano, principio fundamental para garantizar la calidad de vida de los habitantes.

Al constituirse el ruido como un contaminante que genera molestias que requieren de una evaluación técnica/objetiva, y dadas las necesidades de la comunidad, la SDA ha demostrado su interés en la problemática dando cumplimiento a las responsabilidades socioambientales para actualizar la cartografía acústica de todo el Distrito como insumo hacia la categorización de zonas críticas que harán parte del proceso de evaluación, control y de ruido.

En marco de lo anterior, y bajo el Contrato de Consultoría No. 20161244, cuyo objeto contractual: “ELABORAR LA ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO DE BOGOTÁ D.C. COMO INSUMO PARA EL DISEÑO DE LA RED DE RUIDO Y PLANES DE DESCONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL DISTRITO.” según la propuesta técnica No. 870132-SDA-MAPAS-2016, se presenta el informe final de consultoría que incluye los resultados de la evaluación global de ruido ambiental en Bogotá D.C., junto con la línea base para el plan de descontaminación con detección de ocho (8) Zonas de Especial Atención (ZEA), mapas de ruido para diecinueve (19) localidades y el valor estimado del porcentaje de población urbana expuesta al ruido %PUAR.

La consultoría inició el 28 de diciembre de 2016, y a partir de tal fecha fueron desarrolladas actividades de planificación, ejecución (que incluyeron el monitoreo, la toma de muestras de niveles de presión sonora y los inventarios de fuentes fijas en las veinte (20) zonas de especial atención descritas en la cláusula séptima numeral tres (3) del contrato 20161244), seguimiento (por los que fueron entregados dos informes parciales) y el cierre (donde se presenta el análisis final y la evaluación global del objeto contractual).

Adicionalmente, todas las actividades de “Ejecución”, se articularon en conformidad con la Resolución 0627 de abril de 2006 [1] expedida por el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma internacional UNE-ISO 1996:2005-2009 (Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental -- Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación [2] – Parte 2: Determinación de los niveles de Ruido Ambiental) [3].

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar el Mapa Estratégico de Ruido (MER) de la ciudad de Bogotá D.C., en conformidad con las obligaciones específicas al contratista numerales uno (1) y cuatro (4) literal (e) del contrato N.º 20161244 del 28 de diciembre de 2016.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Exponer los mapas de contribución por fuentes (tráfico vehicular, sistema de transporte masivo Transmilenio y fuentes fijas) en intervalos de 5 [dBA] para la ciudad de Bogotá D.C., incluyendo la documentación para las diecinueve (19) localidades urbanas.
- Reportar en detalle el procedimiento de cálculo y valor estimado del porcentaje de población urbana expuesta al ruido %PUAR como insumo para el cálculo del Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU) de la ciudad
- Presentar la línea base para el plan de descontaminación de la ciudad, detectando ocho (8) zonas críticas, correlacionadas con el promedio de quejas recepcionadas por la Secretaría Distrital de Ambiente en los últimos dos años (2016-2017).
- Sugerir el diseño y plan estratégico para el desarrollo de la red de ruido urbana.

4.3 ALCANCE

El presente informe reporta la finalización del contrato de consultoría No 20161244 dando conformidad a la totalidad de las Obligaciones Generales y Específicas del Contratista cláusulas sexta y séptima del precitado contrato.

5 ANTECEDENTES

La Secretaría Distrital de Ambiente es la Autoridad promueve, orienta y regula la sostenibilidad ambiental de Bogotá; controlando los factores de deterioro ambiental y promoviendo las buenas prácticas ambientales, como garantía presente y futura del bienestar y calidad de vida de la población urbana y rural y como requisito indispensable para la recuperación, conservación y uso de bienes y servicios ecosistémicos y valores de biodiversidad.

En este sentido y con base en su estructura organizacional, desde la Subdirección de Calidad de Aire, Auditiva y Visual se ha identificado la necesidad específica de actualizar la cartografía acústica de todo el distrito como uno de los insumos para avanzar con el cumplimiento de la meta denominada “Generar información y conocimiento sobre el estado de los recursos Hídrico, Aire, Ruido y calidad a los ciudadanos del D.C.”.

Con los resultados de estudios anteriores se ha descrito el fenómeno de la contaminación por ruido para la ciudad capital. La última contratación, previa a la que compete a este proyecto, realizada por la SDA para la elaboración de los mapas digitales de ruido ambiental de las localidades de Bogotá, fue realizada por la Universidad Francisco José de Caldas entre los años 2010 y 2011. Diferentes trabajos a nivel nacional han evidenciado un incremento en los niveles de contaminación por ruido que ubica a este factor en una posición de prioridad a la hora de plantear acciones que permitan garantizar un ambiente sano.

La normatividad vigente respecto al tema de ruido en el país es la Resolución 0627 de 2006 [1] expedida por el entonces MAVDT, hoy MADS; para el proceso del cual se originó el presente contrato de consultoría, le corresponde a la SDA atender los compromisos específicos descritos en los artículos 14, 22, 23 y 25 de la citada norma como autoridad ambiental del Distrito Capital que responde ante el Ministerio. Cuando se busca ser efectivos en las acciones de control que son facultad de la autoridad ambiental y se requiere obtener una clara reducción de los impactos negativos que se buscan atacar con esas medidas, para el tema de ruido resulta un requisito indispensable contar con información actualizada y completa para las 19 localidades del área urbana de la ciudad.

La presente consultoría es punto de partida para que la SDA logre ir un paso más allá de lo que normalmente se obtiene al realizar un mapa de ruido, específicamente este proyecto permitirá el diseño del sistema de vigilancia de ruido en tiempo real, contando con la georreferenciación y el sistema de información geográfico como insumo básico para el visor ambiental, y finalmente concientizar y sensibilizar a las alcaldías locales para llevar a cabo una gestión efectiva de la contaminación acústica (reducción de ruido en la fuente, planeación adecuada del uso del suelo, diseño y aplicación de sistemas de control en ruido y restricciones a las fuentes generales de ruido).

Es decir que, de todas las localidades de la ciudad de Bogotá, las mediciones por ZEA se concentraron en ocho (8) localidades que representan tales áreas críticas, no obstante, las salidas gráficas del MER en estudio abarcaron diecinueve (19) localidades de las veinte (20) de la capital (Excluida Sumapaz).

Tabla 1. Zonas críticas evaluadas

LOCALIDAD	ÁREA CRÍTICA DE CONTAMINACIÓN SONORA (DEFINIDA POR CUADRANTES)
Chapinero	ZEA 1: Parque de la 93 (Carrera 11 a la Carrera 15, entre Calle 92 y Calle 94)
Chapinero	ZEA 2: Zona Rosa (Carrera 11 a la Carrera 14, entre Calle 79 y Calle 91)
Santa Fe	ZEA 3: Corredor peatonal (Carrera 7 entre calles 24 y 11.)
Puente Aranda	ZEA 4: Ciudad Montes y Santa Matilde (Calle 8 Sur, entre Avenida NQS - Carrera 30 y Carrera 50.)
Fontibón	ZEA 5: Fontibón Centro (Corredor de la Carrera 100, Entre Avenida de la Esperanza - Calle 24 y Calle 17)
Fontibón	ZEA 6: Modelia (Nueva Zona) Fontibón Carrera 80C y 75 entre Calles 24C y 24D.
Antonio Nariño	ZEA 7: Restrepo (Calle 15 Sur a la Avenida Primero de Mayo - Calle 22 Sur, entre Avenida Caracas - Carrera 14 y Carrera 21)
Chapinero	ZEA 8: Zona Universitaria (Carrera 7 a la Carrera 13, Entre Calle 40 y Calle 51)
Engativá	ZEA 9: Álamos Norte (Corredor de la Calle 72 entre Carrera 96 y Carrera 101)
Engativá	ZEA 10: Minuto de Dios (Corredor de la Transversal 76, entre Calle 80 y Calle 82)
Kennedy	ZEA 11: Patio Bonito (Corredor de la Calle 38 Sur, entre Av. Ciudad de Cali - Carrera 86 y Carrera 89)
Kennedy	ZEA 12: Provivienda - Carvajal I Sector (Av. Primero de Mayo - Calle 26 Sur a la Calle 39 Sur, entre Avenida Boyacá - Carrera 72 y Carrera 68L)
Engativá	ZEA 13: Villaluz (Corredor de la Carrera 77A, entre Calle 72 y Calle 63)
Engativá	ZEA 14: Normandía (Corredor de la Calle 53 entre Carrera 70 y Avenida Boyacá - Carrera 72)
Kennedy	ZEA 15: Castilla (Corredor de la carrera 78, entre Calle 7ABisC y Calle 8.)
Suba	ZEA 16: Suba Lombardía (Carrera 105C-Cra 107 / Calle 142-Calle145)
Teusaquillo	ZEA 17: Galerías (Carrera 30-Cra 32 / Calle 51-Calle53B)
Kennedy	ZEA 18: Provivienda Occidental - Carvajal II Sector (Av. Primero de Mayo - Calle 26 Sur a la calle 38 Sur, entre Av. Boyacá Carrera 72 y Carrera 73)
Kennedy	ZEA 19: Hipotecho Occidental (Carrera 71D, entre Calle 5 sur y Calle 3)
Kennedy	ZEA 20: Provivienda Oriental (Corredor de la Av. Primero de Mayo, entre Carrera 68F y la Carrera 71D.)

Fuente: Adaptado del contrato de consultoría N.º 20161244.

En cumplimiento a la obligación específica No. 3, se reportó en el primer informe parcial la finalización de la fase de caracterizaron de las veinte (20) zonas que se observan en la Tabla 1.

Durante visitas preliminares realizadas a las veinte (20) zonas detalladas en el contrato, Modelia (Antigua), Kennedy Central y Marsella, se consideraron poco

representativas y críticas, por lo que mediante actas No. 003 del 9 de marzo, No. 007 del 17 de mayo y No. 008 del 24 de mayo se cambiaron respectivamente las zonas en concordancia con el supervisor del contrato. En el Anexo Digital 1 se adjuntan la totalidad de las actas de reuniones realizadas en el presente proyecto, incluyendo el acta de inicio con fecha de 23/01/2017, el acta N.º1 del 15/02/2017, y las restantes de la N.º2 hasta la N.º29 del 14/12/2017, en todas estas, se ratifican los cambios expuestos en el transcurso del estudio siguiendo las indicaciones de la supervisión, tal como se encuentra establecido en la obligación específica No. 16 del contrato.

Teniendo en cuenta el alcance contractual, en la siguiente ilustración, se relacionan las diecinueve (19) localidades sobre las cuales se muestran las salidas gráficas del MER que competen a los objetivos del presente informe.

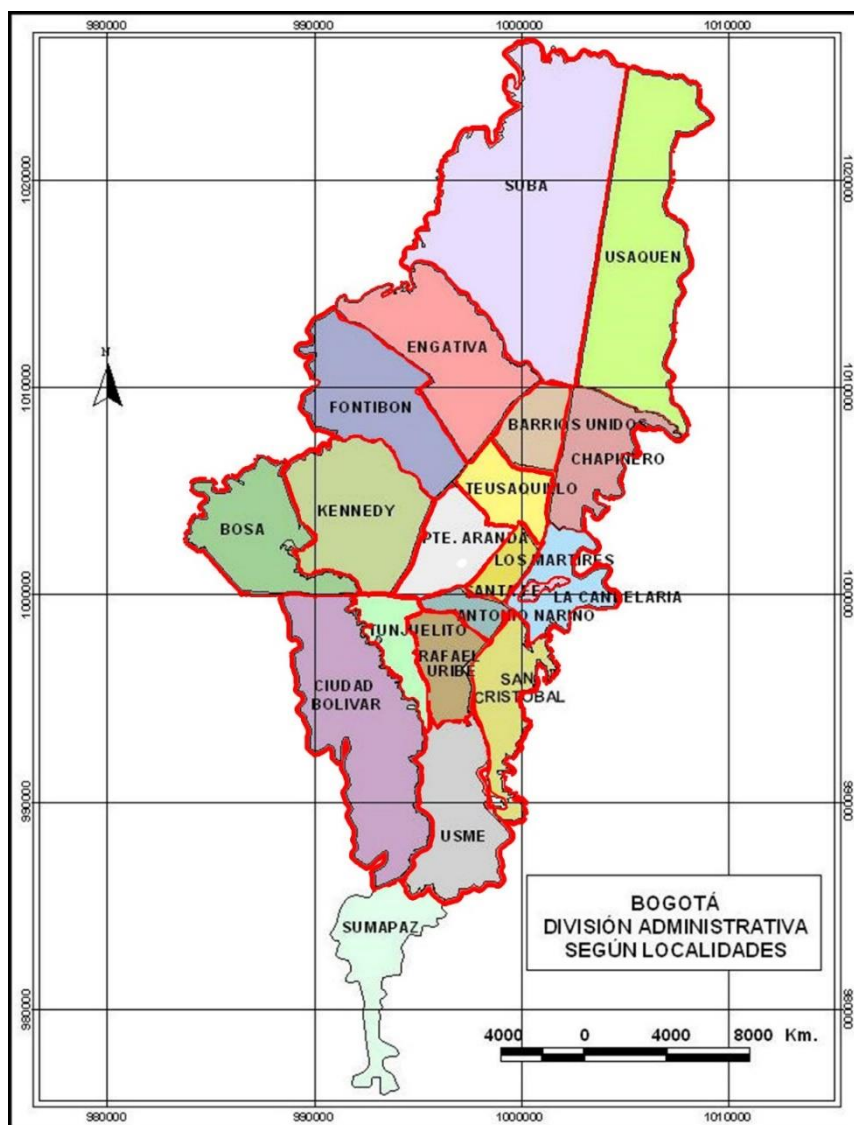


Ilustración 2. Relación gráfica de las diecinueve (19) localidades de alcance.

Fuente: Modificado "Mapas Localidad" [5]

En el Anexo Digital 4, se presentan 3 archivos en formato *.KML que contienen el perímetro de las ZEA, la ubicación de los puntos de muestreo espacial y la ubicación de los puntos de muestreo temporal en cada una de las mismas. El detalle de estos tipos de monitoreos es explicado más adelante (véase 7.2).

6.2 NORMATIVA APLICABLE

6.2.1 NORMATIVA NACIONAL

- Resolución 0627 de 2006 del MADS

La Resolución 0627 de 2006 [1] expedida por el actual MADS es la normativa ambiental vigente en Colombia en material de ruido, mediante la cual se establecieron los estándares máximos permisibles de ruido ambiental (ruido total en la zona debido a las fuentes presentes) y emisión de ruido (ruido generado específicamente por una fuente objeto) diferenciados por uso de suelo y horario de medición.

El horario Diurno y Nocturno es definido por la resolución como:

Tabla 2. Horarios establecidos por la Resolución 0627 de 2006

TIPO DE HORARIO	HORA DE INICIO	HORA FINAL
Diurno	7:01	21:00
Nocturno	21:01	7:00

Fuente: Resolución 0627 de 2006 del MAVDT [1]

Para el desarrollo del MER en mención, 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

Que a su vez, se relacionan con los subsectores y los estándares máximos tal como se muestra en la siguiente tabla y el Artículo 17 del Capítulo III de la resolución [1]:

Tabla 3. Estándares máximos permisibles para Ruido Ambiental

SECTOR	SUBSECTOR	ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTAL [dBA]	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Artículo 17, tabla 2 de la Resolución 0627 de 2006 del MAVDT [1]

Partiendo de lo anterior, se aclara que en este informe se emplean las palabras “Sector” y/o “subsector” para relacionar cada una de las clasificaciones demarcadas por la normativa, que a su vez están ligadas a actividades económicas como comercio, industria y servicios.

- Otras Normas Colombianas cercanas al Ciudadano

Si bien la Resolución 0627 de 2006 [1] cita estándares para el ruido en espacio público, hay otras normas y legislaciones colombianas que hacen referencia al tema:

A. Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 1383 de 2010)

Hace énfasis en dispositivos ruidosos permitidos y no permitidos de acuerdo con el tipo de vehículo, su estado general y la conducta de los conductores en aras de prevenir la contaminación acústica.

B. Código Nacional de Policía y Convivencia (Ley 1801 de 2016)

Hace énfasis en comportamientos que afectan la tranquilidad y relaciones respetuosas de las personas, perímetro de impacto de la actividad económica, comportamientos relacionados con la seguridad y tranquilidad que afectan la actividad económica.

6.2.2 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 UNE ISO 1996 – 1:2005 [2] e UNE ISO 1996 – 2:2009 [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 0627/06 [6]).

6.2.3 NORMATIVA INTERNACIONAL ISO 9613

Esta referencia normativa (ISO 9613-1:1993 [7] / ISO 9613-2:1996 [8]) 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 Bogotá, 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

6.3 ACREDITACIONES

Para la ejecución del actual proyecto la firma consultora K2 Ingeniería S.A.S. contó con la acreditación que demostraba su competencia técnica y de gestión.

K2 presentó en noviembre del año 2016 la metodología de Ruido Ambiental bajo norma internacional UNE-ISO 1996:2005-2009 [2] [3] para acreditación ante el IDEAM, y recibió el aval con la resolución 1313 del 16 de junio de 2017. En el Anexo Digital 18 se adjunta la acreditación vigente (resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 producto de la renovación y la respectiva extensión del alcance de la resolución de acreditación).

6.4 DEFINICIONES

Para efectos de la correcta aplicación del presente informe, se adoptan las definiciones contenidas en el Anexo 1 de la Res. 0627/06 [1] y el glosario publicado en la UNE ISO 1996 [2] [3].

7 METODOLOGÍA

La ejecución del proyecto de actualización de los MER de Bogotá llevada a cabo por K2 Ingeniería se enmarcó en los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®).

El horizonte y calendario del proyecto fue seguido bajo un Acta de Inicio firmada con fecha del 23 de enero de 2017 y culminado con Fecha del 23 de enero de 2018.

La metodología seguida en todo el estudio fue presentada y detallada en los informes “Plan para la Dirección del Proyecto” y “Primer informe parcial Metodología aplicada y finalización de la etapa de medición en 20 zonas de especial atención”, detalle que puede ser representado sucintamente bajo el siguiente diagrama:

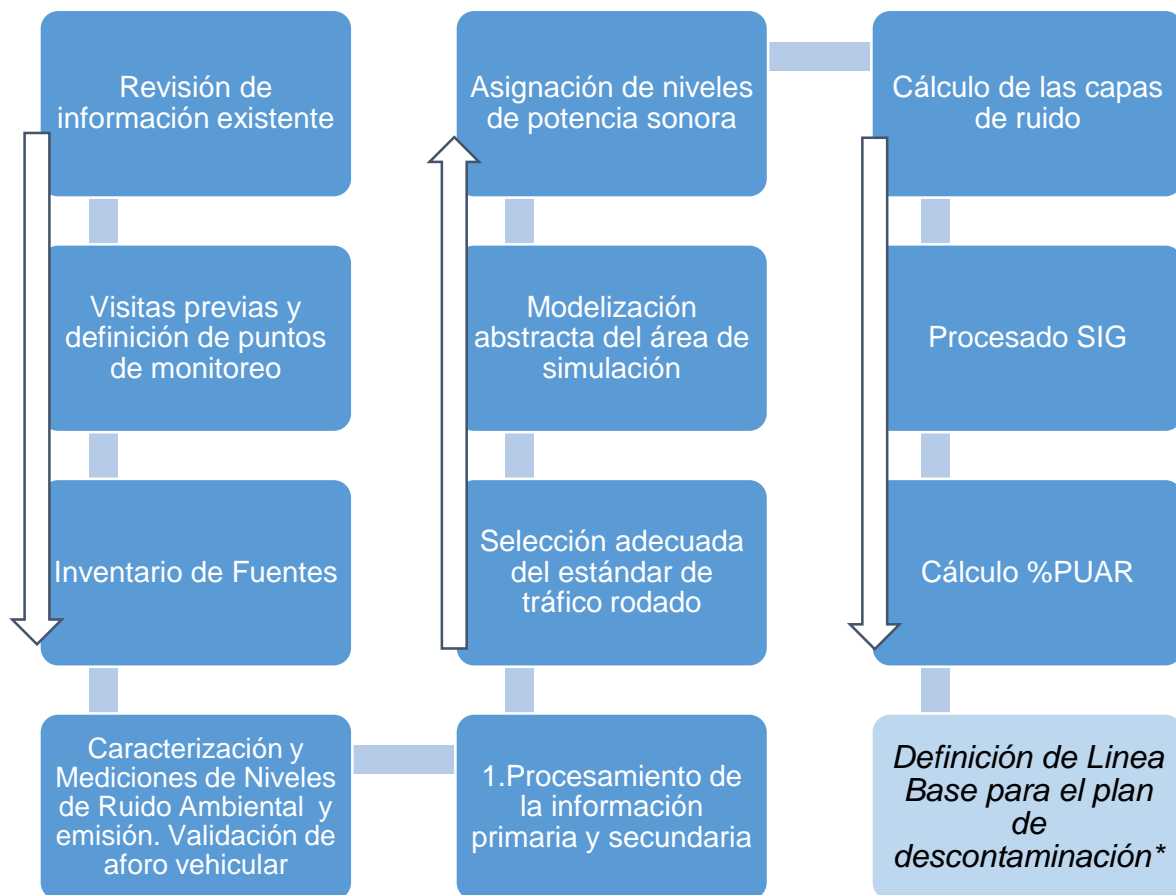


Ilustración 3. Metodología general del proyecto

Fuente: Propia (Estudio Actual)

7.1 ACTIVIDADES DE MEDICIÓN E INVENTARIO DE FUENTES

Una de las actividades importantes en el proceso de construcción del MER fue la medición de ruido. 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 las veinte (20) ZEA (Zonas de Especial Atención), en cada una de las cuales se ubicó un equipo que realizó muestreo de ruido, y paralelo a ello, se realizó la caracterización de los diferentes focos de ruido.

Las fuentes fijas durante el monitoreo de ruido ambiental fueron inventariadas tal como se observa en el formato adjunto dentro del Anexo Digital 6, donde se puntualizaron 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.

7.2 RUIDO AMBIENTAL

La metodología empleada para la medición de ruido ambiental se fundamentó en la ya mencionada norma UNE-ISO 1996 [2], esta norma está aprobada en el inciso b del capítulo II de la resolución 0627 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. Igualmente, en el capítulo 4 del Primer Informe Parcial fue detallado a profundidad cada tipo de monitoreo.

7.2.1 MUESTREO TEMPORAL

El muestreo temporal consistió en la toma de registros continuos de al menos siete (7) días para establecer la evolución del ruido y diferenciar las noches del fin de semana, de los días laborables. Estos registros se tomaron en un (1) punto representativo dentro de cada zona de especial atención, capturando la información temporal del ruido en el entorno.

7.2.2 MUESTREO ESPACIAL

El muestreo espacial consistió en mediciones de ruido ambiental 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 cinco (5) puntos dentro de cada zona de especial atención para un (1) día ordinario y para un (1) día domingo, diferenciando los periodos diurno y nocturno de conformidad con la Resolución 0627 [6], y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma UNE-ISO 1996-2:2009 [3].

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.

Igualmente, para realizar la validación del modelo en las áreas o localidades que no contemplaron ZEA, se ejecutaron monitoreos de ruido ambiental en sesenta (60) puntos distribuidos en toda la ciudad, el avance en esta actividad se reportó en el contenido y los anexos del primer informe parcial, y los resultados de las mediciones fueron utilizados durante la etapa de modelación.

7.3 RUIDO DE EMISION

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 las modelaciones.

7.4 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Los indicadores medidos tanto en los puntos de muestreo Temporal como Espacial son los siguientes¹:

- Espectro en Bandas de $1/3$ octavas (16 Hz a 20 kHz)
- L_{eq}
- Ll_{eq}
- 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:

¹ Para ampliar detalle de simbologías ver la lista de abreviaturas

- $L_{RAeq,T}$ [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].
- $\Delta NOISE = L_{10} - L_{90}$: Clima de ruido
- LDN : Nivel equivalente total con intervalo temporal de 24 horas y bajo los ajustes y correcciones propuestos por la UNE ISO 1996-1 [2]

7.5 PUNTOS DE MEDICIÓN

El detalle de los puntos de medición se encuentra en las fichas técnicas incluidas en el Anexo Digital 2, de igual forma en el Anexo Digital 3 se adjuntan los formatos de campo de cada monitoreo.

La siguiente ilustración muestra la georreferenciación de los puntos de medición de ruido ambiental en cada una de las ZEA.

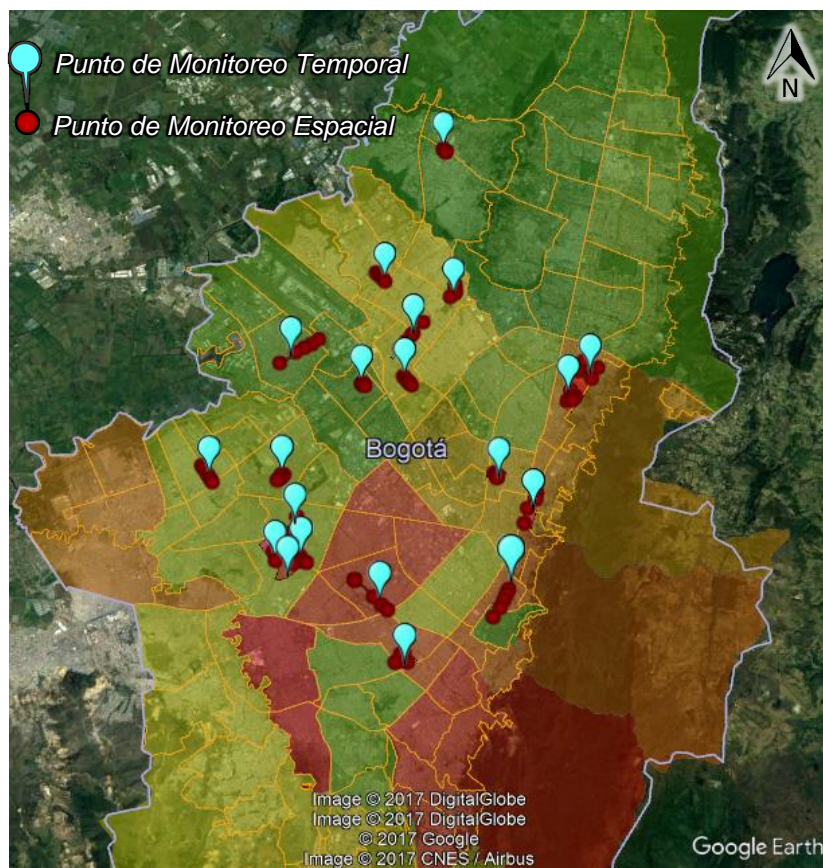


Ilustración 4. Georreferencia de puntos de monitoreo de ruido ambiental

Fuente: Propia (Estudio Actual)

El registro fotográfico de cada punto de monitoreo es entregado en el Anexo Digital 7.

7.6 FECHAS DE LAS MEDICIONES

Las mediciones fueron realizadas para el total de las veinte (20) ZEA entre el 13 de marzo de 2017 y el 06 de julio de 2017. El detalle de las fechas se presentó en la Tabla 2 y Tabla 3 del Primer Informe Parcial, e igualmente, se encuentran en el Anexo Digital 5 del presente documento.

7.7 DATOS DE ENTRADA AL MODELO

De todas las actividades anteriores, se creó la base de datos de entrada al modelo de cada localidad y posteriormente de la ciudad de Bogotá en general.

En el Anexo Digital 11 se presenta el informe que fue entregado por la consultoría en cumplimiento del requisito contractual de aprobación previa a la ejecución de la modelación

7.8 TEST DE TRÁFICO

En concordancia con la cláusula séptima del contrato de consultoría, y la obligación específica del contratista N.º 2, se realizó la evaluación de aplicabilidad de tres estándares de modelación de tráfico rodado para determinar el más acertado a la ciudad de Bogotá D.C. Con base en la literatura relacionada con el uso de los métodos de cálculo para ruido de tráfico, se estimó el método de predicción de la propagación sonora con mejor adaptabilidad a la topografía viaria de la capital y el parque automotor (tráfico mixto) de la ciudad de Bogotá D.C.

De este estudio puntual, se concluyó que el método de cálculo aplicado en la estimación del ruido de tráfico para la ciudad era el SonROAD, estándar suizo validado como se muestra en el Anexo Digital 2

7.9 REQUERIMIENTO TÉCNICO

El detalle de los equipos empleados en campo para el desarrollo de las mediciones se encuentra desglosado en el Anexo Digital 8 del presente documento, igualmente en la misma carpeta son adjuntados los certificados de calibración de los equipos.

Por su parte, una de las fases más decisivas para este estudio fue la etapa de modelación y cálculo de los resultados. En el desarrollo del presente proyecto y en mención de las salidas gráficas que se encuentran bajo el alcance de este informe, fue imprescindible para la firma consultora extender el requerimiento técnico planteado inicialmente para la ejecución del mismo.

Si bien, los recursos tecnológicos y técnicos del consultor permitían la obtención de las salidas gráficas, el tiempo de procesado que los computadores invertían para tal fin, llevaron a replantear el equipamiento informático de procesado.

En cuanto a Software y Hardware, a continuación, se detalla el componente informático que ocupó el consultor inicialmente:

- Licencia de software CadnaA versión 2017 MR 1 (64Bit), opciones instaladas BMP XL FLG 64 ©DataKustik GmbH.
- 1 CPU Bing Hyper Upper, Intel® Core™ i7 CPU X980 @ 3.33 GHz 3.38 GHz, memoria instalada (RAM) 24 GB.

Equipamiento tecnológico de refuerzo:

- Licencia CadnaA para uso de la tecnología PCSP de distribución de cálculos y extensiones para realizar modelación en red: Se adquirió licencia en red a 10 CPU pues un solo computador no fue suficiente para procesar la malla de cálculo en un tiempo viable. Gracias al PCSP (Parallel Controlled Segmented Processing) se logró obtener el modelo con la participación de varios computadores en red calculando el mismo proyecto.
- 1 CPU de alto rendimiento Z620, Intel® Xeon® E5-2640v2, EightCore 2.0 GHz, 20MB cache, Turbo Boost (2.5GHz), 16GB (4x2GB+2X4GB), Nvidia Quadro K2000 2GB Video RAM.
- 2 CPU de alto rendimiento Z840 Intel® Xeon® E5-2650v3 TenCore 2.3 GHz, 25MB SmartCache, Turbo Boost (3GHz), 16GB (2x8GB), Nvidia Quadro K4200 4GB Video RAM.
- 7 computadores medio rendimiento (Ofimático) de corte máximo: Intel® Core™ i7-4790 (3.60 GHz), 8 MB cache, 8 GB.

Fue recomendación por parte del fabricante del software de cálculo, el uso de computadores de procesador Intel Xeon, refiriendo ellos directamente el uso de un equipo DP 16 Core con 32 núcleos de CPU reales, pues, aunque los Core i7 suelen dar con una velocidad de reloj real muy alta, resultan particularmente lentos para cálculos de CadnaA con el nivel de detalle y profundidad como el del MER en estudio.

7.10 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

7.10.1 CÁLCULO DE LA EMISIÓN O APOORTE DE RUIDO

Como se mencionó anteriormente, el MER de la capital 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 [9], e ISO 9613-2:1996 Acústica. Atenuación

del sonido durante su propagación al aire libre. Parte 2: Método de cálculo general [10].

Las predicciones de niveles con base a la norma ISO 9613 [9] 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:

$$L_w = Leq + 20 \log(r) + 10.9 - 10 \log(Q) \quad (1)$$

Donde:

Leq 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 para todos los casos se idealizó a la unidad (1).

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

$$10 \log(4\pi) = 10.9 \quad (2)$$

La ecuación (1) también puede ser expresada como:

$$L_w = L_{dmre} + 20 \log\left(\frac{dmre}{1.0 \text{ m}}\right) + 10 \log(4\pi) \quad (3)$$

Fuente: BUWAL [2]

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.

7.10.2 CÁLCULO DEL %PUAR (POBLACIÓN URBANA EXPUESTA AL RUIDO).

Partiendo de los resultados del modelo, se realizó el cálculo del indicador %PUAR.

Este indicador permitió establecer la Población Urbana Expuesta al Ruido Ambiental por encima de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud – OMS ($65 \text{ dB} > 8 \text{ Horas}$).

El indicador se obtuvo a partir de la siguiente formulación

$$L_{RAeq,DN(ICAU)} = 10 \log \left[\frac{\left(14 * 10^{\left(\frac{L_{RAeq,D}}{10} \right)} \right) + \left(10 * 10^{\left(\frac{L'_{Aeq,N}}{10} \right)} \right)}{24} \right] \quad (4)$$

Donde:

$L_{RAeq,DN(ICAU)}$ es el Nivel Equivalente Día Noche con filtro de ponderación [A], evaluado a lo largo de las 24 horas del día [11]. Este indicador no es comparable con el $L_{RAeq,DN}$, determinado por la UNE ISO 1996-1:2005 [2] puesto que las formulaciones de los datos de entrada diurnos y nocturnos son diferentes.

$L_{RAeq,D}$ es el Nivel Equivalente Diurno corregido con filtro de ponderación [A]. Este nivel se encuentra ajustado por tonos e impulsos.

$L'_{Aeq,N}$ es el Nivel Equivalente Nocturno con filtro de ponderación [A]. Este nivel no tiene correcciones de tonos e impulsos y tampoco se le añade la penalización normativa de +10 [dBA].

Es de aclarar que si bien, la UNE – ISO 1996-1:2005 [2] estima el Nivel Equivalente Día Noche con ponderación [A] a partir de las correcciones tonales e impulsivas para ambas jornadas (véase ecuación (5)), la formulación del mismo indicador para el %PUAR no lo realiza así debido a que la estimación de este indicador es para ruidos continuos, como lo es el tráfico (Véase el Libro Manual de Medidas Acústicas Capítulo [12].

$$L_{RAeq,DN} = 10 \log \left[\frac{\left(14 * 10^{\left(\frac{L_{RAeq,D}}{10} \right)} \right) + \left(10 * 10^{\left(\frac{L_{RAeq,N+10}}{10} \right)} \right)}{24} \right] \quad (5)$$

Con base al indicador $L_{RAeq,DN(ICAU)}$ [Ecuación (4)] se obtuvo el PUAR, que refiere a la cantidad de Población Urbana Expuesta al Ruido ambiental por encima del valor de referencia, es decir $LDN > 65 \text{ [dBA]}$ en cada localidad. A partir del PUAR, y una vez finalizadas las salidas gráficas de toda la capital, fue calculado el %PUAR bajo la siguiente formulación:

$$\%PUAR = \frac{PUAR}{PUT} * 100 \quad (6)$$

Donde:

%*PUAR* es el Porcentaje de población urbana expuesta a ruido ambiental por encima del valor de referencia para el periodo correspondiente con el mapa de ruido ambiental.

PUT es la Población urbana total de la capital (Número de personas de la Cabecera Municipal)

Es importante mencionar que el %*PUAR* tiene por cobertura geográfica el perímetro urbano (Cabecera Municipal) de la capital, razón por la cual, el % se obtiene tras conseguir las cantidades de población en cada localidad.

7.11 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Se realizó un estudio sobre el comportamiento de las condiciones meteorológicas en las zonas de estudio con el fin de constatar que las mediciones de ruido realizadas cumplan con los requisitos técnicos exigidos por la Resolución 0627 de 2006 [1]. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) [13], donde se tomaron los datos horarios de medición de la estación meteorológica más cercana a la Zona de Especial Atención de la localidad.

En las siguientes tablas se presentan las referencias de escalas utilizadas para la clasificación de las precipitaciones y vientos respectivamente.

Tabla 4 Escalas de precipitación

DENOMINACIÓN	PRECIPITACIÓN DIARIA (MM)	PRECIPITACIÓN MENSUAL (MM)
Escasa	0 - 5	0 - 20
Ligera	6 - 10	21 - 40
Moderada	11 - 20	41 - 80
Fuerte	21 - 50	81 - 200
Muy Fuerte	51 - 70	201 - 280
Intensa	> 70	> 281

Fuente: Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes [14]

Tabla 5 Escala de velocidad del viento - Beaufort

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S)
Calma	0.0 – 0.2
Ventolina	0.3 – 1.5
Brisa suave	1.6 – 3.3
Brisa leve	3.4 – 5.4
Brisa moderada	5.5 – 7.9
Brisa fresca	8.0 – 10.8
Brisa fuerte	10.9 – 13.8

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S)
Viento fuerte	13.9 – 16.9
Viento duro	17.0 – 20.5
Muy duro	20.6 – 24.1
Temporal	24.2 – 28.3
Borrasca	28.4 – 32.6
Huracán	32.7

Fuente: La Observación Meteorológica [15]

Los resultados de la caracterización meteorológica, así como la relación de las estaciones empleadas en cada zona de estudio se presenta en el Anexo Digital 12.

8 MODELACIÓN

8.1 ENFOQUE

La generación del Mapa Estratégico de Ruido como resultado de la predicción de la propagación del ruido, tuvo como fin, determinar los aportes de los distintos tipos de fuentes que previamente fueron identificados en Bogotá, D.C. Este Mapa Estratégico de Ruido permite definir la contribución de cada una de las fuentes de ruido suministrando a la autoridad ambiental del distrito la posibilidad de realizar una gestión del ruido mucho más efectiva y así controlar la exposición de los habitantes a altos niveles de ruido. Finalmente, con la cifra de población expuesta la Entidad puede determinar el grado de afección sobre los capitalinos a través de los índices de calidad ambiental.

8.1.1 ESTÁNDARES UTILIZADOS

Para el desarrollo de las modelaciones de ruido de tráfico rodado de Bogotá D.C. se utilizó, **SonRoad**. Como estándar industrial: ISO 9613-1: 1993 [7] e ISO 9313-2: 1996 [8], el cual es utilizado por el estándar *SonRoad* para determinar la absorción, difracción y refracción del sonido con barreras y/o obstáculos. Para la elección del estándar de tráfico SonRoad se llevó a cabo una comparativa de varios estándares internacionales (test tráfico rodado), los cuales fueron validados para el contexto de Bogotá D.C. y los resultados de este test se encuentran en el Anexo Digital 10. El proceso de modelamiento acústico se realizó con el software CadnaA versión 2017(Ver Ilustración 5).



Ilustración 5. Información sobre licencia del software de simulación de ruido

Fuente: Propia & DataKustik GmbH 2017 [16]

8.1.2 INFORMACIÓN DE ENTRADA

La representación del modelo del entorno de estudio fue un aspecto relevante ya que, dependiendo del detalle de las geometrías de los obstáculos, trayectos de las vías (número de carriles) y topografía del terreno, se obtuvieron resultados con menor o mayor incertidumbre. De esta manera, la información de las geometrías que se utilizó para idealizar los modelos fue tomada de la Infraestructura Integrada de Datos Espaciales del Distrito Capital IDECA [17], la cual fue validada con los registros tomados con cámaras de video del consultor.

8.2 PARÁMETROS GENERALES DE PREDICCIÓN

Los parámetros generales considerados con todos los estándares de tráfico rodado fueron los siguientes:

- **Estándar industrial:** ISO 9613-1: 1993 [7] e ISO 9313-2: 1996 [8]. Para el estándar *SonRoad* es utilizado para determinar la absorción, difracción y refracción del sonido con barreras y/o obstáculos.
- **Error máximo:** cero punto cero [0.0]
- **Radio máximo de búsqueda:** dos mil [500 m]
- **Coeficiente de propagación de la incertidumbre:** $3 \log_{10} \left(\frac{d}{10} \right)$, donde d es la distancia de referencia de predicción (10 m) y se presenta a una razón de 3 dB cada diez metros.
- **Absorción del terreno:** cero punto cinco (0.5), equivalente a la absorción de un suelo poroso.
- **Orden de reflexión:** Uno (1) porque cuando se vayan a calcular los mapas de ruido puede representar demoras representativas.
- **Interpolación de grilla:** cero por cero [16*16]
- **Apantallado rápido:** No porque se calculó ruido con la ISO 9613-1: 1993 [7] e ISO 9313-2: 1996 [8]. Con apantallado rápido solo un número de obstáculos limitados son calculados en los niveles de presión sonora.
- **Factor raster:** 0.5, es la fracción de segmentación de las fuentes de emisiones.
- **Proyección de fuentes de área y lineales**
- **Máxima longitud de sección:** mil (1,000 m)
- **Mínima longitud de sección:** cincuenta (50%)
- **Tiempo de referencia:** Según lo establecido en la Res. 0627 de 2006 [6].
- **Parámetro evaluado:** Nivel de ruido continuo equivalente periodo diurno $LAeq,d$, $LAeq,n$ y Ldn dB [A] de acuerdo a lo establecido por medio de la Res. 0627 [6].
- **Modelo del terreno con triangulación**

- **Temperatura, humedad relativa y dirección del viento:** Quince grados centígrados 15 °C y de humedad relativa sesenta y cinco [65]%
- **Coeficiente de absorción de las edificaciones:** bajo

Tabla 6. Coeficiente de absorción por bandas de Octava

Frec.	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	8,000 Hz
α	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: DataKustik GmbH 2017 [18]

- **Pendiente de las vías:** cero
- **Reflexiones múltiples por las vías:** cero (0). Se definió este valor porque la metodología de medición de ruido permitió no tener en cuenta las reflexiones de los obstáculos.

8.2.1 IDEALIZACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

La idealización del modelo geométrico que se utilizó para realizar las predicciones de propagación de niveles de presión sonora comprendió los siguientes objetos: modelo digital de elevación, edificaciones y puentes. La base cartográfica básica fue tomada de la Infraestructura Integrada de Datos Espaciales del Distrito Capital [17]. En específico se utilizaron los siguientes sets de datos: elevaciones y construcciones. Las elevaciones presentaron líneas de contornos con desfases representativas en algunos sectores de la ciudad. Estos desfases no se depuraron asumiendo que no corresponde a un aspecto relevante por el enfoque de modelo y por la escala general de trabajo. (Ver Ilustración 6).

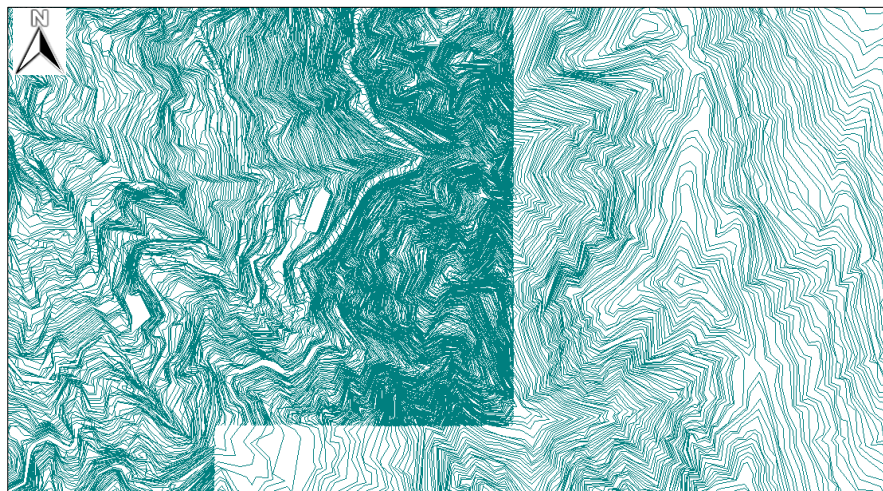


Ilustración 6. Ejemplo, superposición de curvas de niveles

Fuente: Propia (Estudio actual)

Con el objetivo de disminuir los tiempos de cálculo fue necesario simplificar las geometrías de las edificaciones y vías, por medio de una comparación de los archivos suministrados por el IDECA y los archivos procesados. Para la idealización del modelo solo se tuvieron en cuenta las edificaciones, vías y curvas de nivel en la simplificación de caracteres, tomando como referencia la altura promedio por manzanas, excepto en las ZEA.

Dentro de las ZEA se usaron las geometrías originales de los obstáculos. La depuración de la geometría de la malla vial y edificaciones correspondió a un 80% del set original de los datos del IDECA. La simplificación de las edificaciones permitió mantener las dimensiones de área y altura por manzana, sin eliminar las características de forma sino de número de objetos por manzanas.

Este proceso se realizó por medio análisis espaciales con herramientas de Sistemas de Información Geográficos (SIG) (Ver Ilustración 7 e Ilustración 8), tomando alturas promedio por Manzanas. Bastian, Suarez y Arenas [19] realizaron un proceso similar tomando una altura general para todo el set de cálculo. De acuerdo con el Grupo de Trabajo de la Comisión Europea designada para la Evaluación de Exposición de Ruido (WG-AEN, por su sigla en inglés) [6], se siguió la recomendación de unión de edificaciones en grupos con alturas similares.



Ilustración 7. Construcciones sin simplificar
Fuente: Propia (Estudio actual)



Ilustración 8. Construcciones simplificadas

Fuente: Propia (Estudio actual)

Asimismo, se realizó un proceso de depuración de la localización espacial de los segmentos de la malla vial en las edificaciones, ya que se encontraron intersecciones entre estos dos tipos de objetos. Esta depuración fue necesaria con el fin de brindar al modelo mayor confiabilidad (Ver Ilustración 9), lo cual representó un tiempo de dedicación importante. De los 12 meses de ejecución del proyecto, el peso porcentual de depuración y el montaje fue de aproximadamente el 30% del total, así mismo, la definición del estándar de tráfico ocupó el 10%, el cálculo final del modelo 25%, la generación de salidas 30% y el geoprocusamiento con análisis por SIG 20%.



Ilustración 9. Superposición de la malla vial con edificaciones

Fuente: Propia (Estudio actual)

Adicionalmente, se encontraron varias vías que diferían de la realidad y correspondían a patrones de drenajes y/o fuentes hídricas. En la Ilustración 10, Ilustración 11 e Ilustración 12 se presentan algunos casos a modo de ejemplo.



Ilustración 10. Cuerpos hídricos como vías

Fuente: Propia (Estudio actual)



Ilustración 11. Cuerpos hídricos como vías

Fuente: Propia (Estudio actual)



Ilustración 12. Cuerpos hídricos como vías

Fuente: Propia (Estudio actual)

8.2.2 ALGEBRA DE CAPAS DE RUIDO

Para calcular el nivel de ruido total de los aportes de ruido de cada capa se realizaron sumas energéticas (logarítmicas) considerando:

- Vías mixtas sin Transmilenio
- Transmilenio: Transito de articulado en cada una de las troncales por donde circulan
- Fuentes industriales
- Fuentes de servicio
- Fuentes comerciales
- Ruido de aeronaves

Debido a que la malla de la capa de ruido de aeronaves tuvo un espaciado diferente al resto de capas, se realizó un procesamiento espacial para determinar el aporte total de manera adecuada.

8.3 DATOS DE ENTRADA AL MODELO

8.3.1 DOMINIO DE ESTUDIO

El dominio de estudio principal concernió al límite del casco urbano de Bogotá, D.C y para la representación gráfica para cada estudio por independiente se tuvieron en cuenta las divisiones por localidades, UPZ y ZEA. Para realizar el cálculo en cada una de las divisiones se tuvo en cuenta el set completo del modelo de predicción (casco urbano).

8.3.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

En las siguientes ilustraciones se presenta el modelo del terreno utilizado para realizar el cálculo de propagación de ruido:

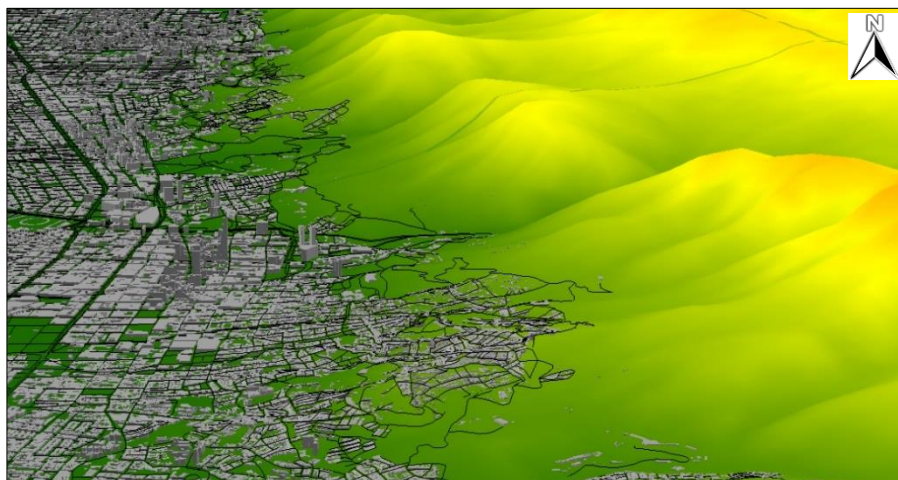


Ilustración 13. Modelo digital del terreno del modelo de cálculo (ArcScene)

Fuente: Propia (Estudio Actual)

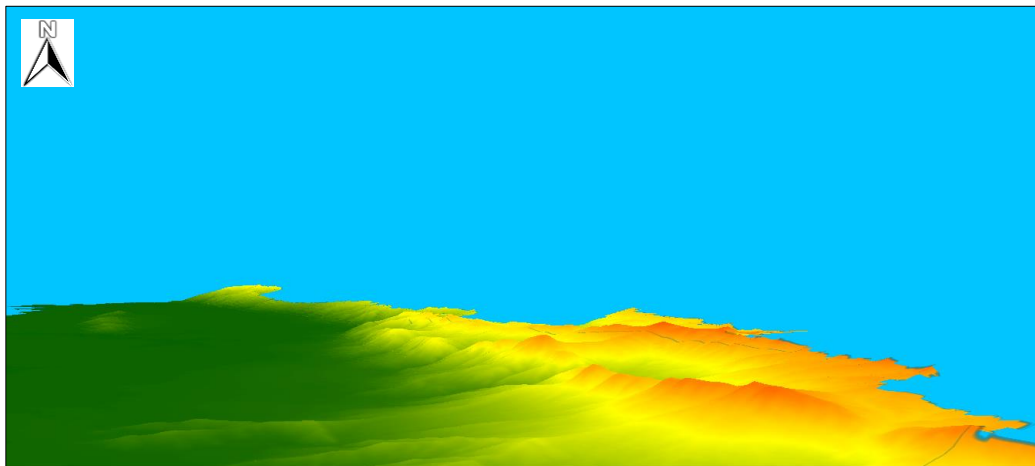


Ilustración 14. Modelo digital del terreno ingresado en el motor de cálculo

Fuente: Propia (Estudio actual)

8.3.3 FUENTES

En la Ilustración 15 se presenta a modo de ejemplo una sección de la malla vial ingresada al modelo, y en la Ilustración 16 se encuentra descrita de forma tabular.

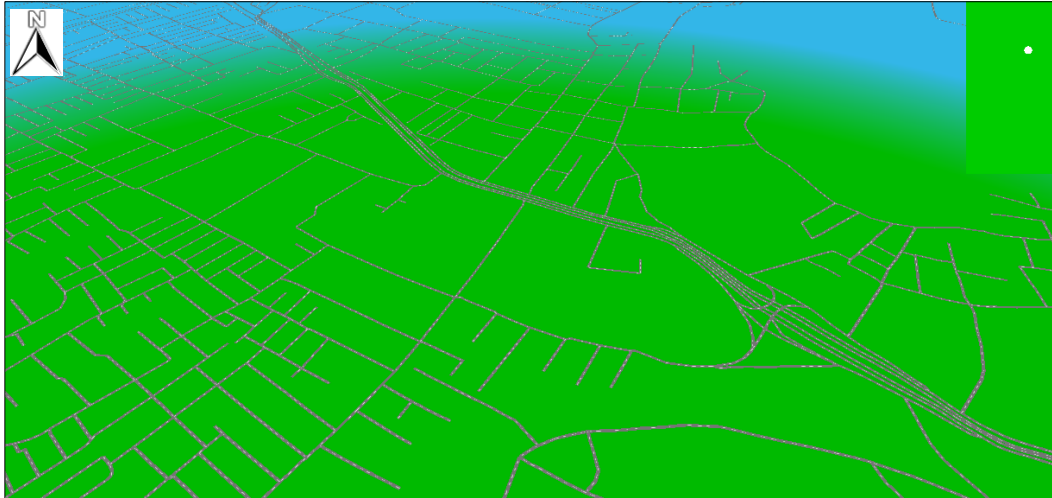


Ilustración 15. Malla vial ingresada al modelo.

Fuente: Propia (Estudio actual)

Name	M.	ID	Lr,e			Count Data	exact Count Data						Speed		SCS		Surface		Gradient		Mult. Reflection		Model Corr. K1=0	
			Day	Evening	Night		N			eta (%)			Day	Night	Dist.	Ostro	Type	(%)	Drefl	Hbuild	Dist.	Day	Night	
			(dBA)	(dBA)	(dBA)	DTV	Day	Evening	Night	Day	Evening	Night	(km/h)	(km/h)				(dB)	(dB)	(m)	(m)	(dB)	(dB)	
019000S2	~	01	64.7	0.0	56.2	19078							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
033000B3	~	01	61.5	0.0	51.2	6423							50	50	RQ 9	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
01300004	~	01	64.1	0.0	53.6	23785							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
019000S2	~	01	64.7	0.0	56.2	19078							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
028000G3	~	01	67.7	0.0	57.6	25906							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
01700001	~	01	72.0	0.0	62.2	37173							60	60	RQ 10	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
005000S4	~	01	61.6	0.0	53.3	14895							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
023000R3	~	01	68.0	0.0	58.3	43056							60	60	RQ 10	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
028000G3	~	01	68.7	0.0	58.7	25906							50	50	RQ 9	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
036350S1	~	01	65.7	0.0	56.0	24921							50	50	RQ 9	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
02300001	~	01	66.0	0.0	56.6	14943							60	60	RQ 10	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
001000R1	~	01	75.4	0.0	67.1	68749							60	60	RQ 10	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0230001B	~	01	60.6	0.0	51.2	7130							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
00200004	~	01	63.3	0.0	50.5	13553							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
011000C2	~	01	59.1	0.0	50.6	9429							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
010000C2	~	01	62.6	0.0	53.2	15789							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
019000S2	~	01	64.7	0.0	56.2	19078							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
008000B2	~	01	49.5	0.0	38.7	1624							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
005000S4	~	01	61.6	0.0	53.3	14895							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
02300001	~	01	63.5	0.0	53.9	14943							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
004000R3	~	01	67.5	0.0	57.7	20544							50	50	RQ 9	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0343501L	~	01	59.3	0.0	46.7	9389							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
036350S1	~	01	64.4	0.0	54.7	24921							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0343501L	~	01	59.3	0.0	46.7	9389							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
028000S2	~	01	62.5	0.0	54.3	13883							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
005000S4	~	01	61.6	0.0	53.3	14895							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
019000S2	~	01	64.7	0.0	56.2	19078							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0090001B	~	01	66.0	0.0	56.5	18267							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
005000B2	~	01	59.6	0.0	53.0	12400							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
011000C2	~	01	59.1	0.0	50.6	9429							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0200001R	~	01	69.2	0.0	57.7	21055							60	60	RQ 10	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	
0080001L	~	01	60.1	0.0	50.9	7588							40	40	RQ 7	0.0	4	0.0	0.0			-17.3	-23.4	

Ilustración 16. Información tabular de la malla vial en modelo de cálculo.

Fuente: Propia (Estudio actual)

8.3.4 OBSTÁCULOS

En la siguiente ilustración se presenta una sección de las edificaciones ingresadas al modelo:

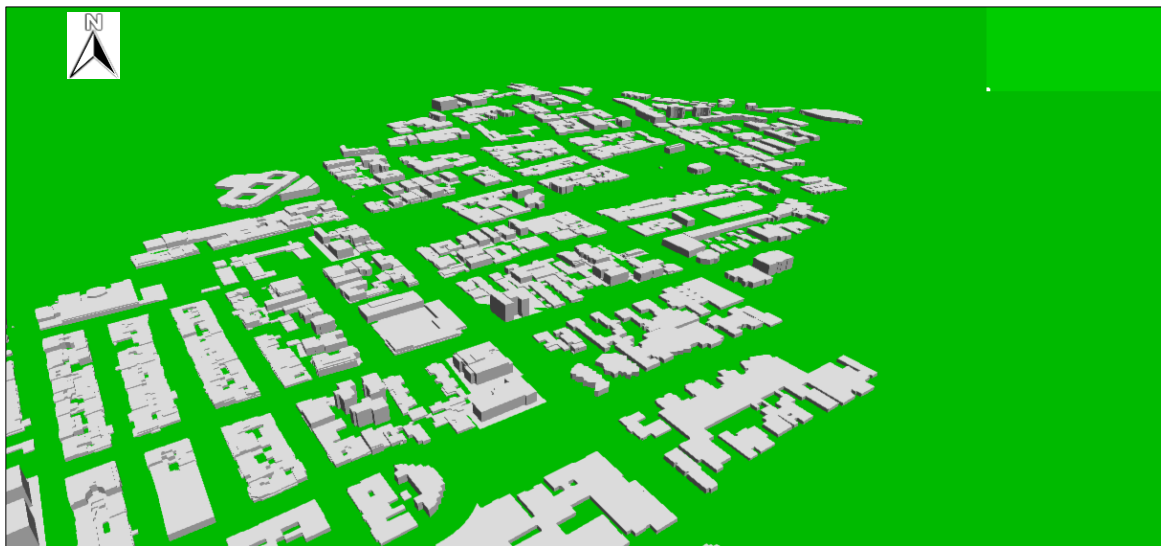


Ilustración 17. Sección con edificaciones dentro del modelo del cálculo

Fuente: Propia (Estudio actual)

En el Anexo Digital 14 se presentan el ejecutable de cálculo de la propagación de niveles de presión sonora donde se encuentra toda la información referenciada en el presente estudio.

8.4 NIVELES DE POTENCIA ACÚSTICA

Como respuesta al enfoque del MER Bogotá D.C., 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 1.2m 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 7.10.1, y los espectros resultantes fueron introducidos al software de cálculo.

A continuación, se muestra el espectro idealizado de algunas fuentes de alto impacto caracterizadas.

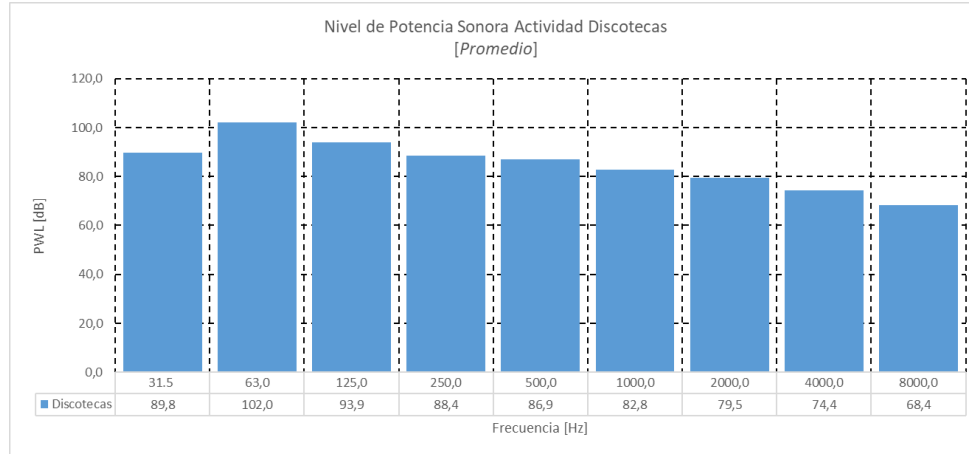


Ilustración 18. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Comercial/Bares
Fuente: Propia (Estudio actual)

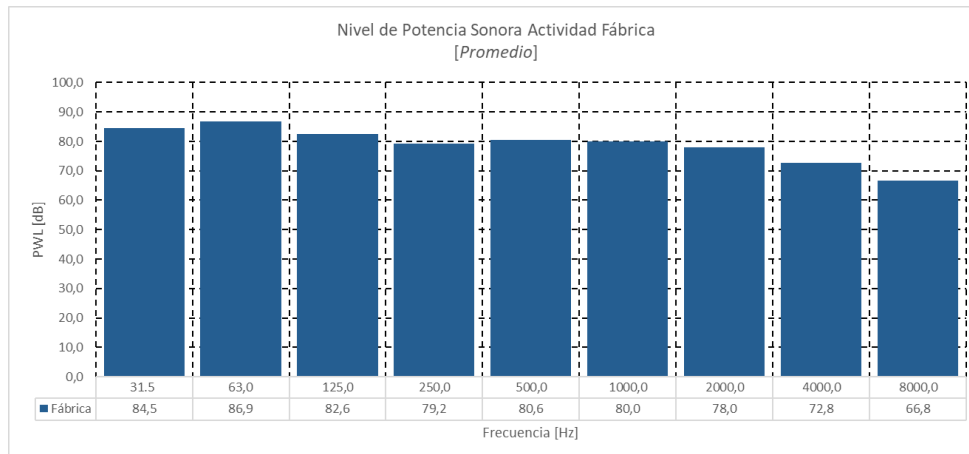


Ilustración 19. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Industrial/Fábricas
Fuente: Propia (Estudio actual)

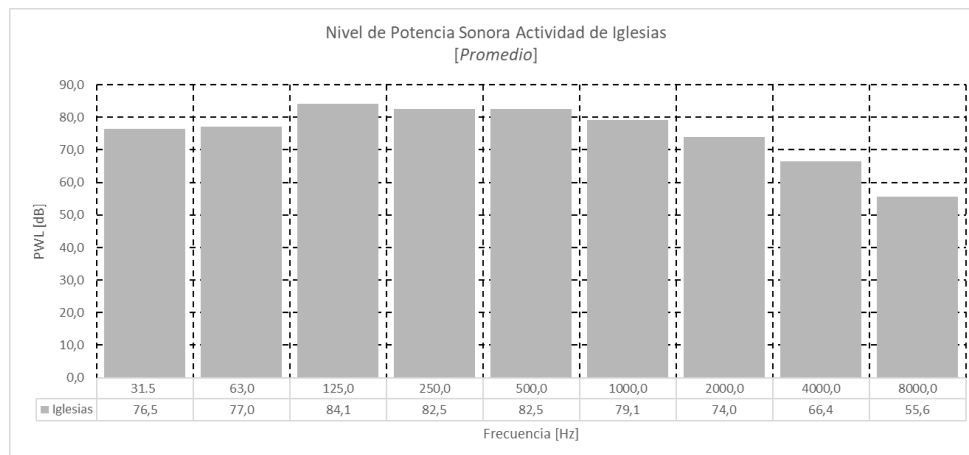


Ilustración 20. Espectro idealizado para fuentes de tipo: Servicios/Iglesias
Fuente: Propia (Estudio actual)

Los valores representados anteriormente también se encuentran tabulados en el Anexo Digital 5, incluidos las fuentes restantes tales como:

Tabla 7. Inventario de Fuentes

Código	Categoría de fuente	Subclasificación de fuente	Tipo de fuente
1	Actividad Comercial	Bajo Impacto	Tiendas
2		Bajo Impacto	Supermercados
3		Alto Impacto	Discotecas/Bares/Tabernas
4		Alto Impacto	Perifoneo
5		Alto Impacto	Amplificación de sonido
8		Alto Impacto	Muestras artísticas en espacio público
9	Actividad Industrial	Alto Impacto	Fábrica
10		Alto Impacto	Planta de Producción
11		Alto Impacto	Carpinterías
12		Alto Impacto	Taller
13	Actividad de Servicios	Bajo Impacto	Hospitales
14		Alto Impacto	Alarmas
15		Bajo Impacto	Colegios
16		Bajo Impacto	Universidades
17		Alto Impacto	Iglesias
18		Alto Impacto	Estadios
19		Bajo Impacto	Coliseos
20		Alto Impacto	Salas de Culto
21		Alto Impacto	Lavaderos
22		Alto Impacto	Obras en construcción
23		Alto Impacto	Trabajos de carga/descarga
24		Alto Impacto	Conciertos
25		Alto Impacto	Carnavales/Desfiles
26		Bajo Impacto	Teatros
27		Alto Impacto	Estaciones de servicio
28		Alto Impacto	Motobombas
29		Alto Impacto	Plantas eléctricas
6		Bajo Impacto	Complejos deportivos
7		Bajo Impacto	Parques
30		Bajo Impacto	parqueaderos

Fuente: Propia (Estudio actual)

Además de las fuentes fijas ilustradas, otras fuentes hicieron parte del registro que entregaron los técnicos de campo. 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 en el documento, ayudarán a soportar los análisis realizados.

9 MAPAS ACÚSTICOS

Partiendo de la información detallada en los capítulos anteriores, la firma K2 Ingeniería SAS construyó los mapas de ruido respectivos a la ciudad de Bogotá D.C., dando cumplimiento a la obligación específica N°1 del contratista, detallada en la cláusula séptima del contrato de consultoría ostentado en este estudio.

En esta sección se presentan los resultados de las modelaciones expresados como niveles de presión sonora en ponderación [A]. Estas imágenes también se encuentran en el Anexo Digital 13 para efectos de mejora en la visualización.

9.1 MAPAS TOTALES BOGOTÁ D.C (MER CAPITAL).

Cada uno de los mapas, fueron obtenidos a partir de la suma energética de todas las fuentes de ruido inventariadas por ZEA. Este foco sonoro detectado no se encuentra presente en el mapa total para aquellas localidades donde no existen áreas clasificadas como ZEA por la SDA, en estos sectores los niveles obtenidos en los mapas que se muestran a continuación corresponden a aporte neto de tráfico (aforo total y aforo Transmilenio), no así, en las ZEA se obtuvo el aporte total de todas las fuentes (actividad comercial, actividad industrial, actividad de servicios, tráfico, aeródromo).

Este mapa se ha calculado a partir del software de modelación detallado en la sección 8.1, las salidas gráficas se encuentran en concordancia con los estándares normativos citados en la sección 6.2.

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.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

9.1.1 MAPA TOTAL BOGOTÁ EN JORNADA ORDINARIA

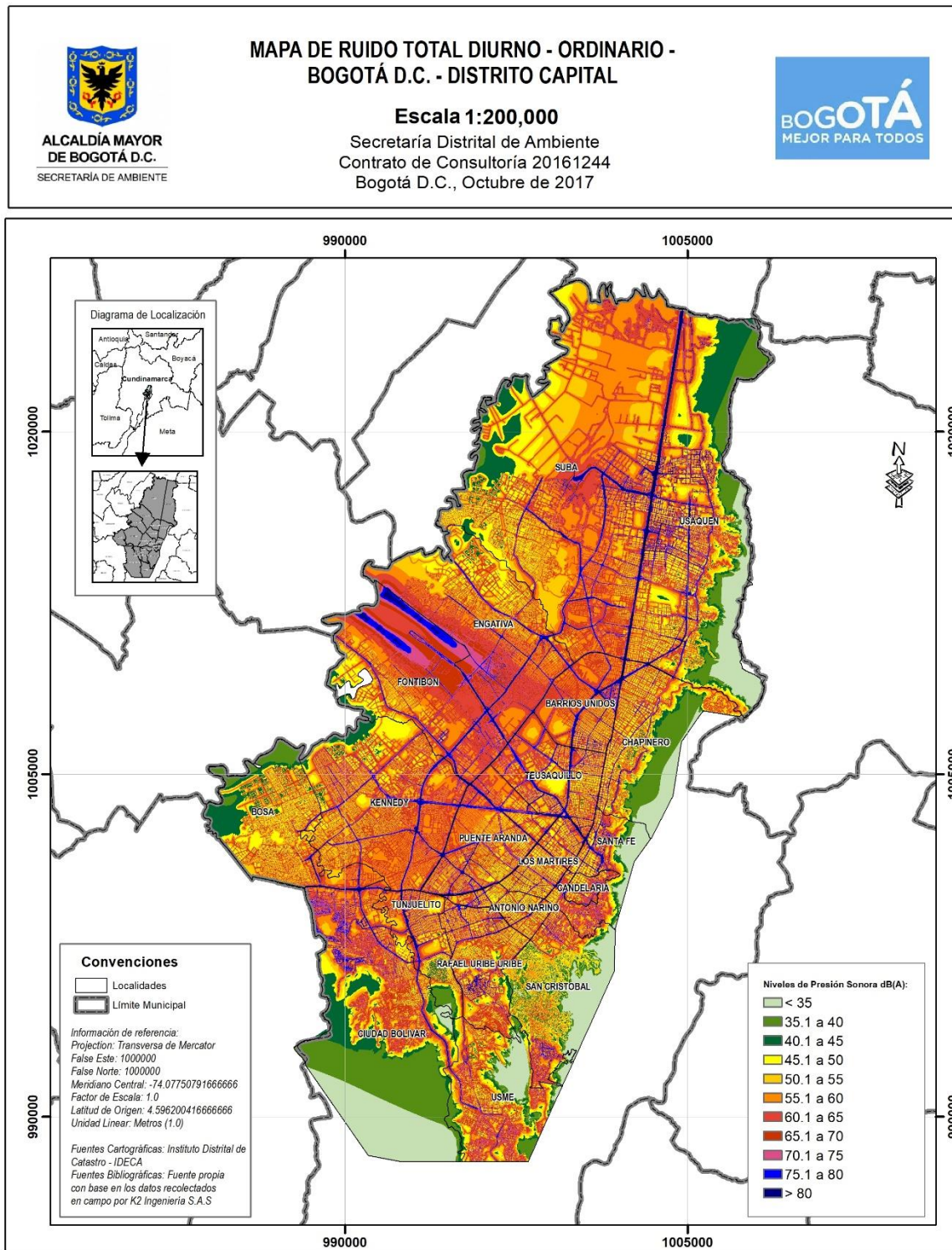


Ilustración 21. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinaria Diurna [LRAeq, D]

Fuente: Propia (Estudio actual)

Del mapa anterior se puede apreciar que en gran parte de la ciudad se concentran niveles de presión sonora superiores a los 65 *dBA*.

Es de destacar que la jornada ordinaria diurna se caracteriza por el aforo vehicular de mayor proporción, y por el funcionamiento de fuentes fijas (comercio, industria, servicios) en su mayor momento de operación, lo cual se percibe fuertemente en los mapas.

Para el extremo norte de la ciudad se percibe con claridad una baja de niveles diurnos, acompañada por una menor concentración de edificaciones y vías.

No así, para la zona centro y localidades como Teusaquillo, Candelaria y Santa Fe se vislumbran mayores niveles de presión sonora.

Igualmente destaca la isófona de 80 *dBA* sobre las pistas del aeródromo con los niveles más elevados en la jornada y horario, sin embargo, este comportamiento al interior del aeropuerto es poco representativo en la evaluación ambiental de la ciudad dado que se encuentran directamente al interior del predio portuario. Es por ello que en los sectores vecinos de Engativá y Fontibón se revelan niveles claros ante esta situación, donde en gran parte de la extensión de las localidades la tendencia bordea los 60 *dBA* a 65 *dBA*.

Hacia la parte sur de la capital, Ciudad Bolívar se mostró como la localidad con mayores niveles, acompañada de la localidad de Usme, donde en ambos casos se percibe un fuerte aporte del eje viario.

En perspectiva de todo el mapa ordinario diurno, destacan áreas de bajo nivel como la que se observa en la extensión de la localidad San Cristóbal Sur. Así mismo, se observan pequeños polígonos (Predios abiertos sin fuentes, como parques) en Teusaquillo, Tunjuelito, Kennedy y Usaquén.

Finalmente, es de mencionarse que las vías como NQS, Autopista Norte, Calle 170, Autopista Sur, Av. Boyacá, Calle 80, Calle 26, Av. Ciudad de Quito son las más representativas para esta jornada y horario.

En el paso del horario diurno a nocturno, los niveles se muestran más apagados, comportamiento típico por la disminución de la actividad humana, destacándose que las vías predominantes reducen un promedio de 10 *dBA*.

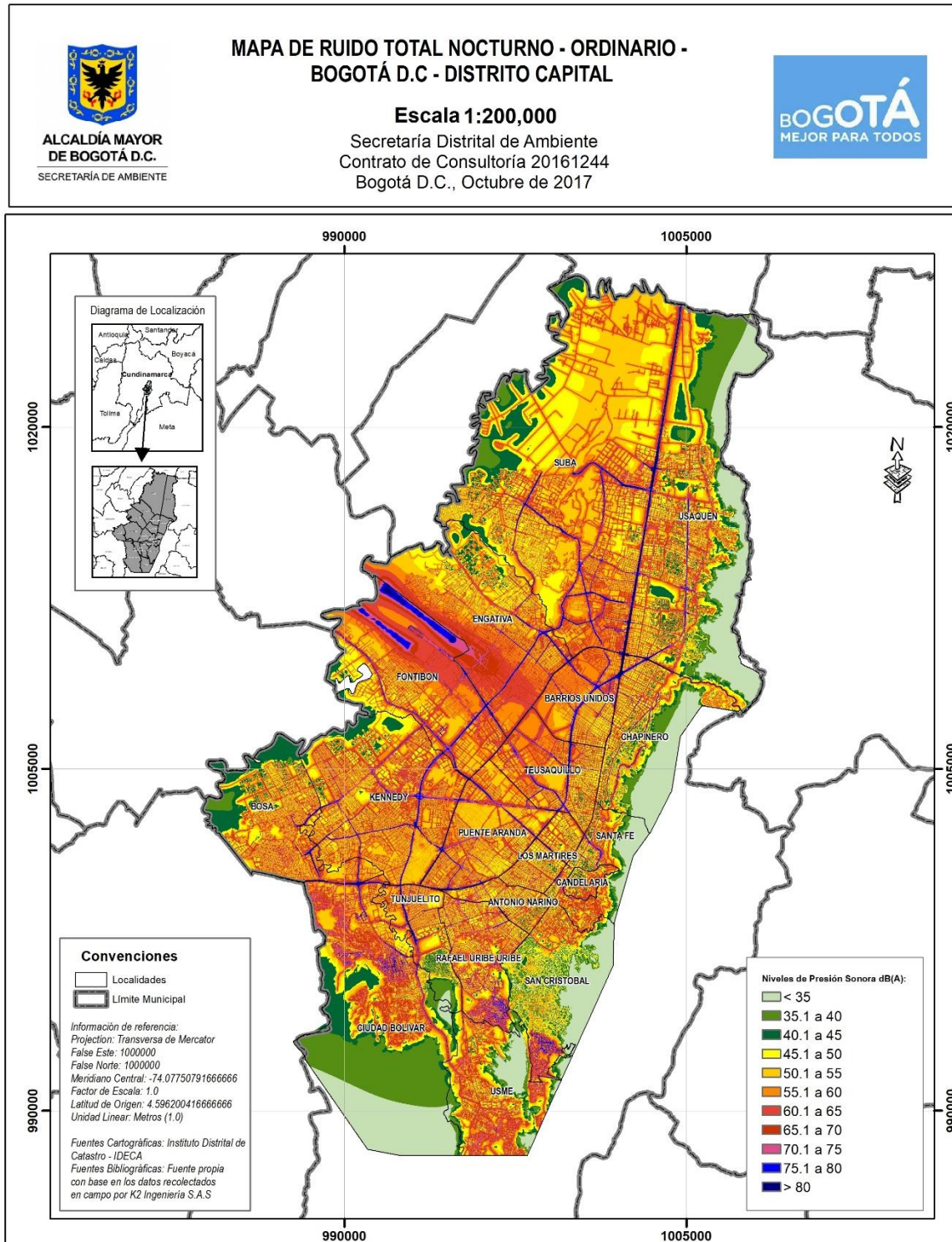


Ilustración 22. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinaria Nocturna [LRAeq, N]
Fuente: Propia (Estudio actual)

9.1.2 MAPA TOTAL BOGOTÁ EN JORNADA DOMINICAL

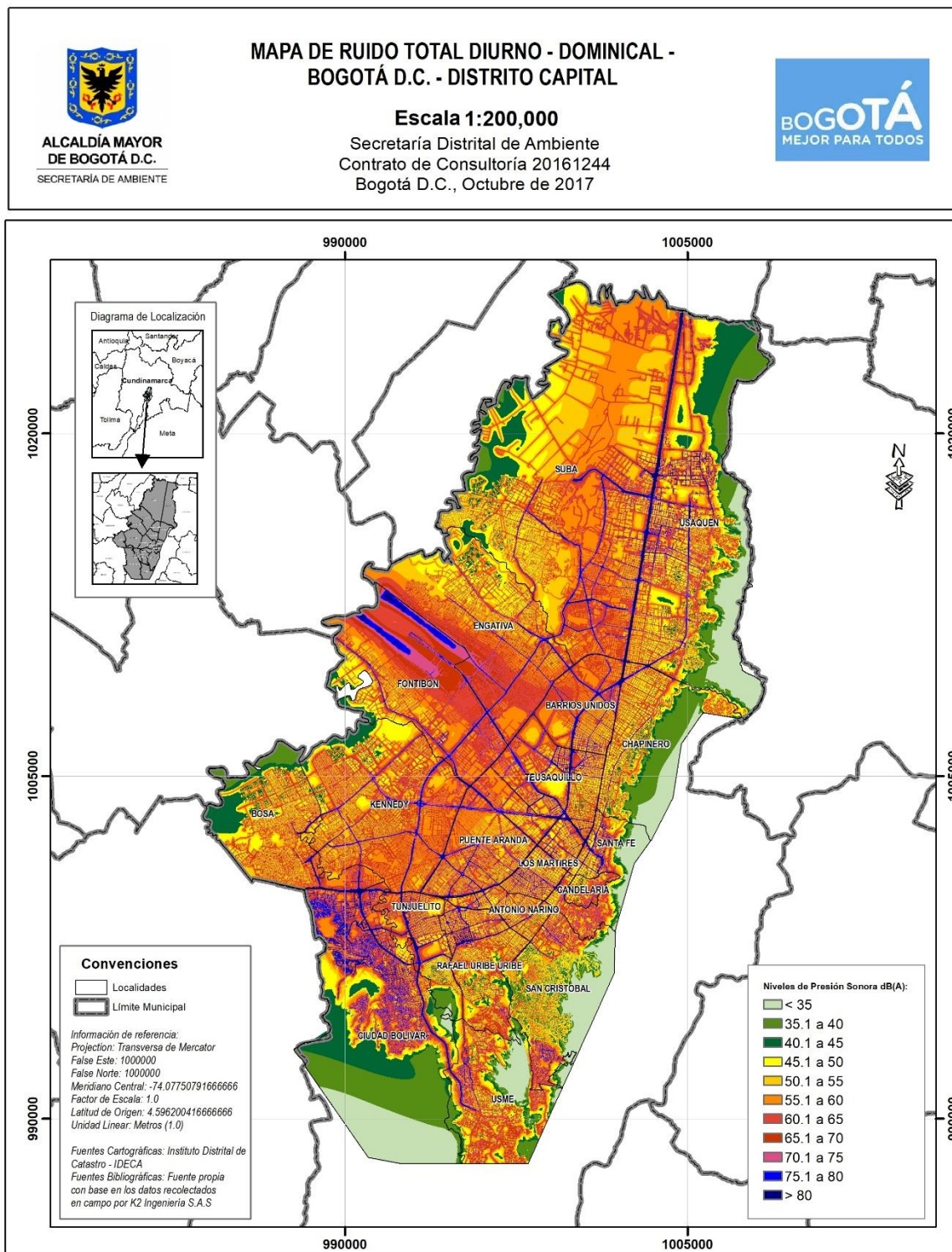


Ilustración 23. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical Diurna [$LRAeq, D$]

Fuente: Propia (Estudio actual)

De la jornada dominical en horario diurno se resalta que ejes viales como Calle 61 sur y la Carrera 72 costado sur (Av. Boyacá) muestran niveles mucho mayores que la jornada ordinaria en el mismo horario, reflejándose también que en gran parte de la extensión de la localidad de Ciudad Bolívar los niveles más elevados son percibidos los días domingo en horario diurno.

Por el contrario, en la Ilustración 24 se observa que durante el horario nocturno de la misma jornada (dominical) los niveles disminuyen notablemente, donde el fuerte componente energético de la Calle 170, que se percibía en la localidad de Suba, tiende a disminuir a medida que se extiende hacia el norte de la ciudad.

En el periodo nocturno también desaparece la distinción de mayores niveles sobre las vías de la ciudad, llegando incluso a apreciarse una energía acústica equiparables entre los grandes ejes de tráfico de la ciudad y algunas calzadas más pequeñas.

El costado oriental norte de la capital durante el horario nocturno representa niveles entre un galibo de 45 *dBA* y 55 *dBA*, comportamiento que ratifica la disminución del foco sonoro representativo del sector en el modelo (Tráfico).

Localidades como Usme, Engativá y Fontibón también disminuyen sus niveles en el horario nocturno dominical, no obstante, grandes concentraciones de presión sonora son observados en el mapa de la Ilustración 24.

Una zona que destacar es la del Parque Simón Bolívar que se mostraba con niveles entre 45 *dBA* a 50 *dBA* en los mapas anteriores, pero que en la jornada dominical en general los niveles aumentan. En este caso, el comportamiento resulta interesante pues no se han considerado en tal polígono fuentes adicionales a las viales.

En general se puede asumir que, aunque existen variaciones de niveles entre el paso de la jornada diurna a nocturna, la energía representada en el modelo para la noche se puede seguir considerando importante a la hora de una evaluación por ruido ambiental, donde además es un periodo de descanso y mayor sensibilidad al ruido.

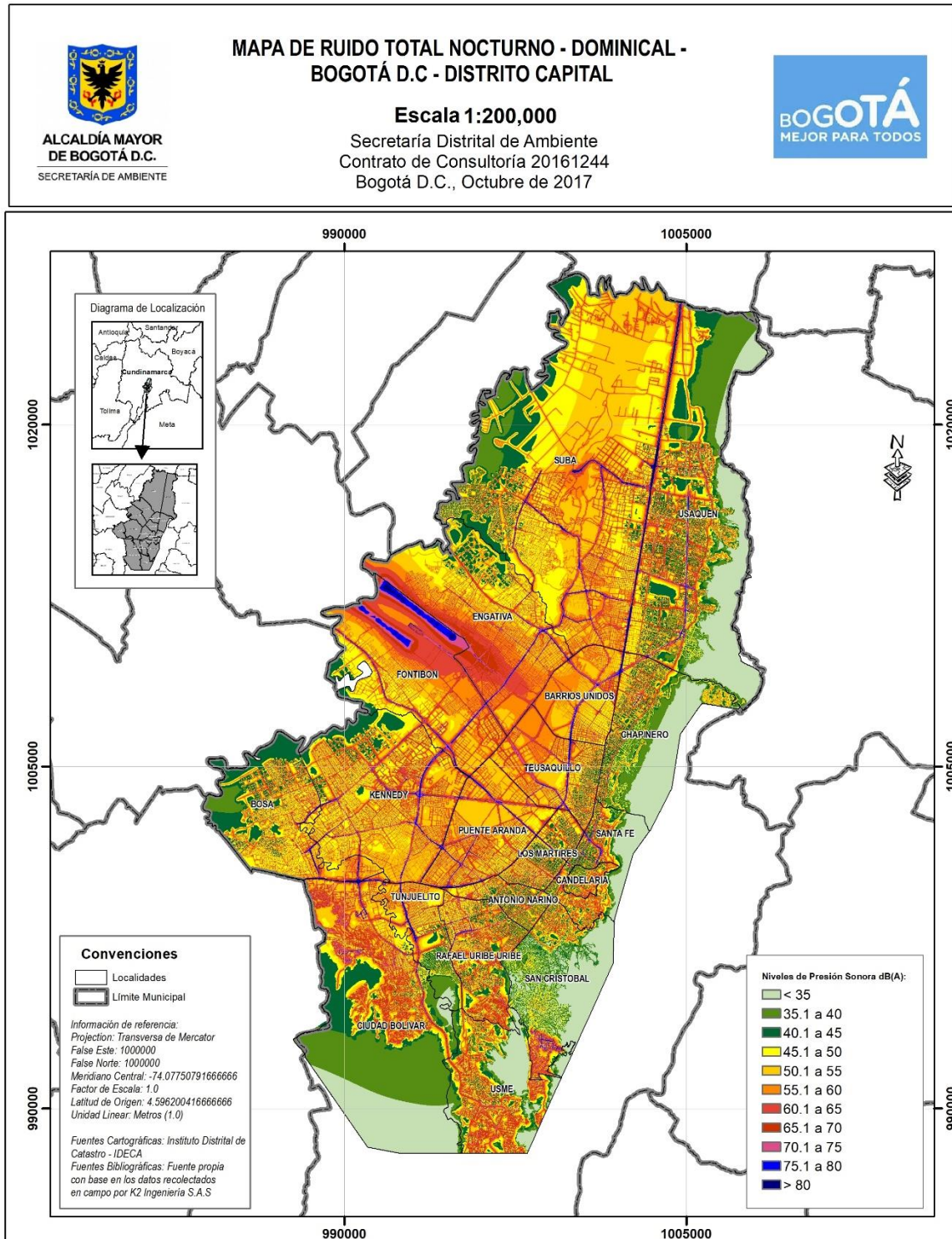


Ilustración 24. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical Nocturna [LRAeq, N]
Fuente: Propia (Estudio actual)

9.2 NIVEL EQUIVALENTE DÍA/NOCHE

Los siguientes mapas corresponden al cálculo obtenido bajo el indicador *LDN* descrito en la sección 7.4.

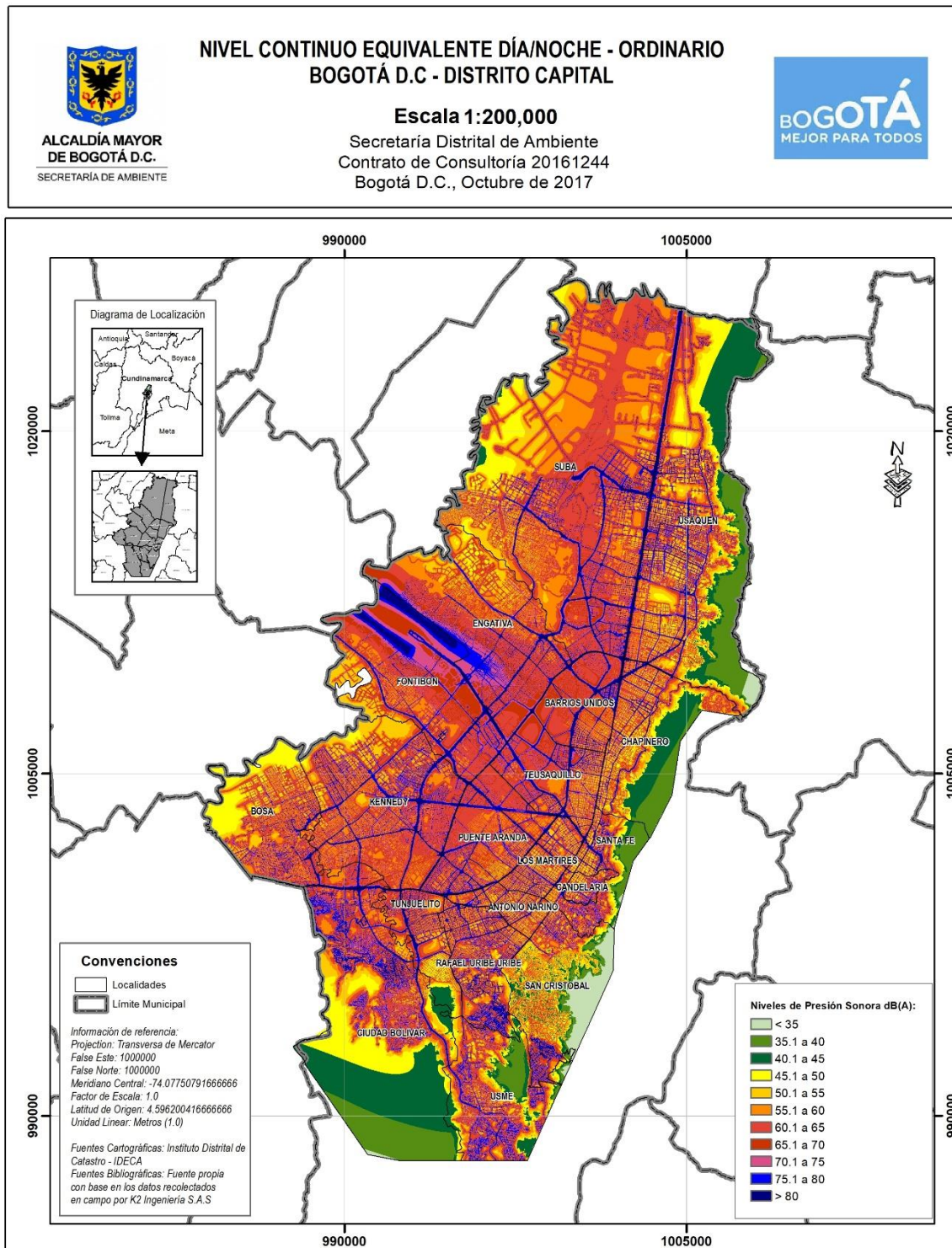


Ilustración 25. Mapa de Ruido Total Jornada Ordinaria 24h [LRAeq, DN]

Fuente: Propia (Estudio actual)

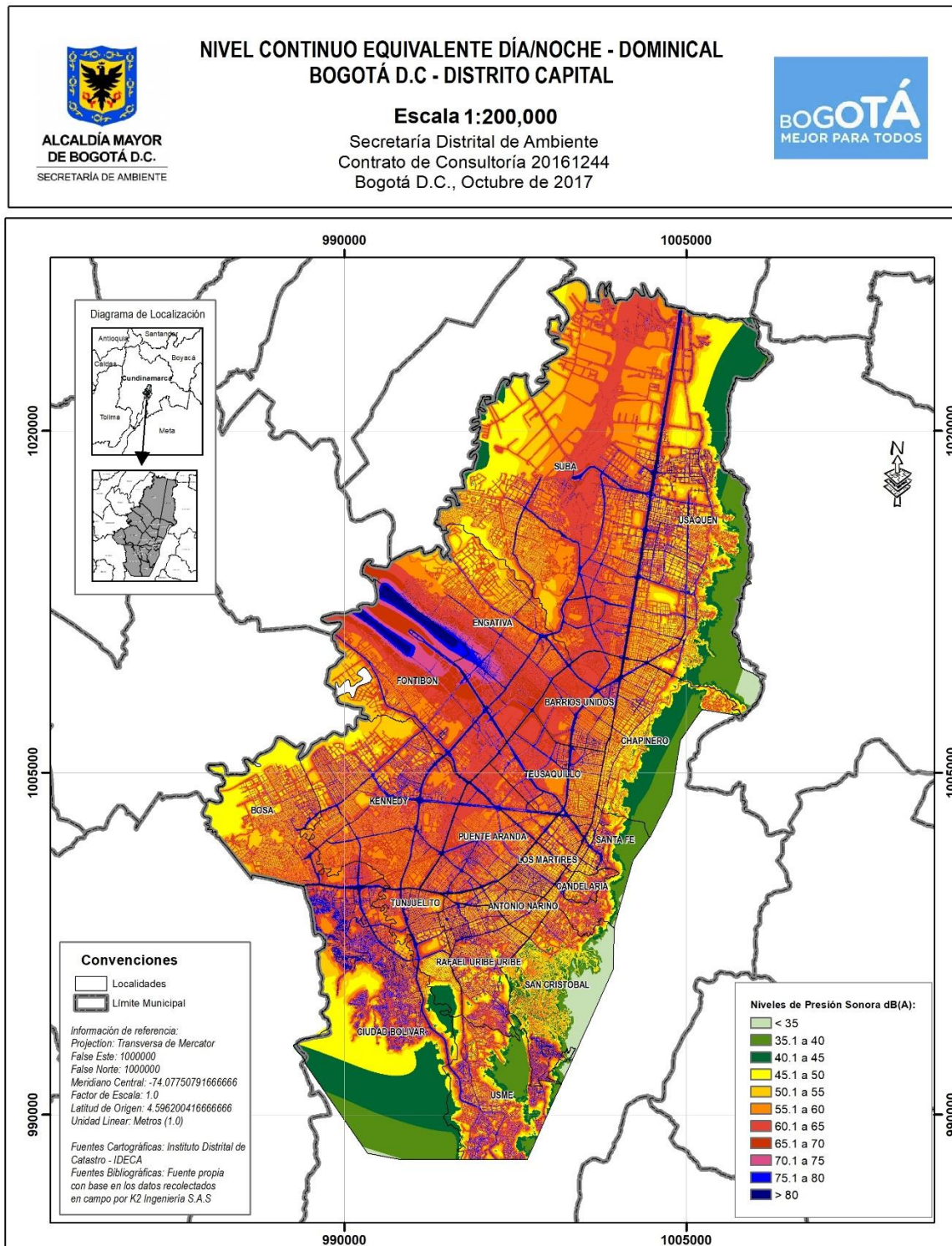


Ilustración 26. Mapa de Ruido Total Jornada Dominical 24h [LRAeq, DN]

Fuente: Propia (Estudio actual)

Todos los mapas mostrados anteriormente son el aporte total de cada una de las salidas gráficas que se detallan a continuación:

9.3 CONTRIBUCIONES DEL TRÁFICO VEHICULAR

Constituye una de las fuentes de ruido predominantes en todo el casco urbano de la ciudad, fuente que además, se mantuvo presente a lo largo de todas las localidades de la capital.

Los niveles de ruido generados por el tráfico rodado (vehículos generales y Transmilenio) se determinaron con base en la información de los aforos del año 2015 realizados por la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C. Partiendo de los aforos de 35 nodos se determinó para el resto de la malla vial, el flujo vehicular según la clasificación definida por el IDECA [4]. Al modelo se ingresaron por cada aforo redistribuido, los perfiles horarios respectivos (flujo promedio por cada hora del día).

Con el fin de identificar por individual los aportes del Transmilenio, se segregaron los flujos vehiculares para vías con vehículos sin Transmilenio y solo Transmilenio.

Para las ZAE se generaron perfiles adicionales con base en los aforos vehiculares realizados en los momentos de las mediciones de ruido ambiental, extrapolando los aforos de 15 minutos a 1 hora. Para el resto de hora, se identificaron de los aforos de la Secretaría de Movilidad valores similares, a partir de los cuales se determinaron los factores respectivos para determinar los flujos faltantes. En algunos casos no se tuvieron en cuenta estos perfiles adicionales por lo que hacían cortes bruscos con la distribución de flujo homogénea con respecto a las vías principales.

El ancho de la vía se configuro teniendo en cuenta la clasificación de las vías de la malla vial del IDECA [4]. El tipo de material de la vía correspondió a asfalto poroso. Considerando que la malla vial de Bogotá, D.C. se presentan en un terreno relativamente plano. Las velocidades para cada aforo vehicular también fueron tomadas del inventario de movilidad.

En las siguientes ilustraciones se presentan los mapas resultantes diferenciados por jornadas y horarios.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

9.3.1 APORTES DE TRÁFICO EN JORNADA ORDINARIA

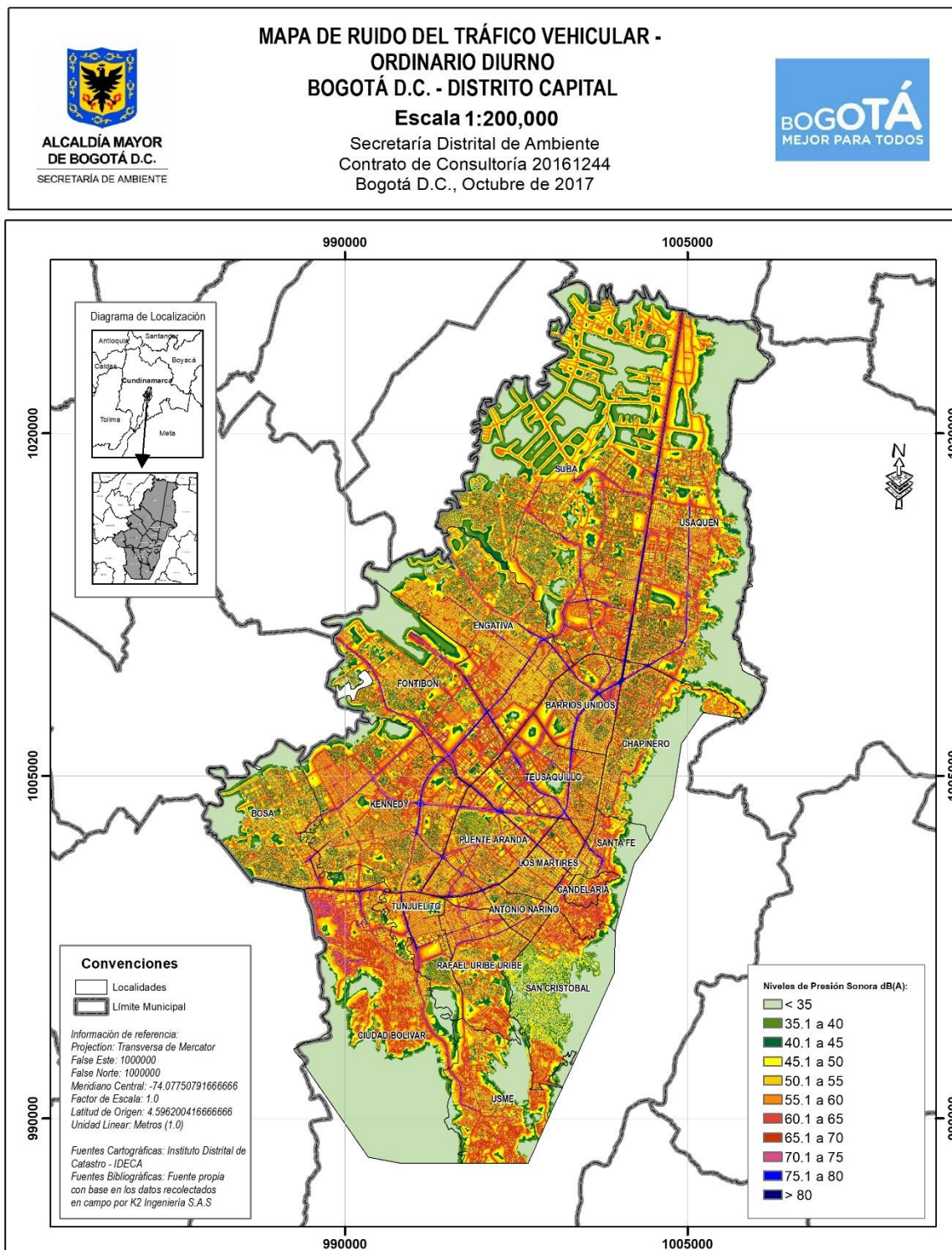


Ilustración 27. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Ord. Diurno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

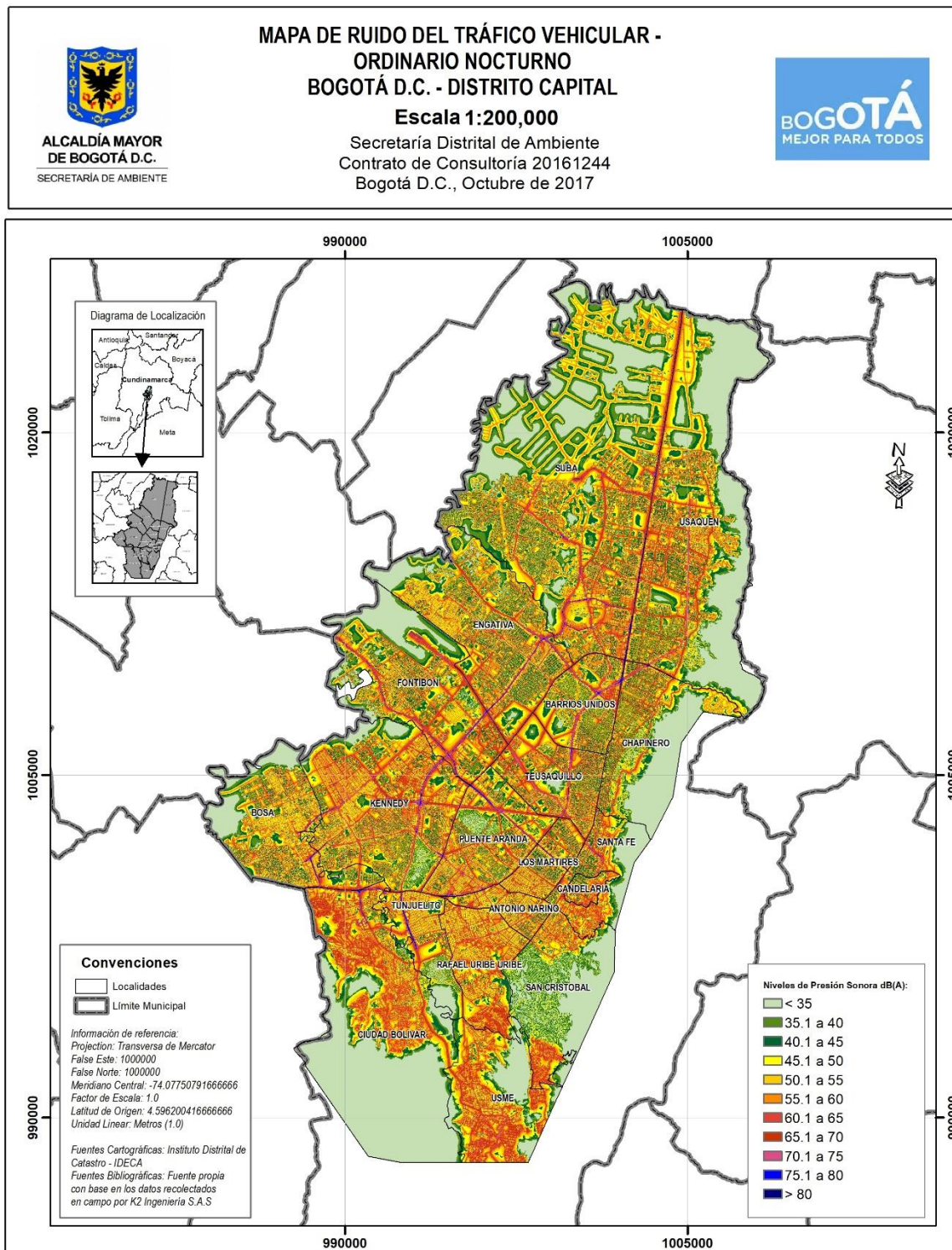


Ilustración 28. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Ord. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

9.3.2 APORTES DE TRÁFICO EN JORNADA DOMINICAL

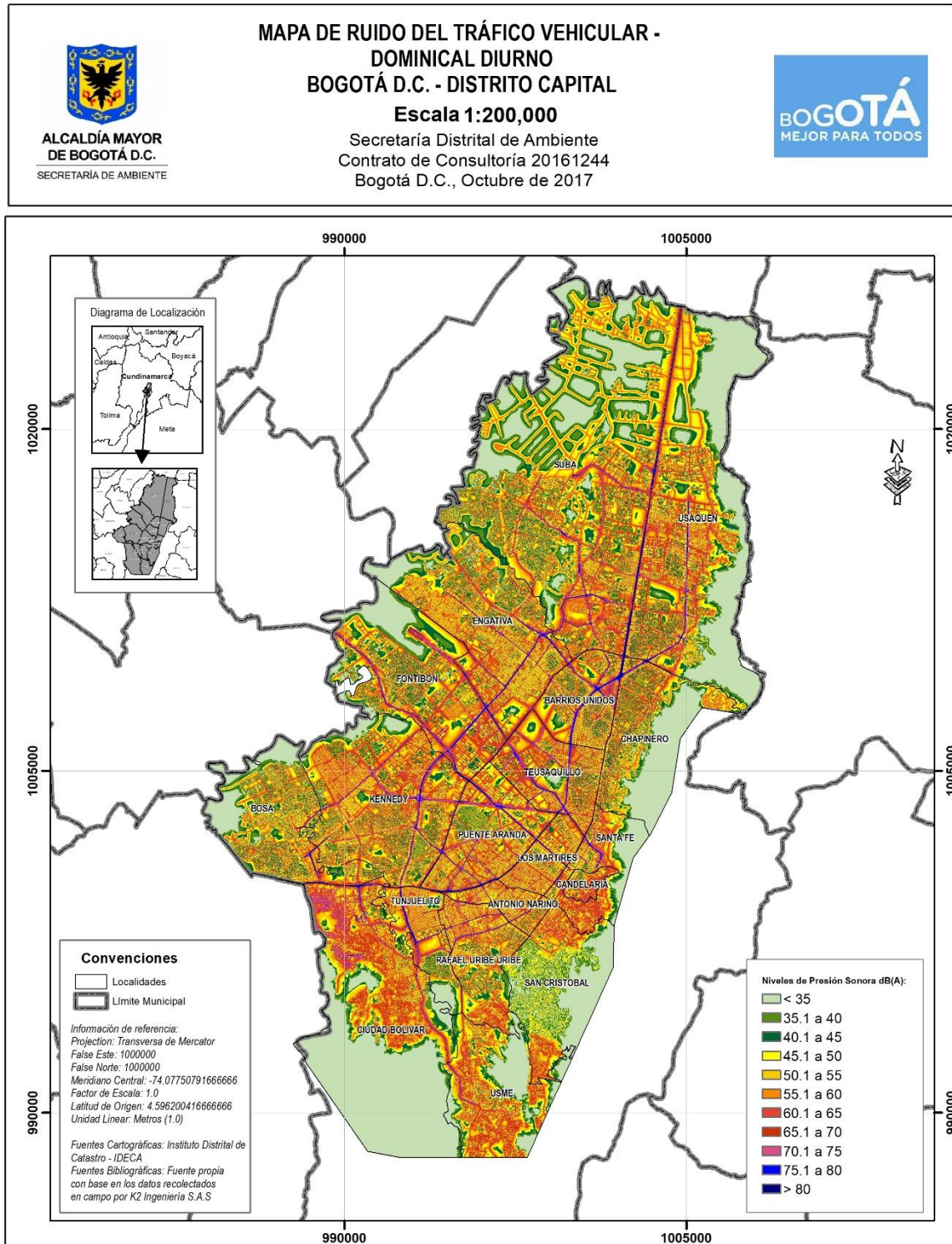


Ilustración 29. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Dom. Diurno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

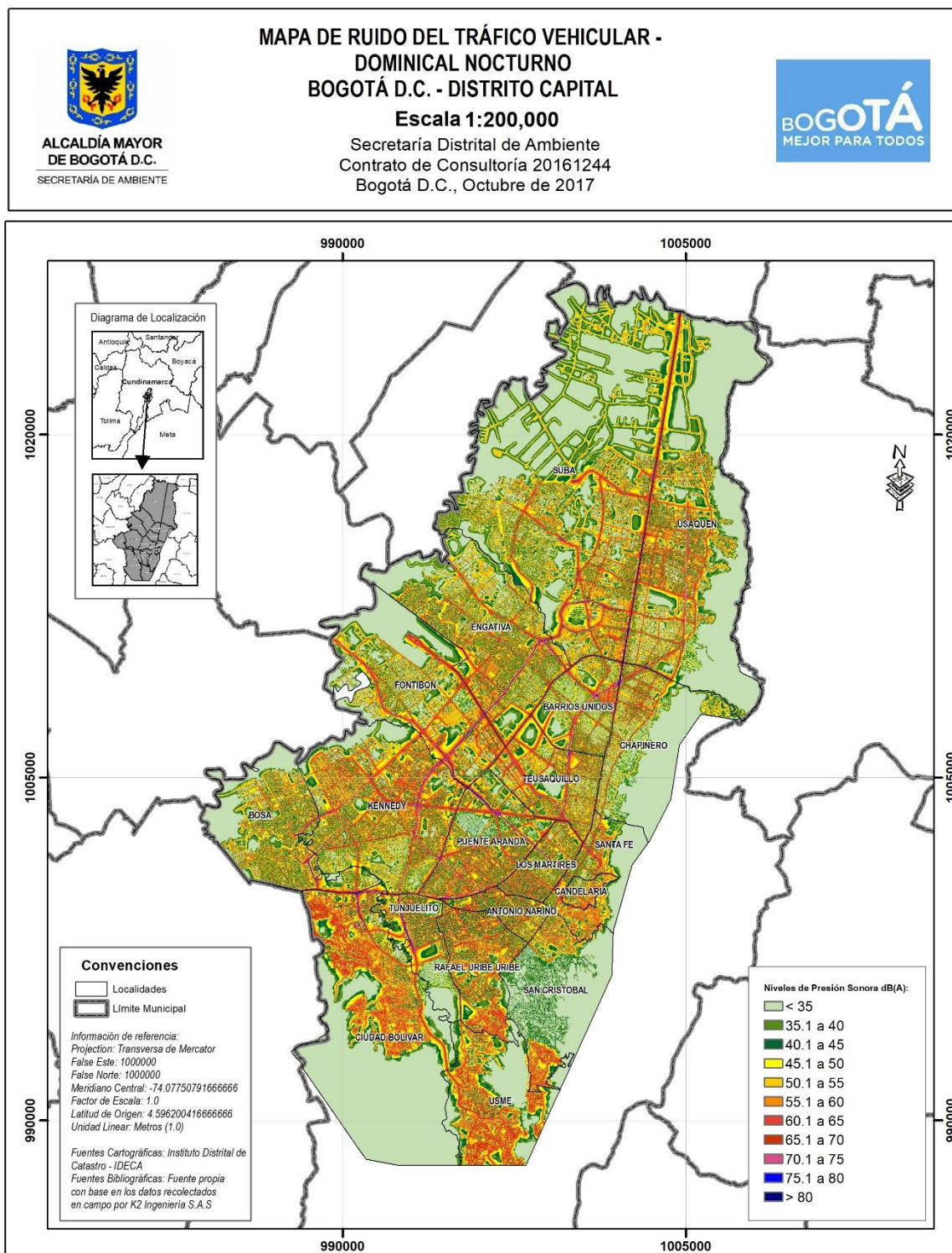


Ilustración 30. Mapa de Ruido Tráfico Vehicular (Dom. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

9.4 CONTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO TRANSMILENIO

9.4.1 APORTES TRANSMILENIO EN JORNADA ORDINARIA

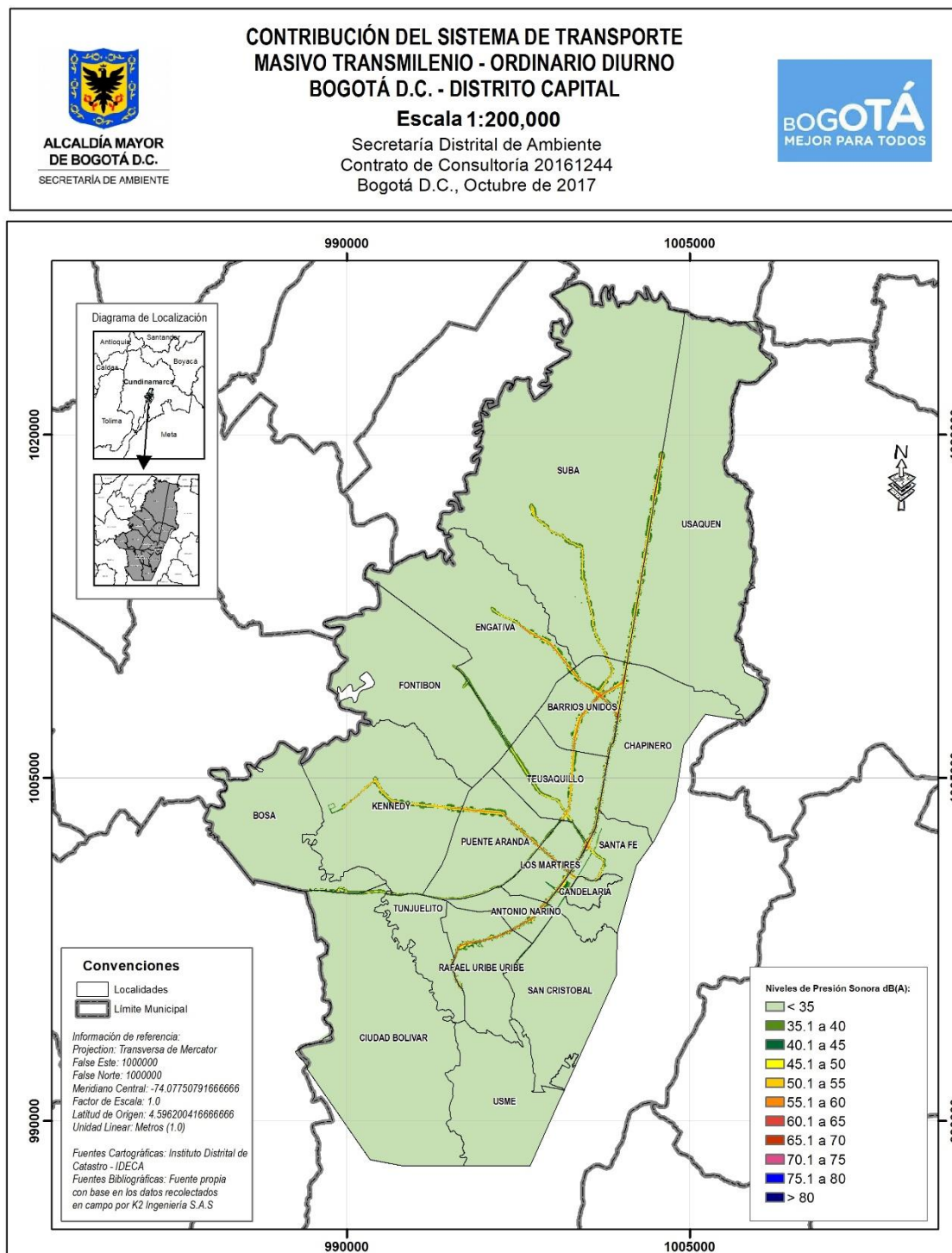


Ilustración 31. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Ord. Diurno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

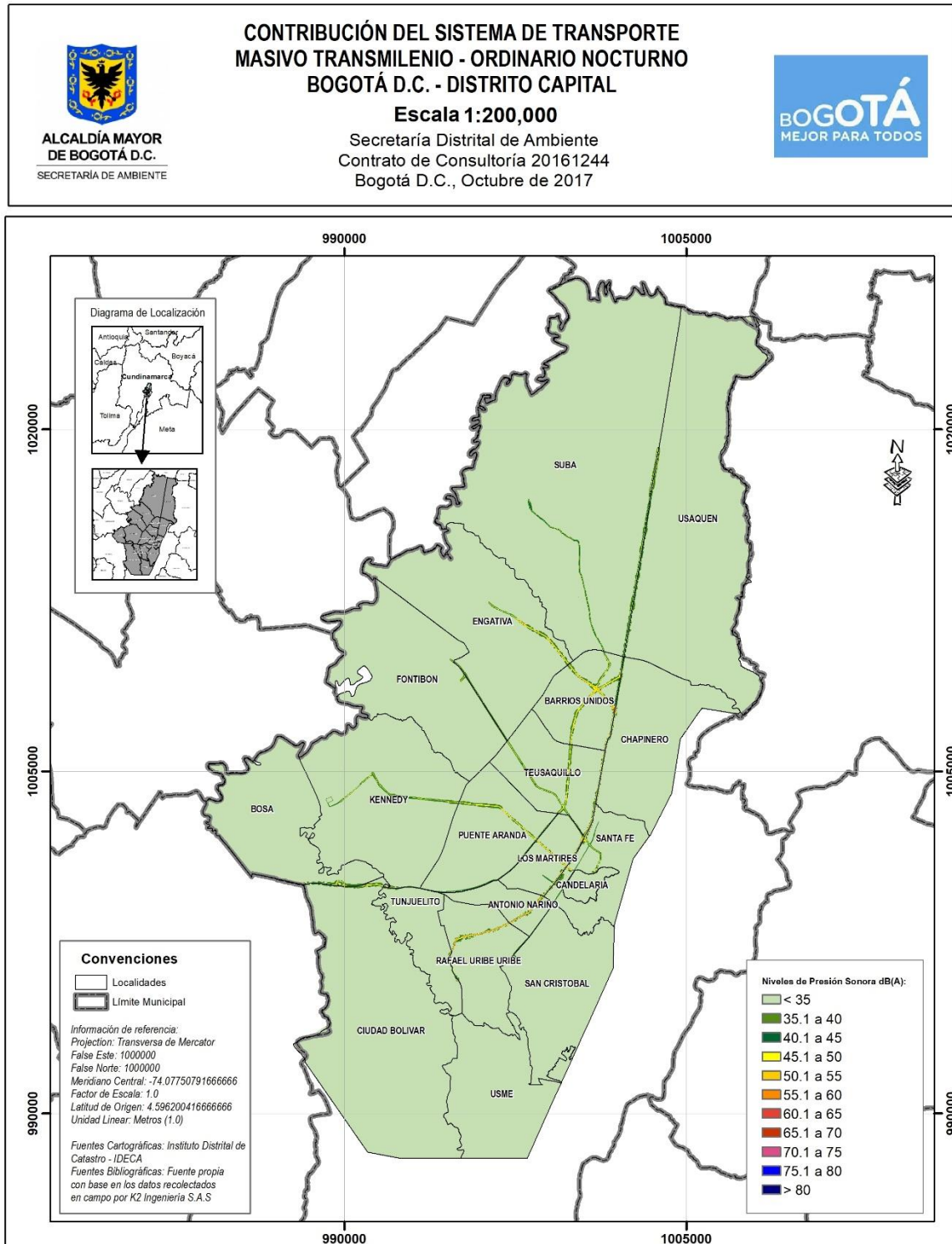


Ilustración 32. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Ord. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

9.4.2 APORTES TRANSMILENIO EN JORNADA DOMINICAL

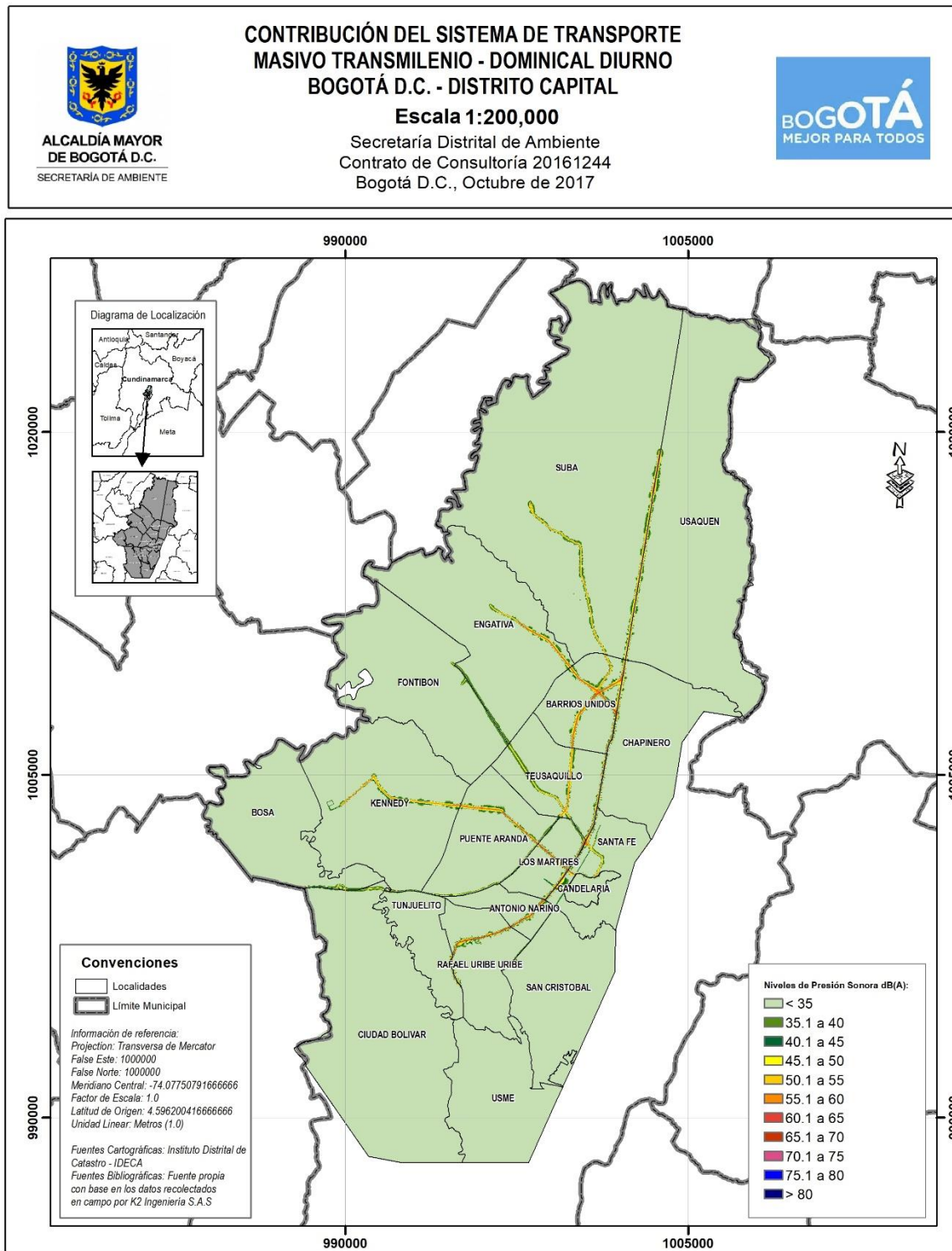


Ilustración 33. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Dom. Diurno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

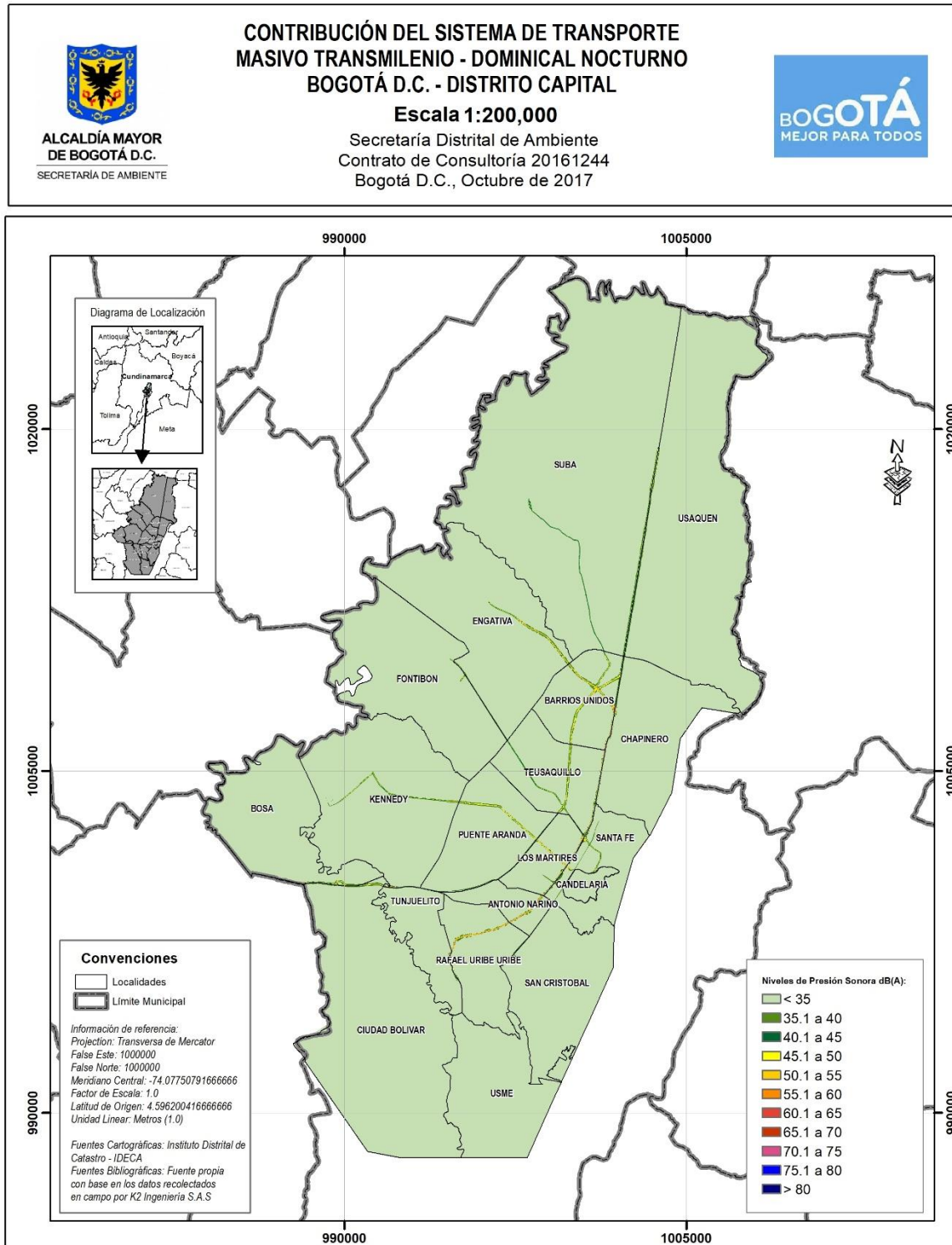


Ilustración 34. Mapa de Ruido Transporte Masivo (Dom. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

9.5 CONTRIBUCIÓN DE FUENTES FIJAS

Para las 20 ZEA (Zonas de Especial Atención) se incluyeron dentro de las fuentes aportadas al modelo, los diversos focos sonoros inventariados en la actividad de campo.

La siguiente tabla muestra el total de fuentes que se incluyeron en el mapa de ruido, y específicamente dentro de las 20 ZEA.

Tabla 8. Conteo de fuentes fijas

CATEGORÍA DE FUENTE	IMPACTO	TOTAL EN 20 ZEA	
		# DE FUENTES	REPRESENTATIVIDAD [%]
Actividad Industrial	Alto Impacto	126	9.0
Actividad Comercial	Alto Impacto	847	63.0
	Bajo Impacto	215	16.0
Actividad de Servicios	Alto Impacto	76	6.0
	Bajo Impacto	89	7.0

Fuente: Propia (Estudio actual)

Como se observa en la tabla anterior, la mayor representatividad en las ZEA incluidas en el modelo, estuvo dada por fuentes de alto impacto en actividad comercial. De esta actividad comercial el 56.5% se encuentra atribuido a Discotecas/Bares/Tabernas tal como se muestra a continuación:

Tabla 9. Conteo de fuentes fijas de actividad comercial

CATEGORÍA DE FUENTE	IMPACTO	TIPO DE FUENTE	TOTAL EN 20 ZEA	
			# DE FUENTES	REPRESENTATIVIDAD [%]
Actividad Comercial	Alto	Discotecas/Bares/Tabernas	764	56.5
	Bajo	Tiendas	168	12.4
	Alto	Amplificación de sonido	52	3.8
	Bajo	Supermercados	47	3.5
	Alto	Muestras artísticas en espacio público	24	1.8
	Alto	Perifoneo	7	0.5

Fuente: Propia (Estudio actual)

Teniendo en cuenta este tipo de aportes representativos y en general con la suma de todas las fuentes inventariadas, los mapas acústicos incluyeron para las 20 ZEA los aportes de fuentes diferentes al tráfico, con lo cual, en estas áreas se pudo llegar un nivel de caracterización mayor.

Es de aclararse, que para las localidades donde no existen ZEA, la fuente de contribución exclusiva de ruido es el tráfico vehicular.

En los apartados siguientes se muestran las salidas gráficas totales de la ciudad a partir de cada tipo de actividad, no obstante, al ser las ZEA polígonos pequeños comparados con la extensión total del territorio capitalino, se sugiere la revisión de los anexos por localidad donde se puede apreciar el detalle de contribución de cada fuente en la ZEA presente.

9.5.1 APORTES POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL

La mayor parte de las industrias son susceptibles de generar ruido en el entorno sobre el que se ubican debido a su actividad, y en muchos casos, les es de aplicación normativa que regula los niveles de emisión que pueden generar. Por ello, dentro del MER Bogotá se han caracterizado este tipo de fuentes para determinar su aporte dentro de las 20 ZEA (refiriendo dentro de ellas solo a aquellas ZEA donde existe actividad industrial).

Este aporte fue obtenido a modo de mapa de ruido, no obstante, dada la pequeña extensión de las ZEA con actividad industrial frente a la totalidad de la extensión de la capital, se obtiene mayor nivel de detalle de esta contribución de ruido con acercamientos directos a los mapas de cada localidad (véase Anexo Digital 15).

Las fuentes incluidas dentro de esta capa del mapa de ruido total de Bogotá D.C. son las mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 10. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad industrial

CATEGORÍA DE FUENTE	IMPACTO	TIPO DE FUENTE	CÓDIGO
Actividad Industrial	Alto	Fábrica	9
	Alto	Planta de Producción	10
	Alto	Carpinterías	11
	Alto	Taller	12

Fuente: Propia (Estudio actual)

Es de aclararse que el aporte industrial se centró en la determinación de niveles con fines de evaluación ambiental, con lo cual no se incluyeron valoraciones enmarcadas en higiene y salud en el trabajo que representan los niveles de ruido al interior de cada industria.

A continuación, se presentan los mapas de ruido de esta actividad en las ZEA vistos desde la totalidad de la ciudad.

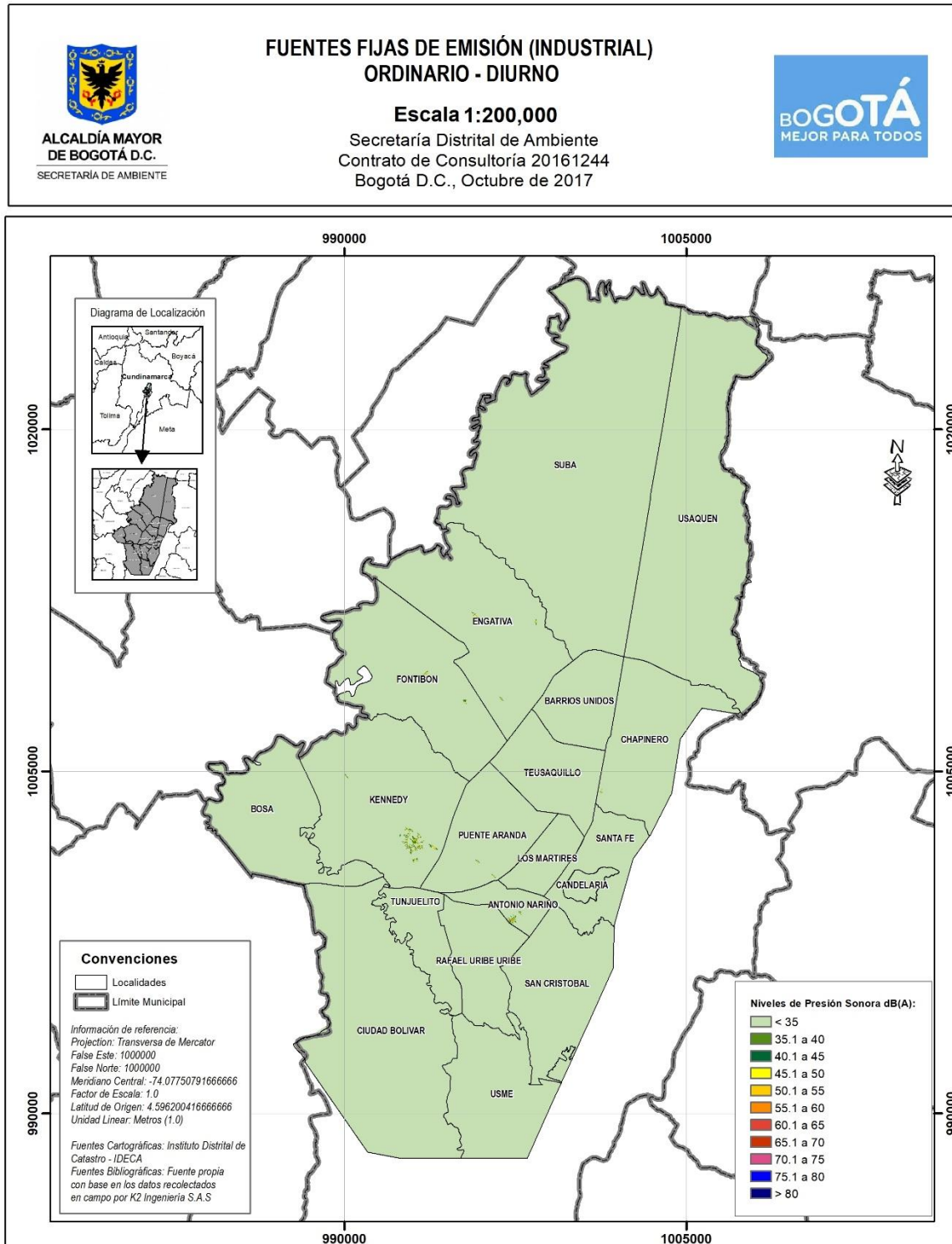


Ilustración 35. Mapa de Ruido por fuentes industriales en ZEA (Ord. Diurno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

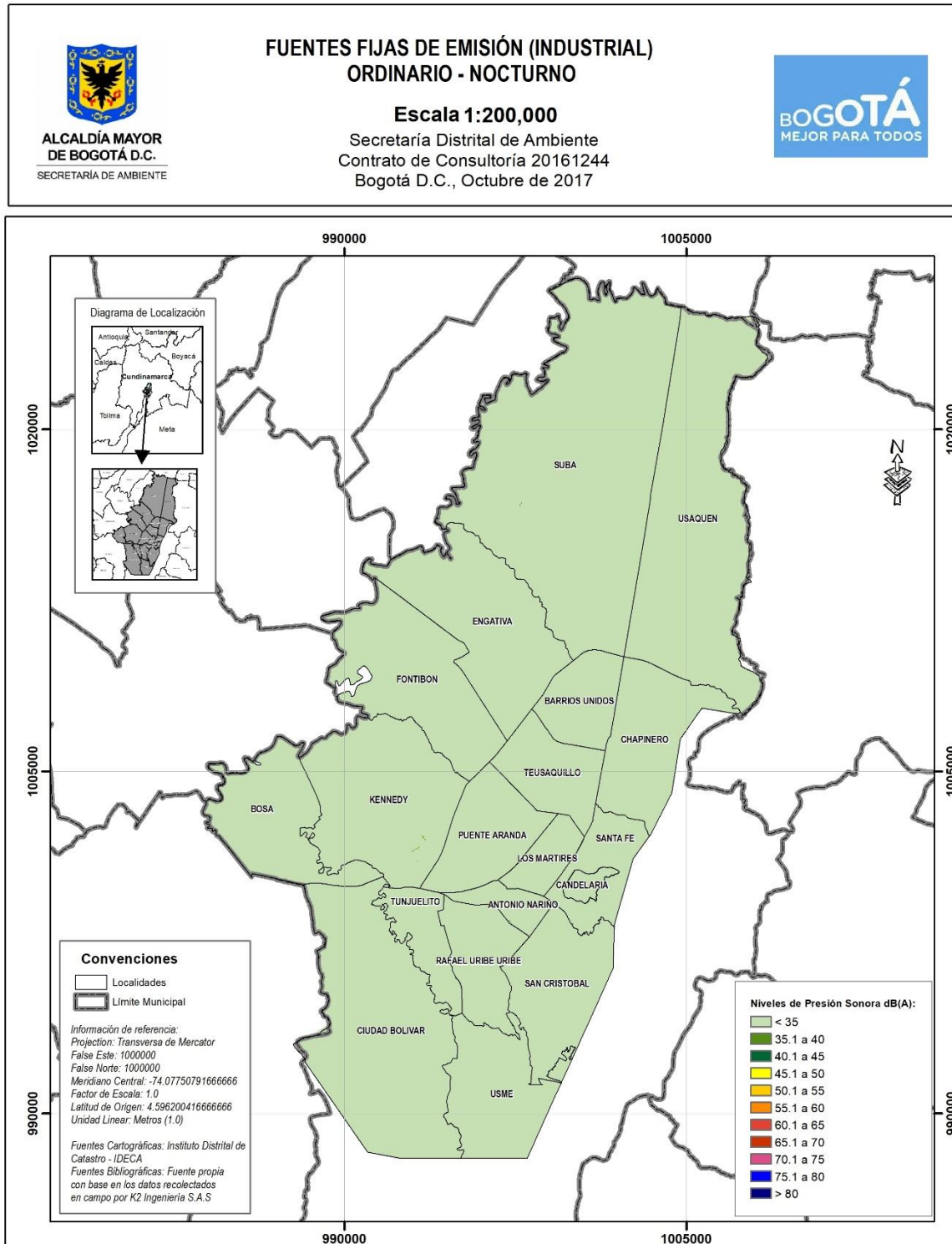


Ilustración 36. Mapa de Ruido por fuentes Industrial en ZEA (Ord. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

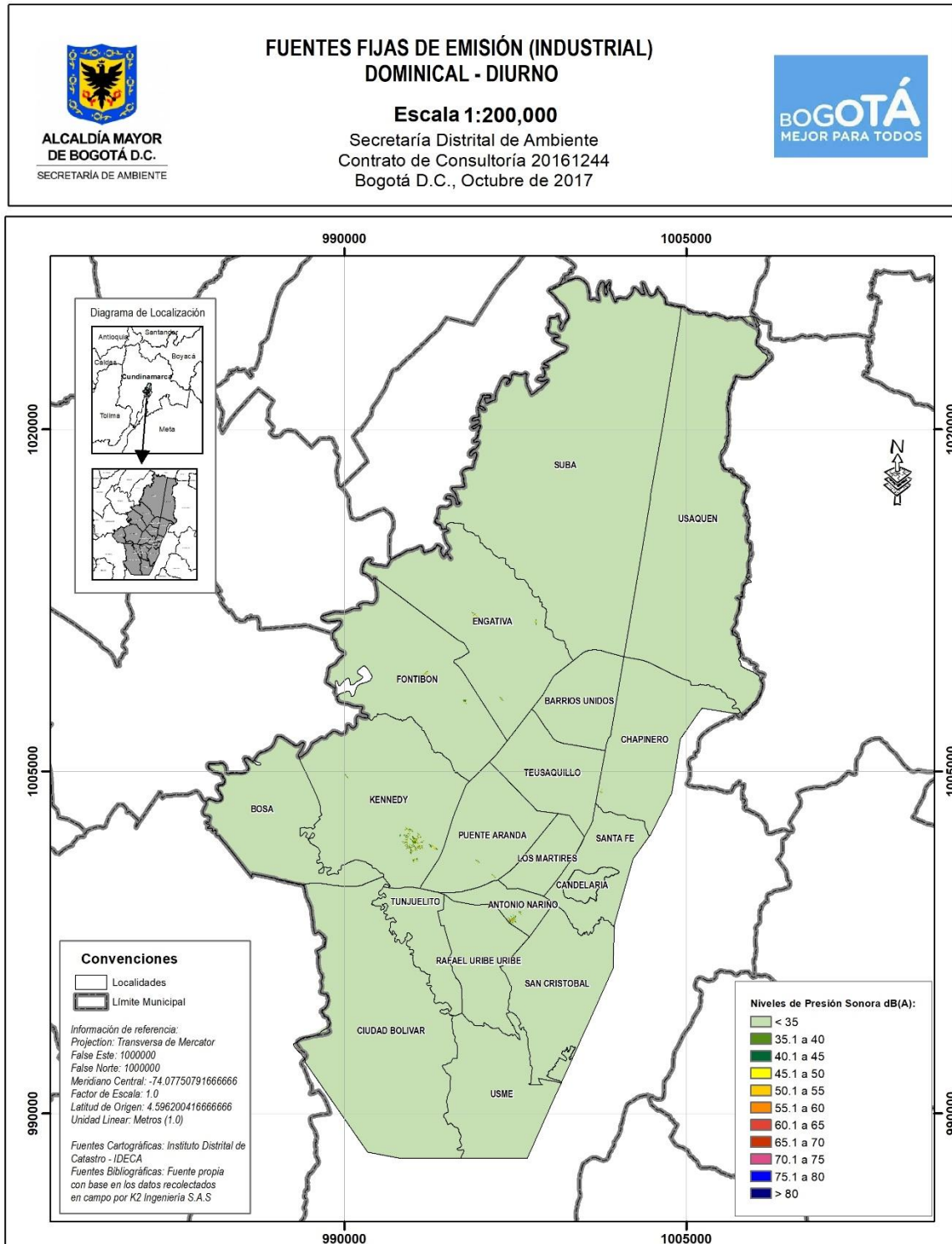


Ilustración 37. Mapa de Ruido por fuentes Industriales en ZEA (Dom. Diurno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

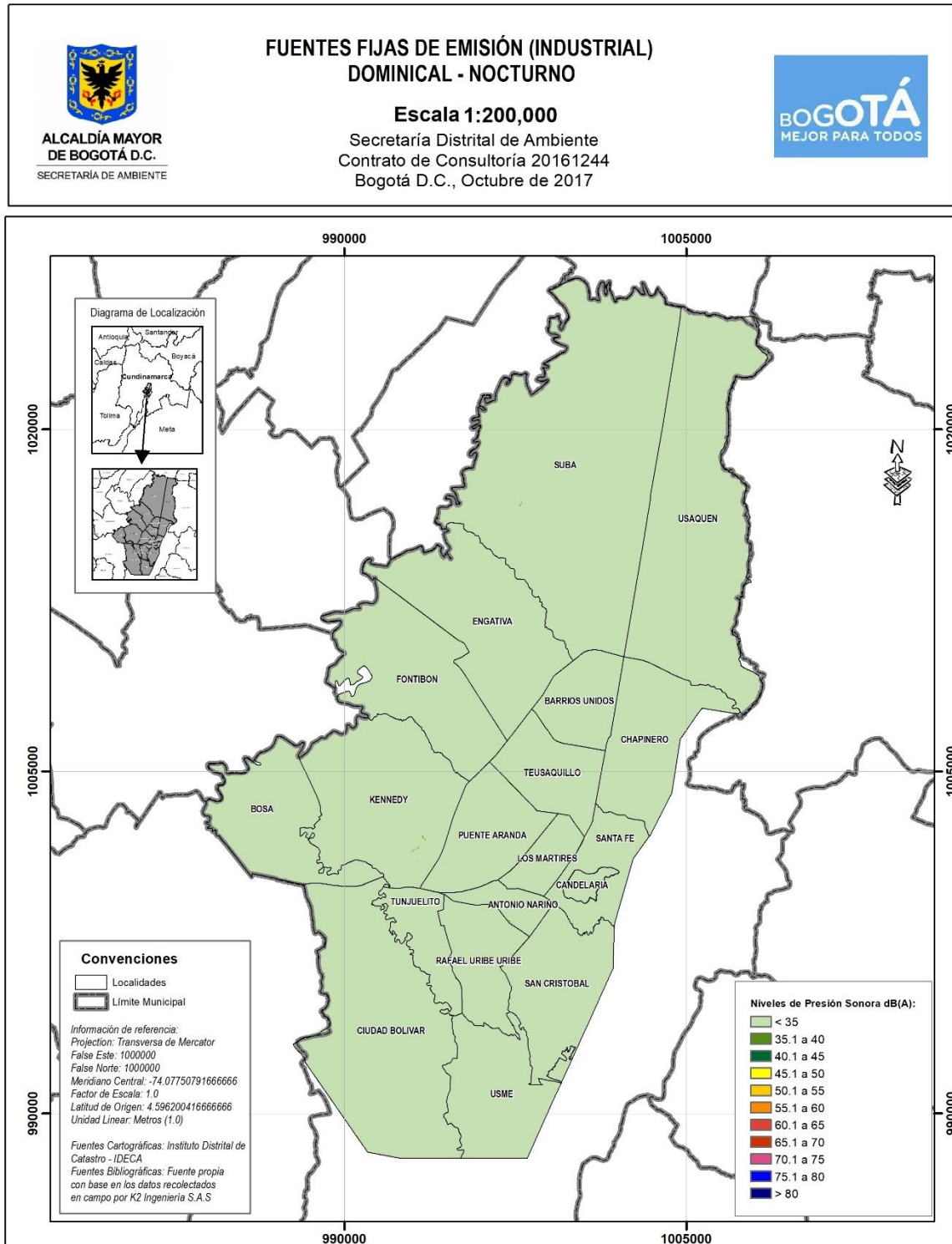


Ilustración 38. Mapa de Ruido por fuentes Industriales en ZEA (Dom. Nocturno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

9.5.2 APORTES POR ACTIVIDAD COMERCIAL

Como se mencionó, los aportes por focos de ruido diferentes al tráfico fueron estimados en los mapas acústicos partiendo del inventario de fuentes en las 20 zonas de especial atención.

En concreto las fuentes comerciales que se incluyeron en el modelo para las 20 ZEA, que se muestran en las ilustraciones más adelante (Ilustración 39, Ilustración 40, Ilustración 41 e Ilustración 42) contienen la contribución exclusiva de los tipos de fuentes que aparecen a continuación:

Tabla 11. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad comercial

CATEGORÍA DE FUENTE	IMPACTO	TIPO DE FUENTE	CÓDIGO
Actividad Comercial	Bajo	Tiendas	1
	Bajo	Supermercados	2
	Alto	Discotecas/Bares/Tabernas	3
	Alto	Perifoneo	4
	Alto	Amplificación de sonido	5
	Alto	Muestras artísticas en espacio público	8

Fuente: Propia (Estudio actual)

Como se observa en los mapas siguientes, la contribución de la actividad comercial no se aprecia con facilidad en la salida gráfica total de Bogotá, sin embargo, se presentan los resultados en conformidad con las obligaciones específicas del contrato de consultoría; ahora bien, para una mejor interpretación del aporte de este tipo de actividad, en el Anexo Digital 15 se presentan los resultados para cada localidad donde tiene presencia la ZEA.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

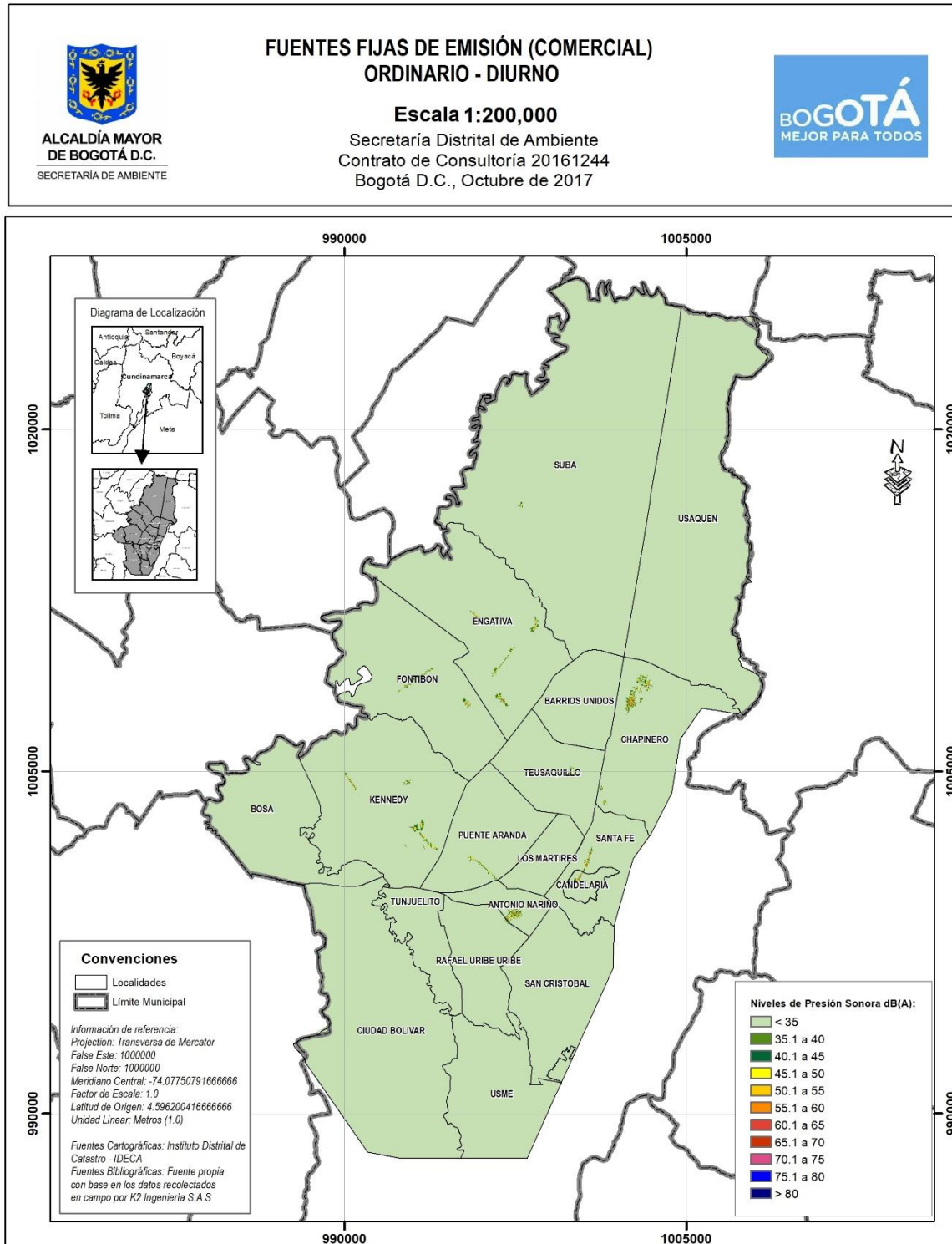


Ilustración 39. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Ord. Diurno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

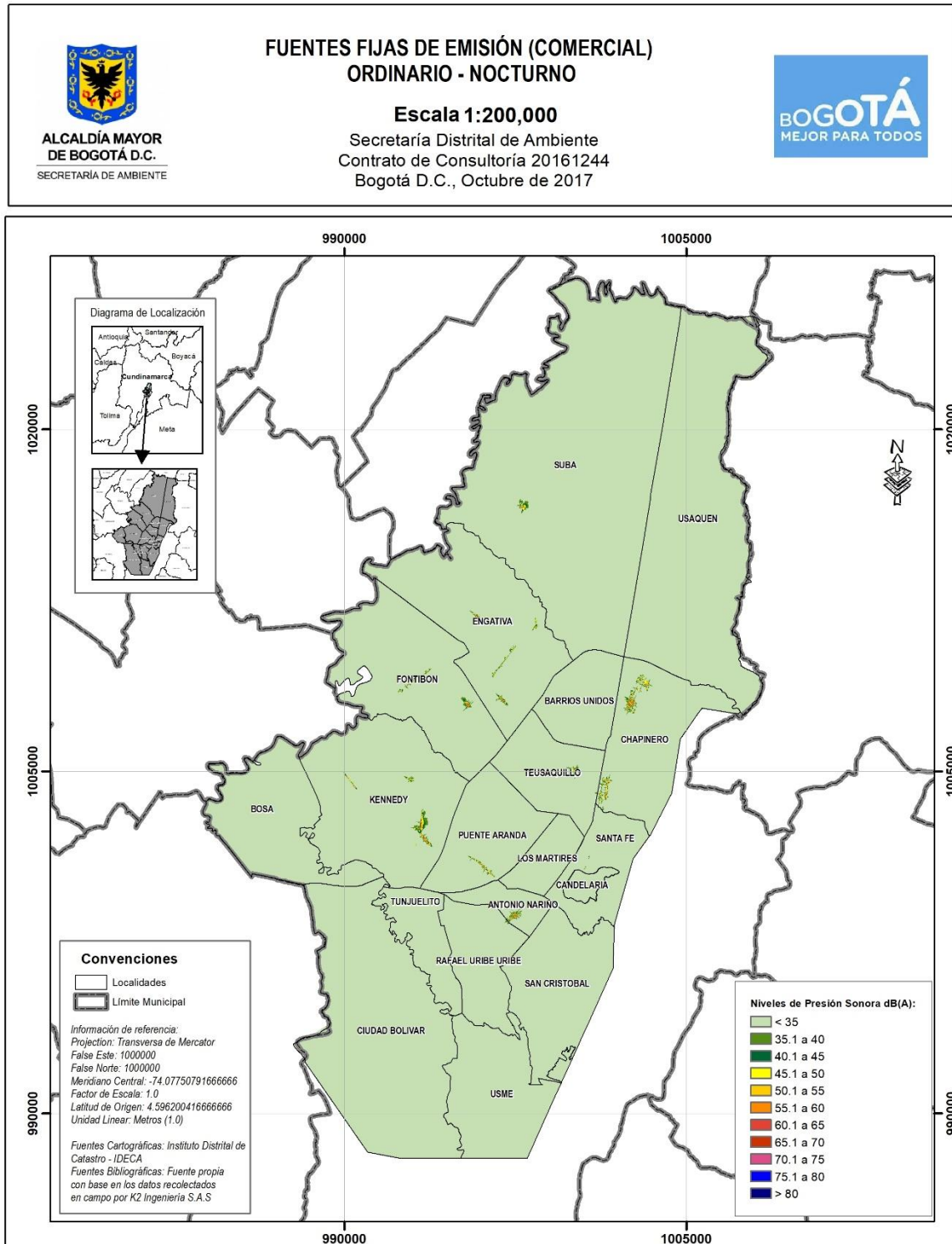


Ilustración 40. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Ord. Nocturno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

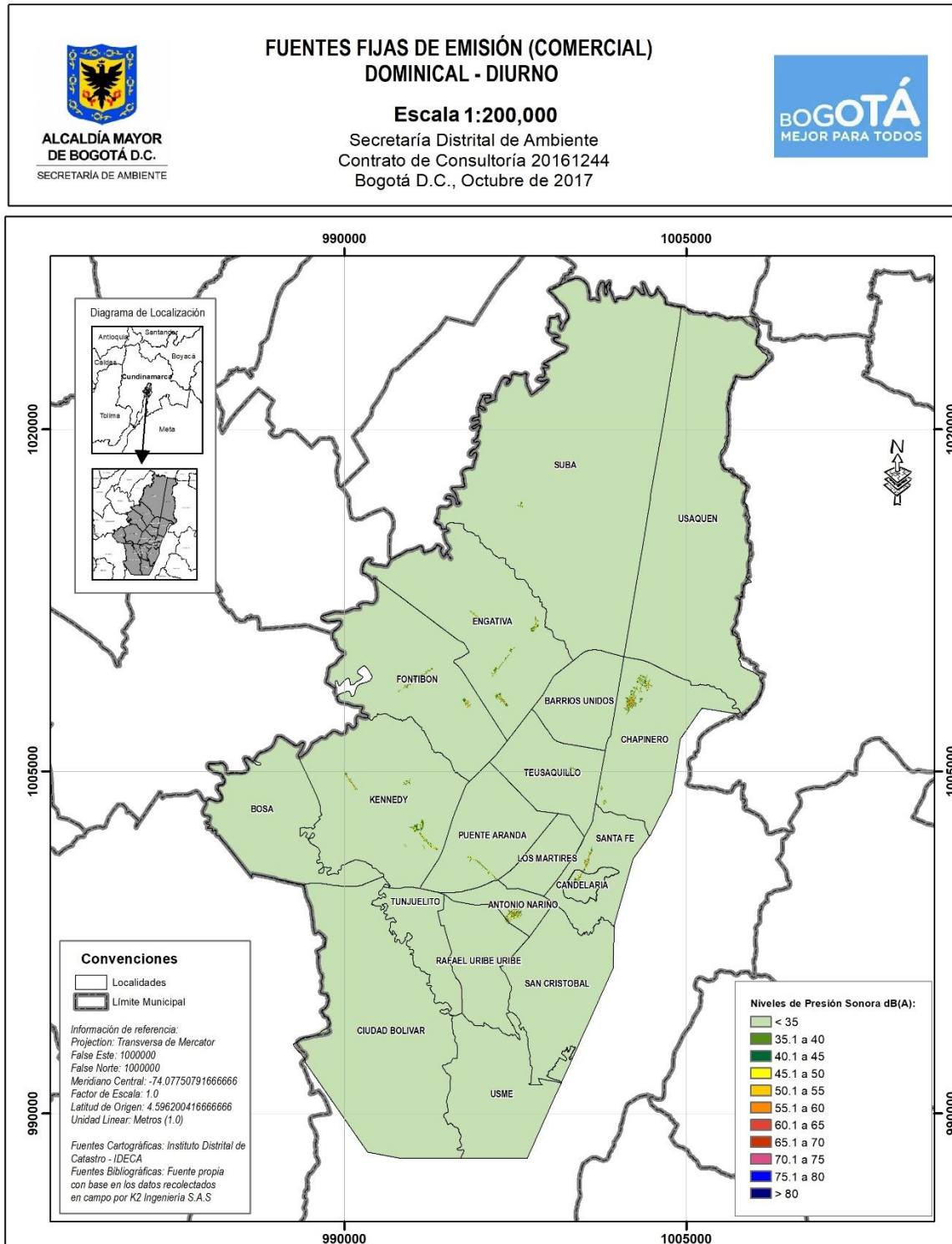


Ilustración 41. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Dom. Diurno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

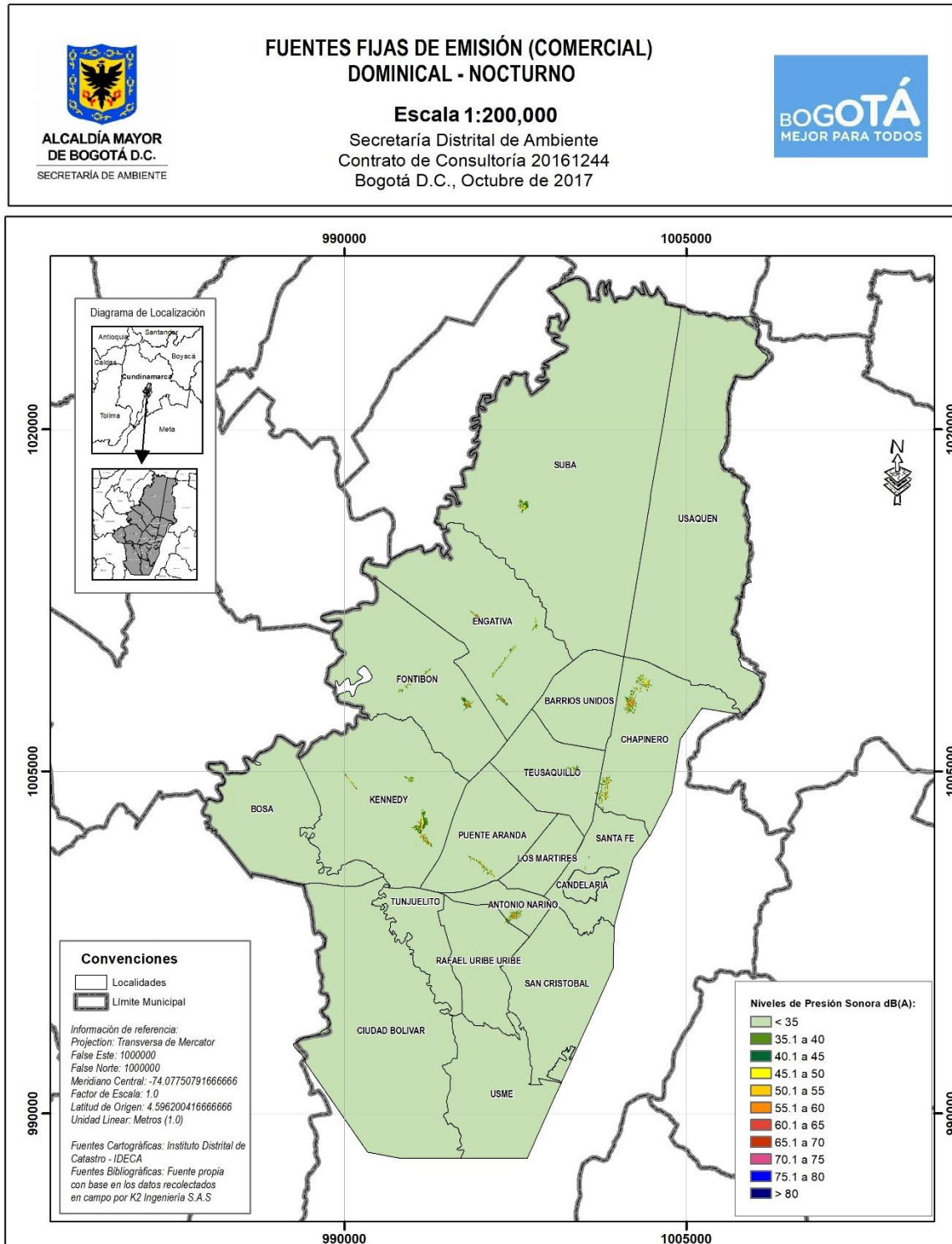


Ilustración 42. Mapa de Ruido por fuentes comerciales en ZEA (Dom. Nocturno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

9.5.3 APORTES POR ACTIVIDAD DE SERVICIOS

De igual manera que se realizó para las fuentes fijas mencionadas anteriormente, se obtuvieron los mapas acústicos por aporte de la actividad de servicios en las 20 ZEA.

El tipo de fuentes incluidas en esta actividad es el siguiente:

Tabla 12. Tipo de fuentes cuantificadas de actividad industrial

CATEGORÍA DE FUENTE	IMPACTO	TIPO DE FUENTE	CÓDIGO
Actividad de Servicios	Bajo	Hospitales	13
	Alto	Alarmas	14
	Bajo	Colegios	15
	Bajo	Universidades	16
	Alto	Iglesias	17
	Alto	Estadios	18
	Bajo	Coliseos	19
	Alto	Salas de Culto	20
	Alto	Lavaderos	21
	Alto	Obras en construcción	22
	Alto	Trabajos de carga/descarga	23
	Alto	Conciertos	24
	Alto	Carnavales/Desfiles	25
	Bajo	Teatros	26
	Alto	Estaciones de servicio	27
	Alto	Motobombas	28
	Alto	Plantas eléctricas	29
	Bajo	Complejos deportivos	6
	Bajo	Parques	7
	Bajo	Parqueaderos	30

Fuente: Propia (Estudio actual)

En los mapas acústicos de la totalidad de la ciudad capital no se perciben contribuciones de gran aporte para toda la extensión del territorio, sin embargo, en los mapas detallados por localidad, donde se encuentran las ZEA inventariadas con estas fuentes, se puede apreciar el detalle a mayor profundidad (véase Anexo Digital 15).

A continuación, se presentan los mapas de ruido de esta actividad inventariada en las ZEA para la totalidad de la ciudad.

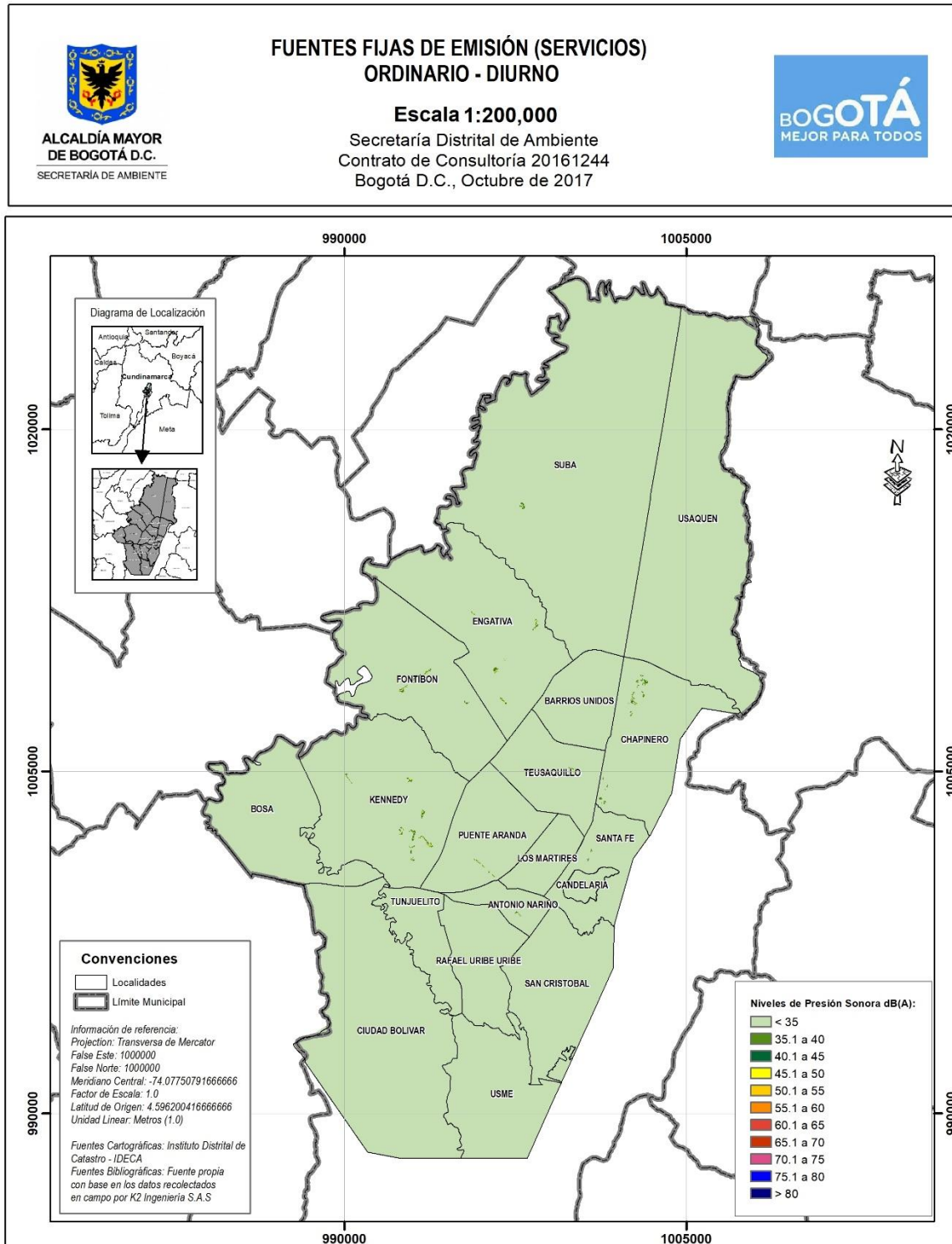


Ilustración 43. Mapa de Ruido por fuentes servicios en ZEA (Ord. Diurno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

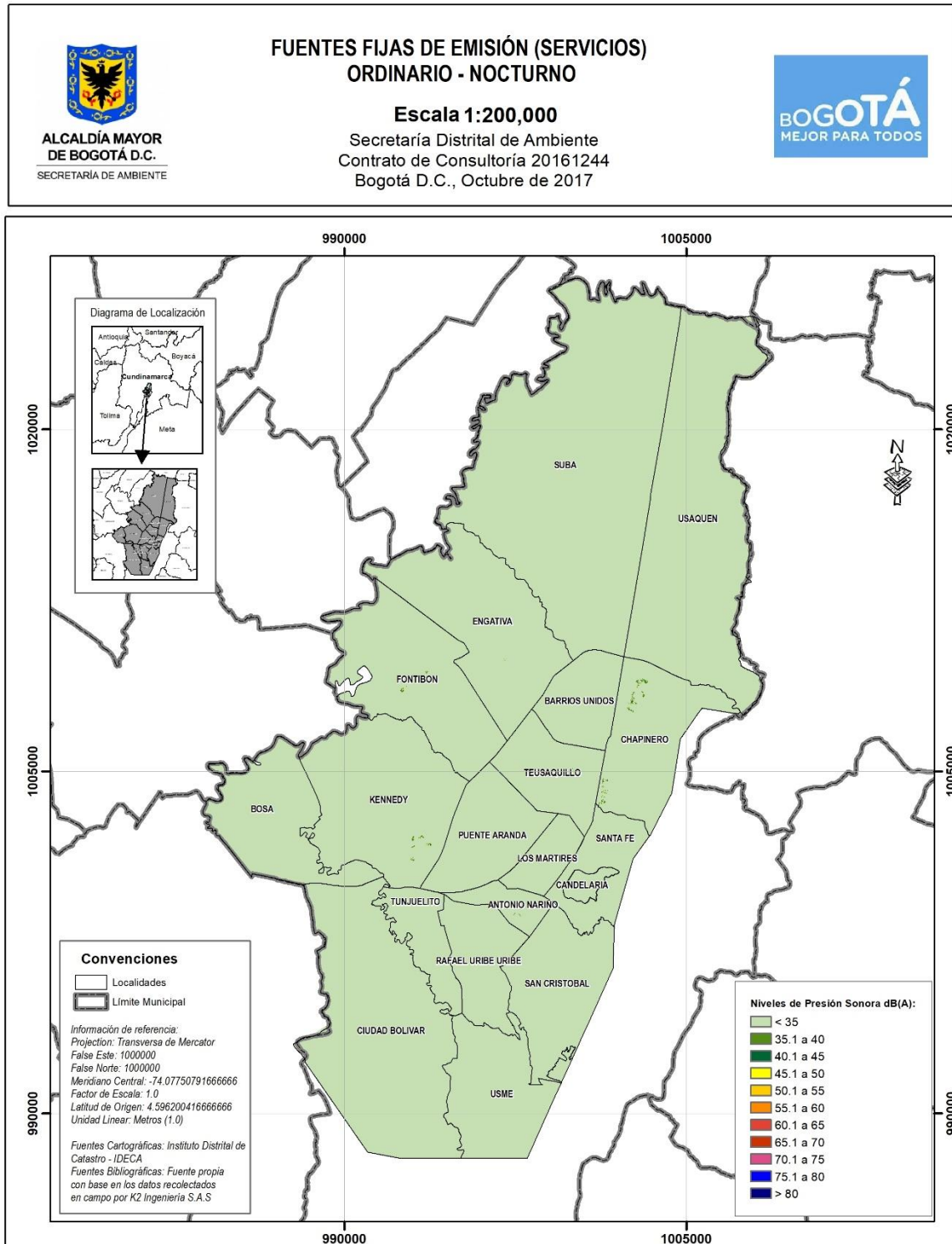


Ilustración 44. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Ord. Nocturno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

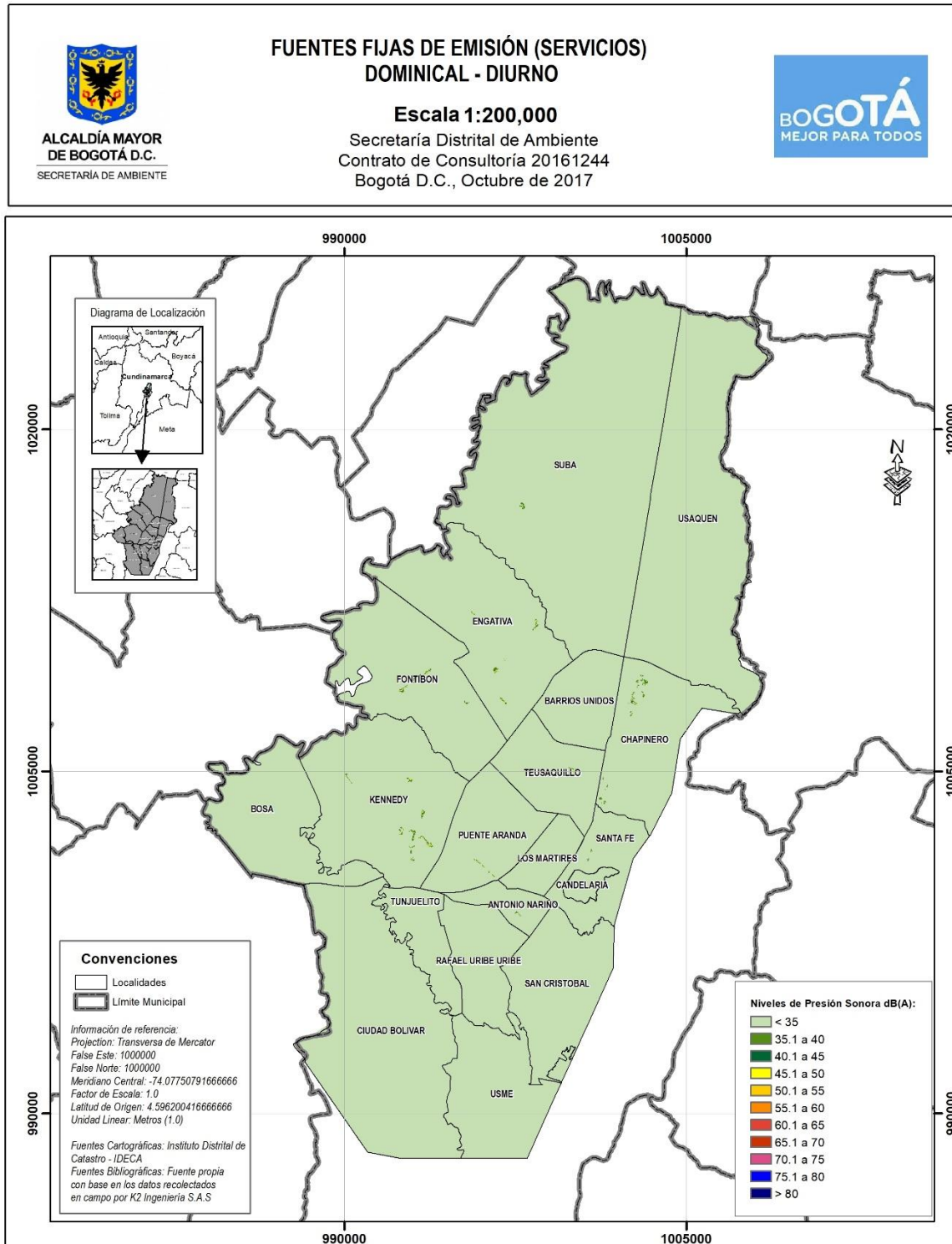


Ilustración 45. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Dom. Diurno)
Fuente: Propia (Estudio actual)

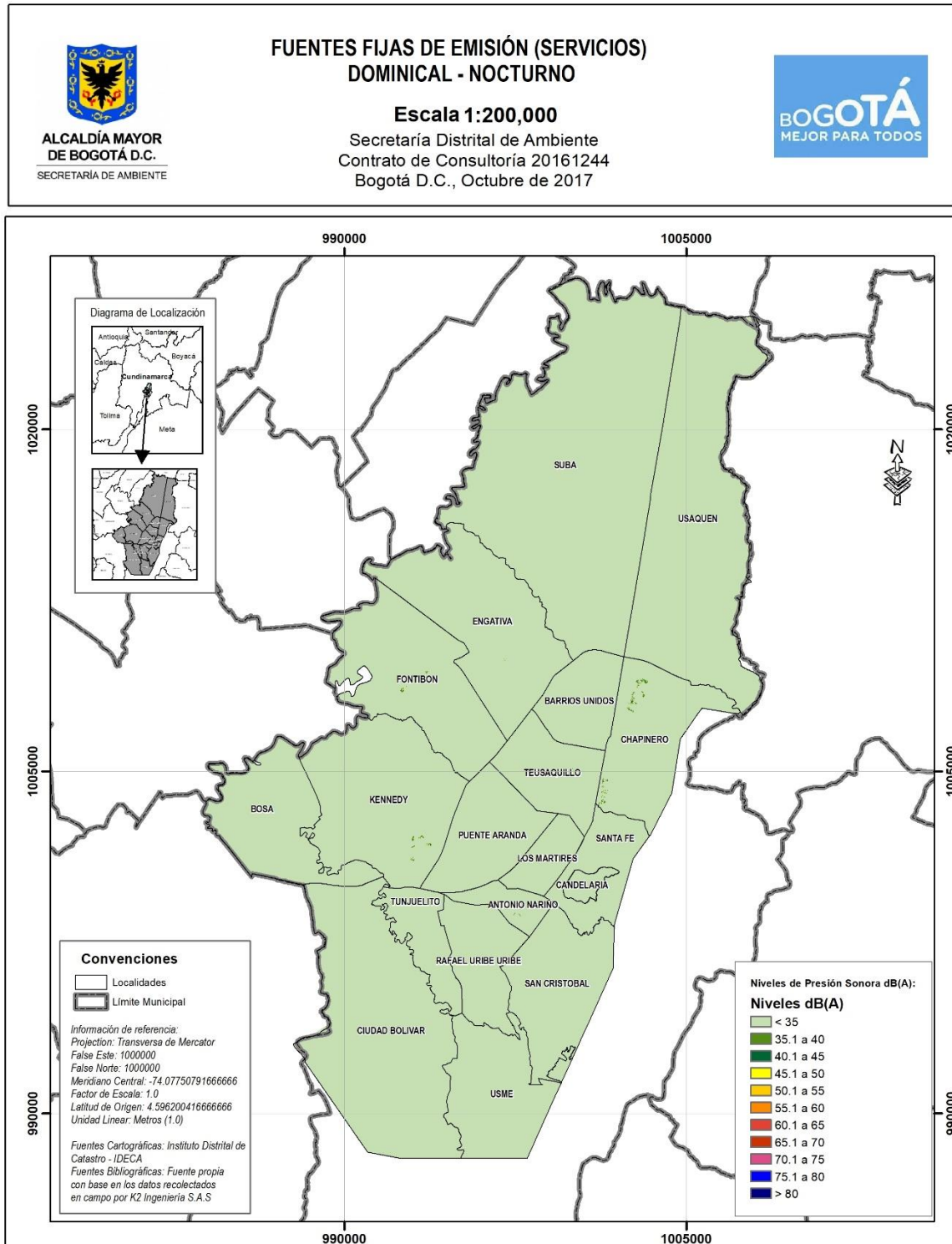


Ilustración 46. Mapa de Ruido por fuentes Servicios en ZEA (Dom. Nocturno)

Fuente: Propia (Estudio actual)

9.6 HUELLA ACÚSTICA AERÓDROMO

La huella acústica por actividad del aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá, fue obtenida según la información suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente SDA, que incluyó aforo aéreo (bitácoras de operación) y trayectorias de vuelo (planes de vuelo).

Se aclara que tal información está acotada a restricciones de datos existentes por la Entidad (SDA) y la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), al finalizar el convenio 033 en el año 2015.

Durante tal convenio, la Secretaria Distrital de Ambiente contó con un sistema de monitoreo de ruido a las operaciones aéreas del Aeropuerto Internacional El Dorado, cuyo objetivo es evaluar y analizar los registros suministrados por la red de monitoreo de los niveles de ruido generados por el tráfico aéreo, con el fin de proporcionar información técnica que permita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecer las herramientas de gestión necesarias para el cumplimiento de la normatividad ambiental de ruido.

A continuación, se presenta la huella acústica de la actividad del Aeropuerto Internacional El Dorado SKBO sobre la ciudad de Bogotá.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

9.6.1 APORTES AERÓDROMO EN JORNADA ORDINARIA

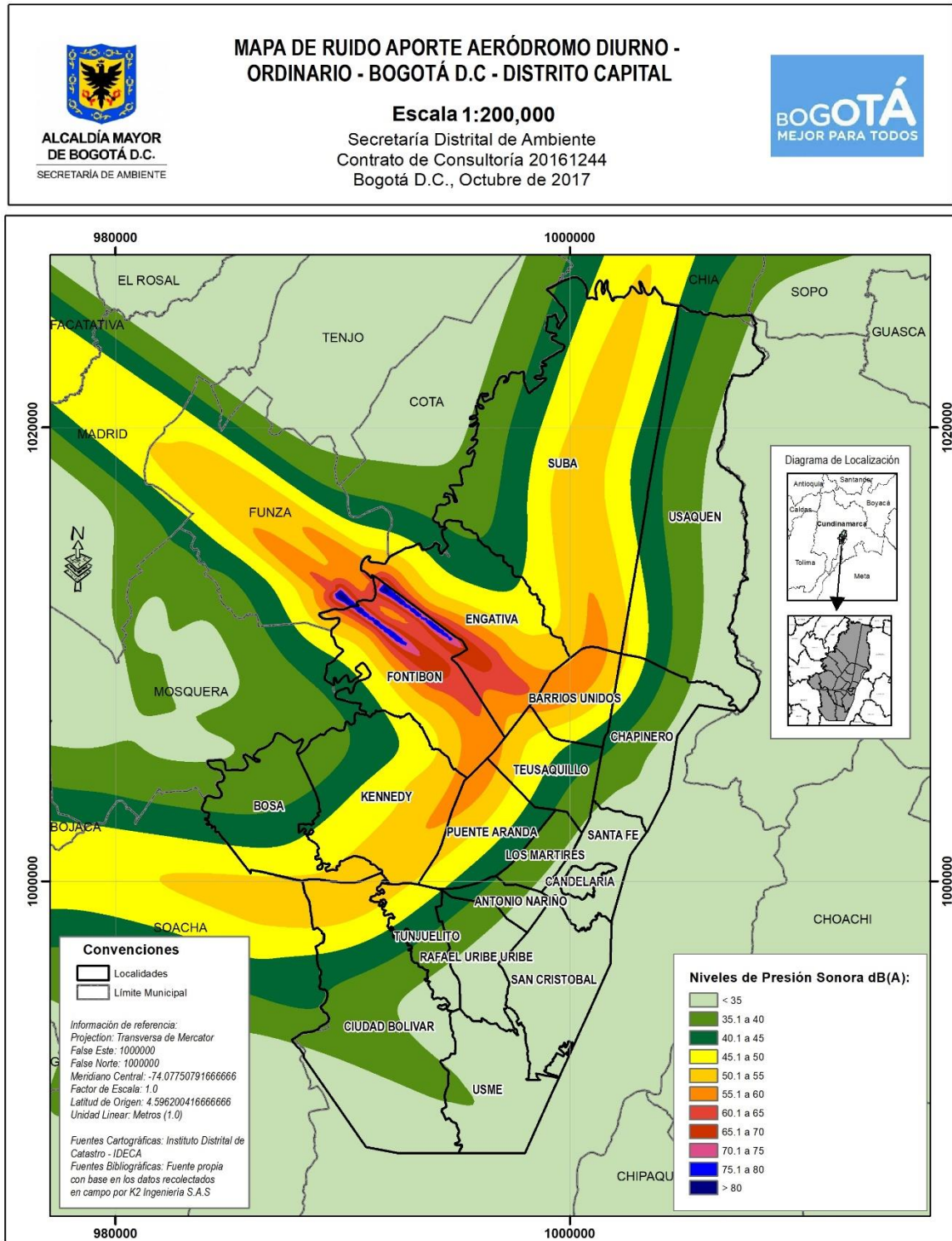


Ilustración 47. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Ord. Diurno)

Fuente: Base shp entregado por la SDA (modelado 2015)

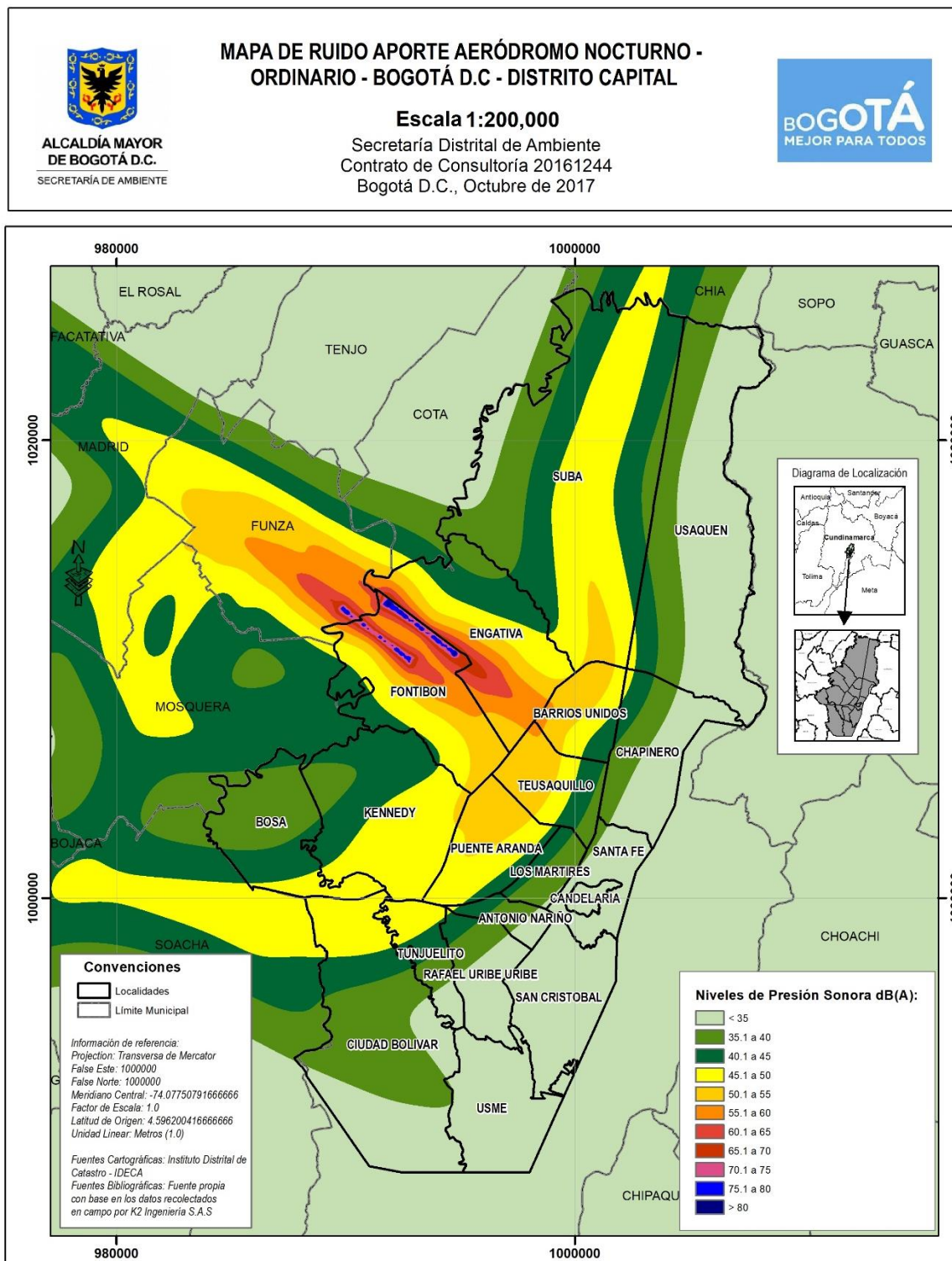


Ilustración 48. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Ord. Nocturno)
Fuente: Base shp entregado por la SDA (modelado 2015)

9.6.2 APORTES AERÓDROMO EN JORNADA DOMINICAL

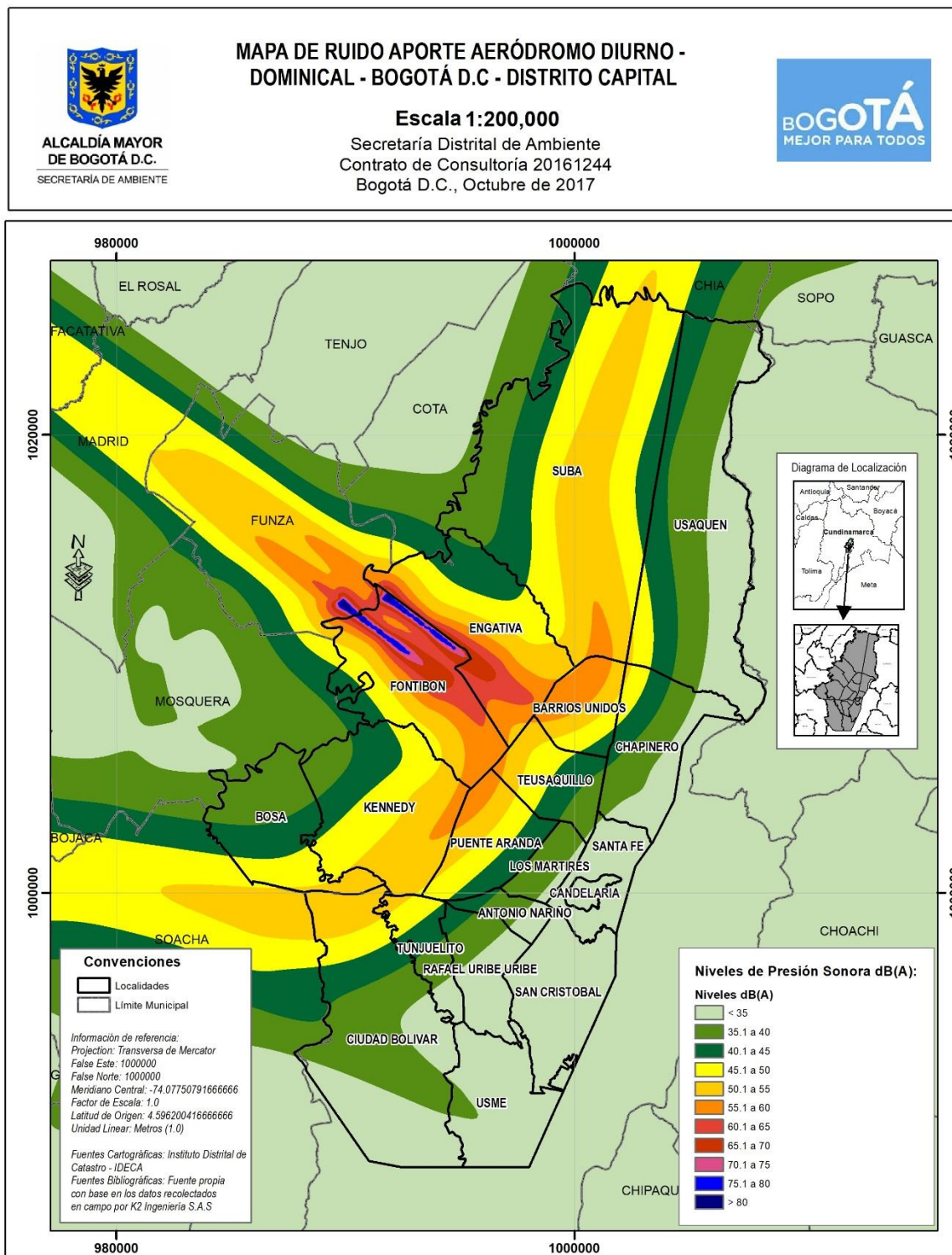


Ilustración 49. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Dom. Diurno)

Fuente: Base shp entregado por la SDA (modelado 2015)

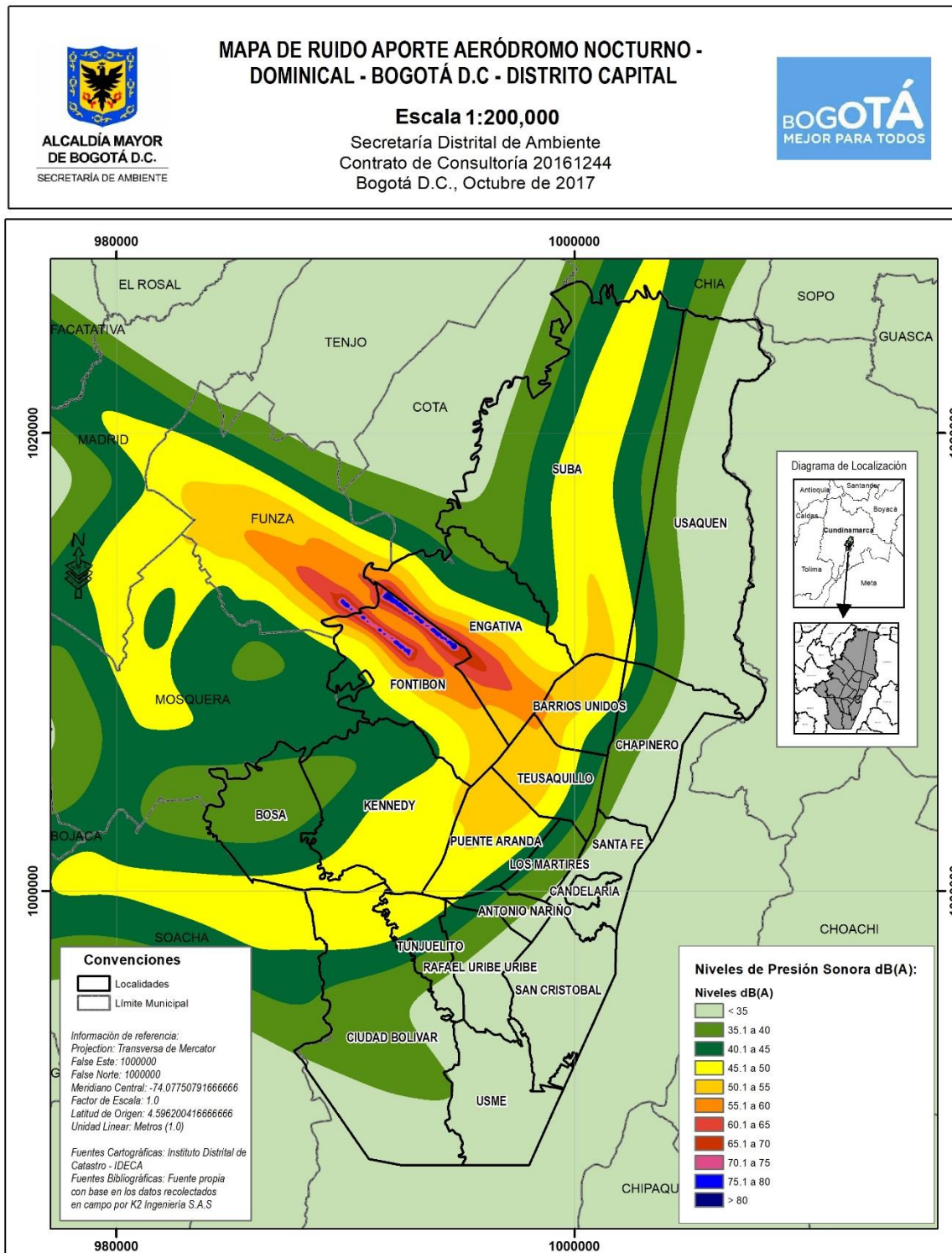


Ilustración 50. Mapa de Ruido aportes Aeródromo El Dorado (Dom. Nocturno)

Fuente: Base shp entregado por la SDA (modelado 2015)

9.7 CONTRIBUCIONES DE EVENTOS MASIVOS

De manera que se pudiese caracterizar la contribución o impacto acústico de eventos masivos como Rock Al Parque, y cumpliendo de la obligación contractual No. 18 “Atender las solicitudes y consultas que le sean puestas a su disposición por la Secretaría Distrital de Ambiente”, K2 Ingeniería adelantó actividades de medición del festival de Rock más importante de Latinoamérica, permitiendo estimar el aporte en potencia acústica de actividades culturales de envergadura similar.

Teniendo en consideración el Parque Simón Bolívar como uno de los centros de reunión para eventos masivos de mayor capacidad de la capital, en el transcurso del proyecto correspondiente a este informe fue caracterizado el evento masivo Rock Al Parque 2017.

La metodología se articuló entre el precedente nacional Res. 0627/06 [1] y la norma técnica ISO 8297:1994 [9], esta última que tiene como principal objetivo dar un método ingenieril para la obtención de niveles de potencia acústica emitida a partir de mediciones de presión sonora de complejos industriales. Es de aclarar que se ha escogido tal norma para esta aplicación pues se puede extrapolar el comportamiento de un complejo o polígono industrial (diversas plantas o fuentes internas), con el comportamiento del evento masivo bajo estudio y los diversos escenarios implementados durante el evento.

A continuación, se muestra la huella acústica del evento bajo el indicador *LDN* en ponderación [*A*], sin embargo, una robusta caracterización de este evento fue realizada y se encuentra adjuntada en el Anexo Digital 9.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

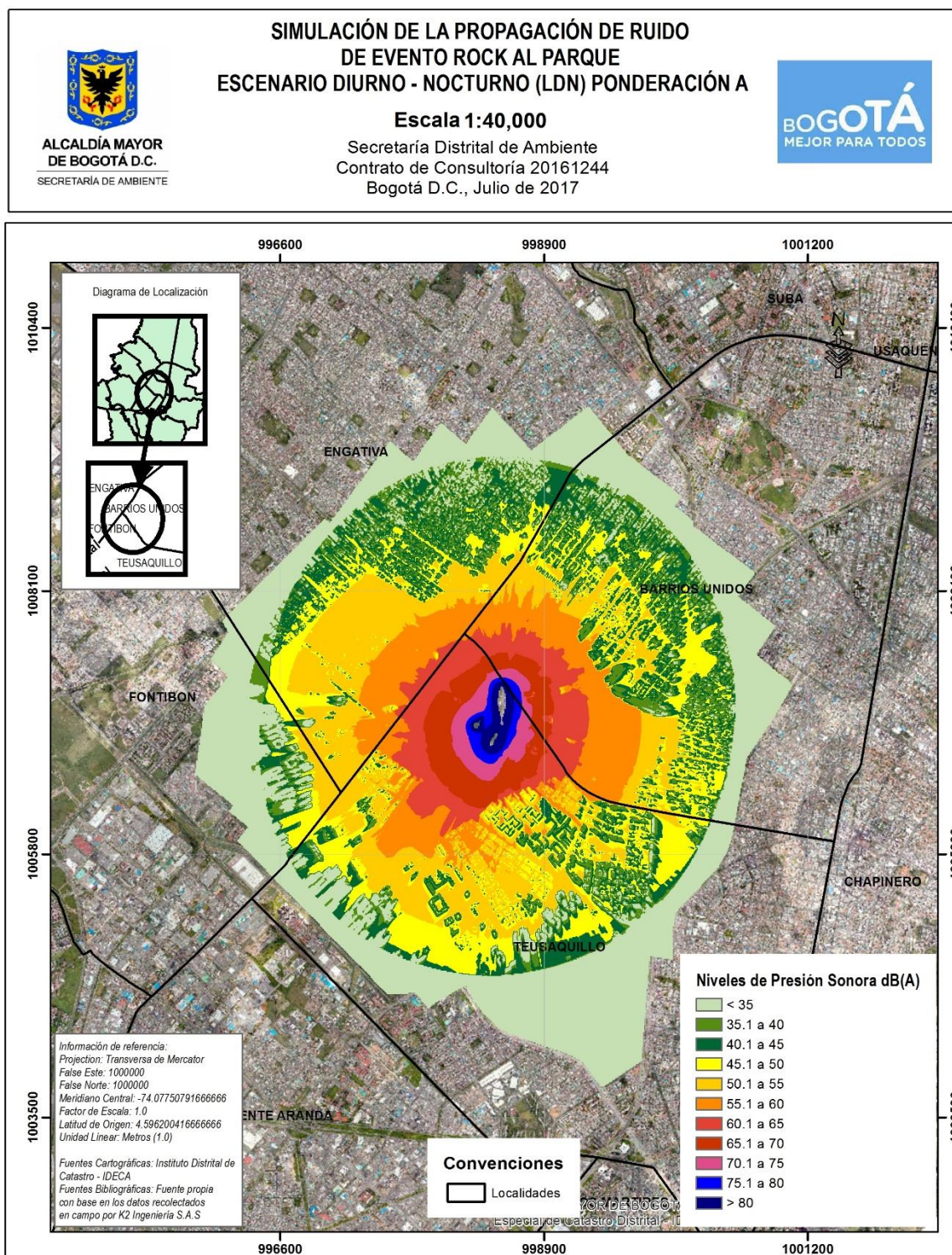


Ilustración 51. Aportes Rock Al Parque 2017 nivel de ruido L_{dn} [dBA]

Fuente: Propia (Estudio actual)

10 ANÁLISIS DEL CONTEXTO ACÚSTICO

A lo largo de este estudio los mapas acústicos fueron una herramienta gráfica para diagnosticar en conjunto la ciudad capital frente al ruido ambiental, sin embargo, más allá de las salidas gráficas que se han obtenido del presente MER, se han abordado diferentes perspectivas de análisis encaminadas en obtener ocho (8) zonas prioritarias dentro de las veinte (20) ZEA, y a su vez vislumbrar el camino o la línea base para el plan de descontaminación.

Las perspectivas seguidas para el análisis del contexto acústico fueron las siguientes:

- Cálculo del %PUAR por localidad, UPZ, y ZEA para la priorización de ocho (8) de ellas.
- Estimación del clima de ruido [$\Delta Noise$] dentro de las ZEA y distinción de las ocho (8) más susceptibles.
- Cálculo de la relación Dosis/Respuesta al Ruido [HA] dentro de las ZEA y extracción de las ocho (8) probables más sensibles.
- Georreferenciación de las PQR y valoración de zonas que demandan mayor atención.
- Estimación de la correlación existente entre las ZEA escogidas como prioritarios en el %PUAR, el clima de ruido, la relación dosis/respuesta y las PQR, para decantar las de mayor relevancia en el desarrollo de una red de Ruido en la capital.

10.1 % POBLACIÓN URBANA EXPUESTA AL RUIDO (% PUAR)

Continuando con los objetivos del estudio, se realizó el cálculo del indicador %PUAR para obtener el porcentaje de población urbana expuesta a niveles iguales o superiores a 65 dBA LDN.

Se reitera que el LDN del cual parte el PUAR difiere del LDN definido en la UNE ISO 1996-1 [2] tal como se expuso en la sección 7.10 y 7.10.2.

Dada la cobertura geográfica del indicador hacia todo el perímetro urbano², la Tabla 13 y la Tabla 14 muestran el %PUAR con respecto a toda la población de la capital, sin embargo, a modo indicativo también se presentan los datos por cada ZEA con respecto a su población respectiva en las Tabla 15 y Tabla 16, junto con el Anexo Digital 17.

El primero de los casos [%PUAR] que se aprovecha como dato para conocer el aporte de cada localidad al %PUAR de toda la ciudad y ser insumo en el cálculo que

² Esta Cobertura geográfica está definida por el Documento Base Índice de Calidad Ambiental ICAU que hace parte de la política de Gestión Ambiental Urbana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [11]

efectuará la Autoridad Ambiental del Índice de Calidad Ambiental Urbana ICAU, el segundo de los casos [%PUAR_IND³] para diagnosticar internamente la ZEA.

Tabla 13. %PUAR (ORD.) por localidad con totalidad de cobertura geográfica.

JORNADA ORDINARIA			
LOCALIDAD	PUAR	POBLACIÓN TOTAL	%PUAR APOORTE TOTAL
KENNEDY	244,252	1,069,469	3.11%
CIUDAD BOLIVAR	222,762	679,624	2.84%
SUBA	212,898	1,174,544	2.71%
ENGATIVA	191,466	874,755	2.44%
USAQUEN	146,462	491,259	1.86%
FONTIBON	110,917	380,453	1.41%
RAFAEL URIBE URIBE	106,110	375,107	1.35%
USME	89,524	432,475	1.14%
PUENTE ARANDA	73,073	258,414	0.93%
BARRIOS UNIDOS	66,404	240,960	0.85%
BOSA	66,329	646,833	0.84%
TEUSAQUILLO	58,368	151,092	0.74%
SANTA FE	40,282	103,556	0.51%
TUNJUELITO	38,495	200,048	0.49%
SAN CRISTOBAL	36,547	405,815	0.47%
LOS MARTIRES	32,280	98,758	0.41%
ANTONIO NARIÑO	29,219	108,941	0.37%
CHAPINERO	24,930	137,555	0.32%
CANDELARIA	9,592	24,096	0.12%
TOTAL BOGOTÁ D.C.	1,799,910	7,853,754	22.92%

Fuente: Propia (Estudio actual)

Tabla 14. %PUAR (DOM.) por localidad con totalidad de cobertura geográfica.

JORNADA DOMINICAL			
LOCALIDAD	PUAR	POBLACIÓN TOTAL	%PUAR APOORTE TOTAL
CIUDAD BOLIVAR	273,210	679,624	3.48%
KENNEDY	201,087	1,069,469	2.56%
SUBA	154,734	1,174,544	1.97%
ENGATIVA	147,611	874,755	1.88%
USAQUEN	125,193	491,259	1.59%
FONTIBON	88,446	380,453	1.13%
RAFAEL URIBE URIBE	81,584	375,107	1.04%
PUENTE ARANDA	73,270	258,414	0.93%
USME	73,183	432,475	0.93%
BOSA	70,820	646,833	0.90%
BARRIOS UNIDOS	55,462	240,960	0.71%
TEUSAQUILLO	52,487	151,092	0.67%
TUNJUELITO	41,558	200,048	0.53%
SANTA FE	34,942	103,556	0.44%
SAN CRISTOBAL	33,968	405,815	0.43%
LOS MARTIRES	33,374	98,758	0.42%
ANTONIO NARIÑO	27,815	108,941	0.35%
CHAPINERO	13,262	137,555	0.17%
CANDELARIA	7,802	24,096	0.10%
TOTAL BOGOTÁ D.C.	1,589,809	7,853,754	20.24%

³ %PUAR Indicativo

Fuente: Propia (Estudio actual)

Como se observa en las tablas anteriores, para la totalidad del Distrito Capital de Bogotá, el %PUAR predominante es el de la jornada Ordinaria con una representatividad del 22.92% frente al 20.24% de la jornada Dominical, cifras porcentuales que en términos poblacionales se traducen a una disminución de 210,100 habitantes menos que en jornada Dominical están expuestos a los niveles de alerta según la OMS.

Esta tendencia es entendible en la disminución de los aforos por tráfico vehicular en la jornada dominical, hechos que repercuten en la disminución del nivel *LDN* y a su vez en el *PUAR* de cada localidad. Ahora bien, en estas jornadas las ocho (8) localidades con mayor %PUAR se muestran gráficamente a continuación:

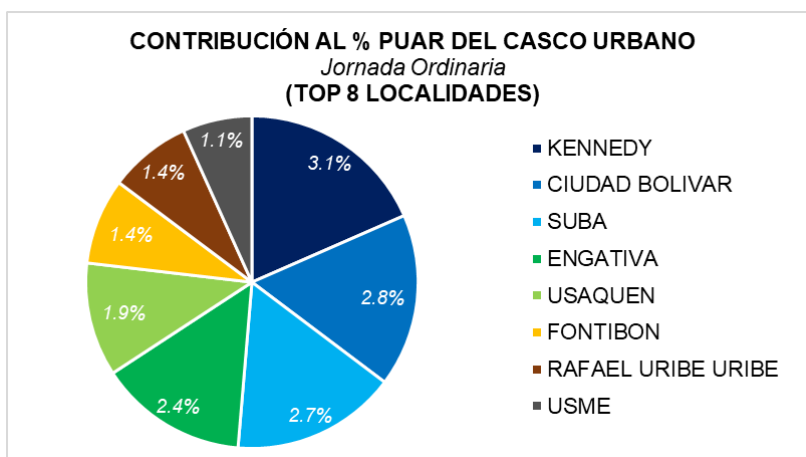


Ilustración 52. Top 8 de %PUAR en Jornada Ordinaria
Fuente: Propia (Estudio actual)

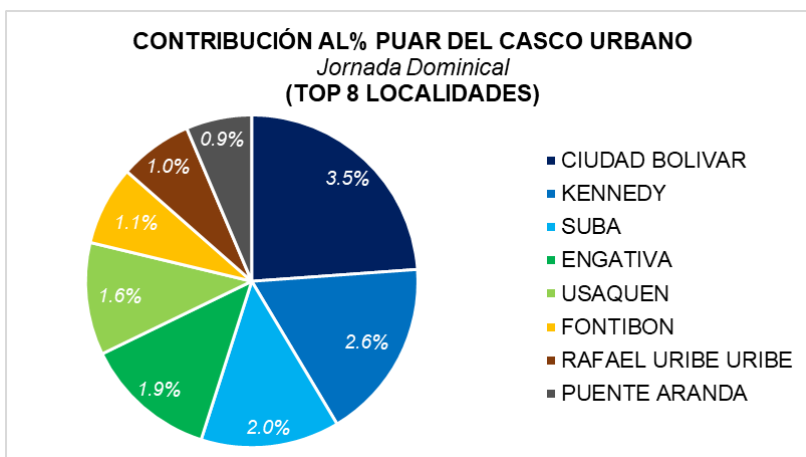


Ilustración 53. Top 8 de %PUAR en Jornada Dominical
Fuente: Propia (Estudio actual)

Se reitera nuevamente que los valores anteriores son de aporte frente a la totalidad de la ciudad.

Se interpreta con claridad que, de las 19 localidades de la capital, 7 de ellas mantienen el %PUAR más elevado indistintamente de la jornada, y que en el paso ordinario a dominical solo cambian de posición en el top, pero prevalecen como localidades prioritarias por este indicador %PUAR.

En último lugar del top se encuentra la localidad de Usme que ocupa posición 8 para la jornada ordinaria, pero desaparece en la jornada dominical para dar prioridad a la localidad de Puente Aranda, hecho que puede ser entendido en el aumento del tráfico vehicular dominical por la avenida NQS y la Autopista Sur, límites viales de la localidad de Puente Aranda.

De estas localidades dentro del Top ocho (8) se relacionan trece (13) UPZ, con lo cual para priorizar directamente sobre esta subdivisión urbana se tendrá en cuenta la correlación de las siguientes perspectivas de análisis.

Las ocho (8) UPZ que corresponden a la priorización por esta perspectiva de análisis son:

1. PROVIVIENDA CARVAJAL- I SECTOR
2. ZONA UNIVERSITARIA
3. FONTIBÓN CENTRO
4. PROVIVIENDA OCCIDENTAL - CARVA
5. VILLA LUZ
6. CIUDAD MONTES Y SANTA MATILDE
7. RESTREPO
8. ZONA ROSA

Para las ZEA se han obtenido valores indicativos del %PUAR_IND para acceder a una interpretación interna de la misma, en esta priorización el resultante es:

1. PROVIVIENDA ORIENTAL
2. VILLA LUZ
3. MINUTO DE DIOS
4. CIUDAD MONTES Y SANTA MATILDE
5. FONTIBÓN CENTRO
6. ÁLAMOS NORTE
7. SUBA LOMBARDÍA
8. NORMANDÍA

Tabla 15. %PUAR (ORD.) por ZEA.

JORNADA ORDINARIA				
COD ZEA	ZONA DE ESPECIAL ATENCIÓN	POBLACIÓN URBANA (TOTAL)	POBLACIÓN EXPUESTA (PUAR)	%PUAR INDICATIVO
ZEA 20	Provivienda Oriental	1182	839	71.0%
ZEA 13	Villa Luz	2797	1861	66.5%
ZEA 10	Minuto de Dios	1763	1066	60.5%
ZEA 4	Ciudad Montes	3087	1746	56.6%
ZEA 5	Fontibón Centro	4595	2567	55.9%
ZEA 9	Álamos Norte	1459	802	55.0%
ZEA 16	Suba Lombardía	1948	983	50.5%
ZEA 14	Normandía	1377	662	48.1%
ZEA 15	Castilla	2612	1233	47.2%
ZEA 8	Zona Universitaria	6489	2664	41.1%
ZEA 19	Hipotecho Occidental	2649	1076	40.6%
ZEA 17	Galerías	3492	1362	39.0%
ZEA 1	Parque de la 93	2272	706	31.1%
ZEA 2	Zona Rosa	4842	1501	31.0%
ZEA 6	Modelia	353	103	29.3%
ZEA 12	Provivienda Carvajal	11375	3302	29.0%
ZEA 3	Corredor Peatonal	910	251	27.6%
ZEA 7	Restrepo	5806	1600	27.6%
ZEA 11	Patio Bonito	3934	1071	27.2%
ZEA 18	Provivienda Occidental	8909	2372	26.6%

Fuente: Propia (Estudio actual)

Tabla 16. %PUAR (DOM.) por ZEA.

JORNADA DOMINICAL				
COD ZEA	ZONA DE ESPECIAL ATENCIÓN	POBLACIÓN URBANA (TOTAL)	POBLACIÓN EXPUESTA (PUAR)	%PUAR INDICATIVO
ZEA 20	Provivienda Oriental	1182	837	70.9%
ZEA 10	Minuto de Dios	1763	1181	67.0%
ZEA 4	Ciudad Montes	3087	1772	57.4%
ZEA 9	Álamos Norte	1459	791	54.2%
ZEA 13	Villa Luz	2797	1455	52.0%
ZEA 5	Fontibón Centro	4595	2100	45.7%
ZEA 15	Castilla	2612	1192	45.6%
ZEA 14	Normandía	1377	537	39.0%
ZEA 17	Galerías	3492	1362	39.0%
ZEA 16	Suba Lombardía	1948	730	37.5%
ZEA 8	Zona Universitaria	6489	1855	28.6%
ZEA 7	Restrepo	5806	1618	27.9%
ZEA 19	Hipotecho Occidental	2649	723	27.3%
ZEA 11	Patio Bonito	3934	982	25.0%
ZEA 2	Zona Rosa	4842	802	16.6%
ZEA 18	Provivienda Occidental	8909	1425	16.0%
ZEA 12	Provivienda Carvajal- I Sector	11375	1775	15.6%
ZEA 6	Modelia	353	51	14.6%
ZEA 1	Parque de la 93	2272	291	12.8%
ZEA 3	Corredor Peatonal	910	70	7.6%

Fuente: Propia (Estudio actual)

10.2 CLIMA DE RUIDO

El clima de ruido está definido como la relación diferencial entre los niveles de tendencia más elevados y los más bajos (indicadores acústicos L_{10} y L_{90} respectivamente). A partir del análisis del clima de ruido dentro de cada una de las ZEA, se pudo priorizar las 8 más representativas que muestran el grado de molestia real de la población expuesta al ruido [20], un concepto que a pesar de ser independiente del cumplimiento normativo a los estándares máximos permisibles, engloba la subjetividad del oyente permitiendo establecer puntos que requieren atención para la mejora del confort acústico.

En el análisis del clima de ruido se realizó la interpretación partiendo que entre más discontinuo es el ruido (más diferencia existente entre L_{10} y L_{90}), mayor es el clima de ruido y por ende mayor grado de molestia sobre la población representa.

En ese sentido, con ayuda de las herramientas SIG se ha ubicado el clima de ruido obtenido en cada punto ambiental y se ha realizado una interpolación entre el polígono de cada ZEA lo que permitió detectar gráficamente las más sensibles.

El resultado grafico del proceso de interpolación se muestra en la Ilustración 54 para el horario diurno y la Ilustración 55 para el horario nocturno.

Es de aclararse que en este tipo de análisis no se ha discriminado por jornada (Ordinaria o Dominical) puesto que el enfoque para evaluar los cambios producidos entre la actividad de una u otra ya se ha abordado en el %PUAR al ser un indicador con mayor sensibilidad a la jornada y no al horario (puesto que el PUAR depende del LDN).

Del mismo modo, en SIG se han realizado los análisis para obtener los puntos de mayor clima de ruido que representasen una dinámica de atención en las ZEA, estos son:

Tabla 17. Jerarquía clima de ruido horario diurno

HORARIO DIURNO				
RANKING	$\Delta Noise$ [dBA]	PUNTO DENTRO DE LA ZEA	ZEA	
1	18.2	PA5	ZEA 13	VILLALUZ
2	18.1	PA 1	ZEA 6	MODELIA
3	17.4	PA 3	ZEA 16	SUBA LOMBARDIA
4	17.3	PA 4	ZEA 3	CARRERA 7
5	17.2	PA 3	ZEA 12	PROVIVIENDA CARVAJAL
6	16.0	PA 5	ZEA 7	RESTREPO
7	15.3	PA 4	ZEA 5	FONTIBON CENTRO
8	15.1	PA 4	ZEA 4	CIUDAD MONTES

Fuente: Propia (Estudio actual)

Tabla 18. Jerarquía Clima de Ruido Nocturno

HORARIO NOCTURNO				
RANKING	$\Delta Noise$ [dBA]	PUNTO DENTRO DE LA ZEA	ZEA	
1	19.4	PA 4	ZEA 6	MODELIA
2	18.8	PA 3	ZEA 4	CIUDAD MONTES
3	18.2	PA 3	ZEA 3	CARRERA 7
4	16.8	PA 2	ZEA 18	PROVIVIENDA OCCIDEN
5	16.4	PA 1	ZEA 7	RESTREPO
6	16.0	PA 3	ZEA 12	PROVIVIENDA CARVAJAL
7	15.7	PA 1	ZEA 14	NORMANDIA
8	15.4	PA 2	ZEA 9	ALAMOS NORTE

Fuente: Propia (Estudio actual)

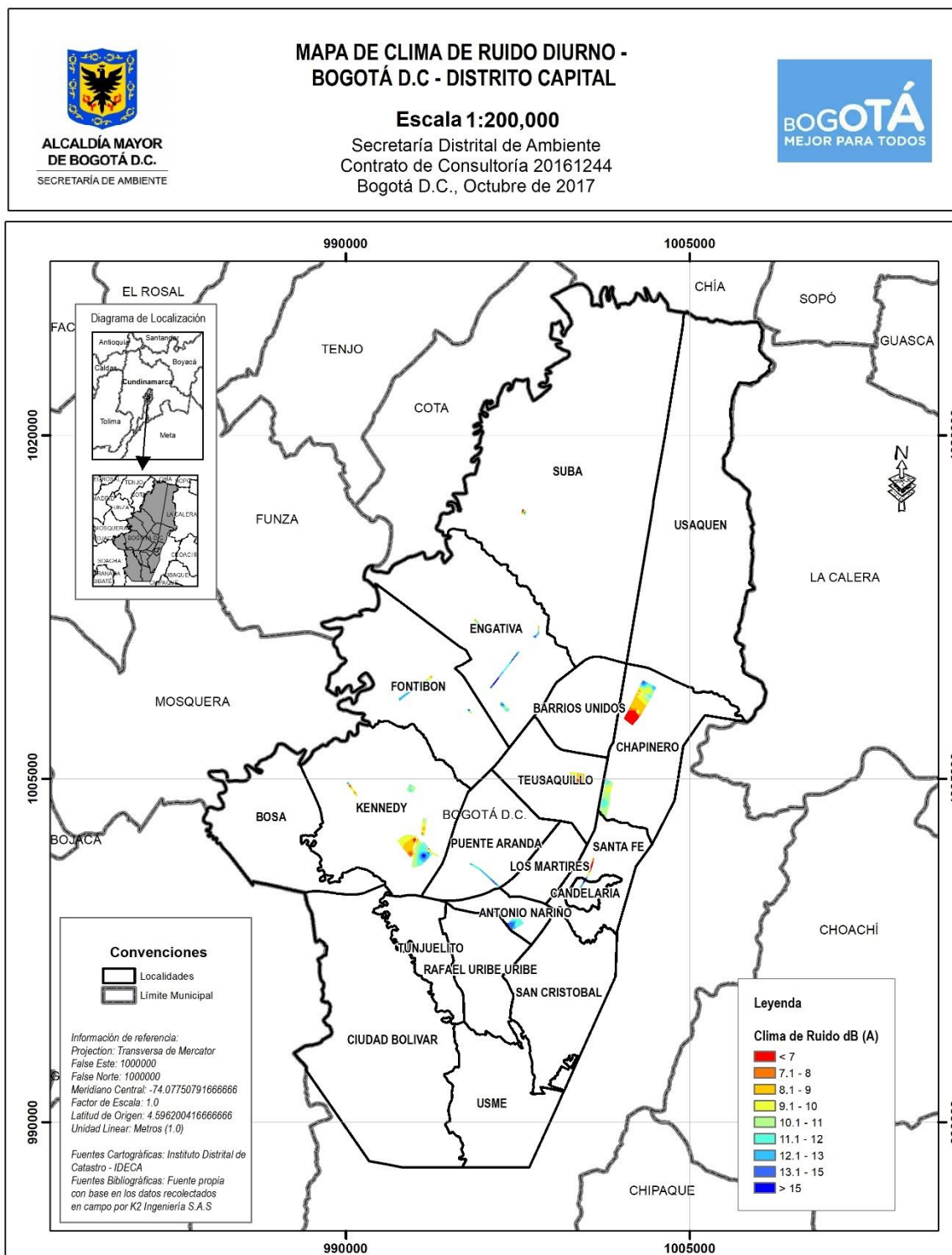


Ilustración 54. Clima de Ruido en ZEA / Jornada Diurna

Fuente: Propia (Estudio Actual)

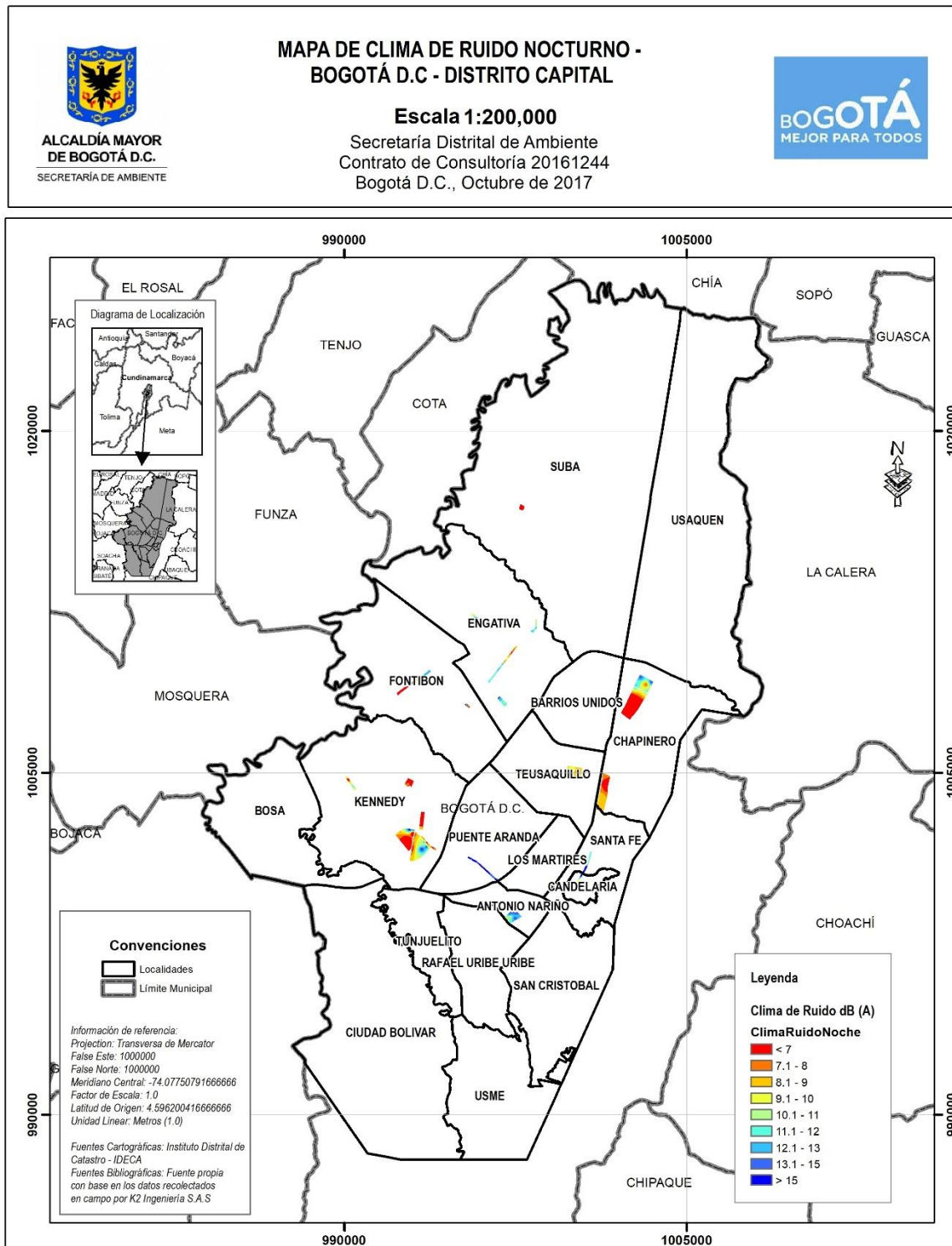


Ilustración 55. Clima de Ruido en puntos ZEA / Jornada Nocturna

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Partiendo de lo anterior y teniendo en cuenta que la jornada nocturna es la más susceptible para las molestias de ruido, las 8 Zonas de Especial Atención que por clima de ruido entran al top ocho (8) son:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. MODELIA | 6. PROVIVIENDA CARVAJAL- I |
| 2. CIUDAD MONTES Y SANTA | SECTOR |
| MATILDE | 7. PROVIVIENDA OCCIDENTAL |
| 3. VILLA LUZ | - CARVA |
| 4. CORREDOR PEATONAL | 8. RESTREPO |
| 5. SUBA LOMBARDÍA | |

Es de recalcar que esta consideración sobre el clima de ruido es independiente del nivel equivalente que se puede mostrar en el contexto acústico de cada ZEA, pues la finalidad de esta perspectiva de análisis es independizar la cuantificación exacta del nivel equivalente de ruido, de la “sensación” que puede producir el paisaje sonoro característico en ellas. Es por ello que, aunque existan diversas fuentes de ruido en las ZEA mencionadas (algunas más predominantes en el L_{Aeq} que otras), la valoración de la separación entre los percentiles L_{10} y L_{90} permitió acercar la evaluación de impactos a la posible apreciación subjetiva que tiene la población existente en cada sector.

10.3 RELACIÓN DOSIS/RESPUESTA AL RUIDO

La UNE-ISO 1996-1:2005 [2] incluye en el Anexo Informativo D, el concepto de la Dosis/Respuesta como un indicador para definir el porcentaje de una población muy molesta (HA) a causa del ruido de tráfico rodado en función del nivel acústico día/noche LDN .

Esta estimación se fundamenta en estadísticos históricos realizados por el comité normativo donde cerca del 90% de los resultados agrupados en diferentes sondeos se encontraban descritos por una probabilidad de molestia representada en la función de una curva. La curva se denomina Schultz y está definida matemáticamente como:

$$HA = \frac{100}{[1 + \exp(10.4 - 0.132LDN)]} [\%] \quad (7)$$

Donde:

HA es el porcentaje de posibles personas fuertemente molestas

LDN es el Nivel equivalente de 24 horas calculado como se describe en la norma UNE ISO 1996-1:2005 [2]

De esta formulación se han obtenido los siguientes gráficos:

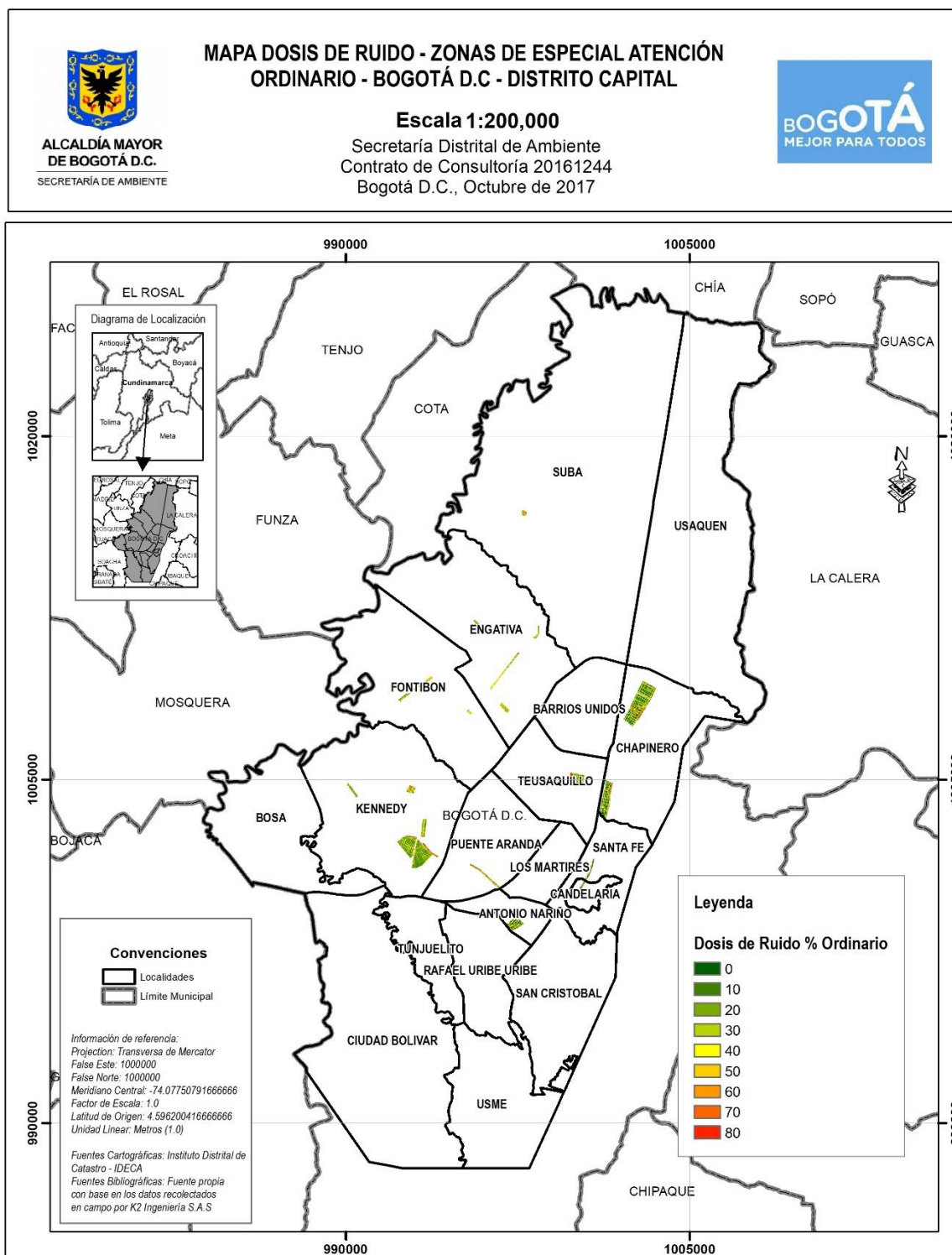


Ilustración 56. Representación Dosis/Respuesta Ordinario

Fuente: Propia (Estudio Actual)

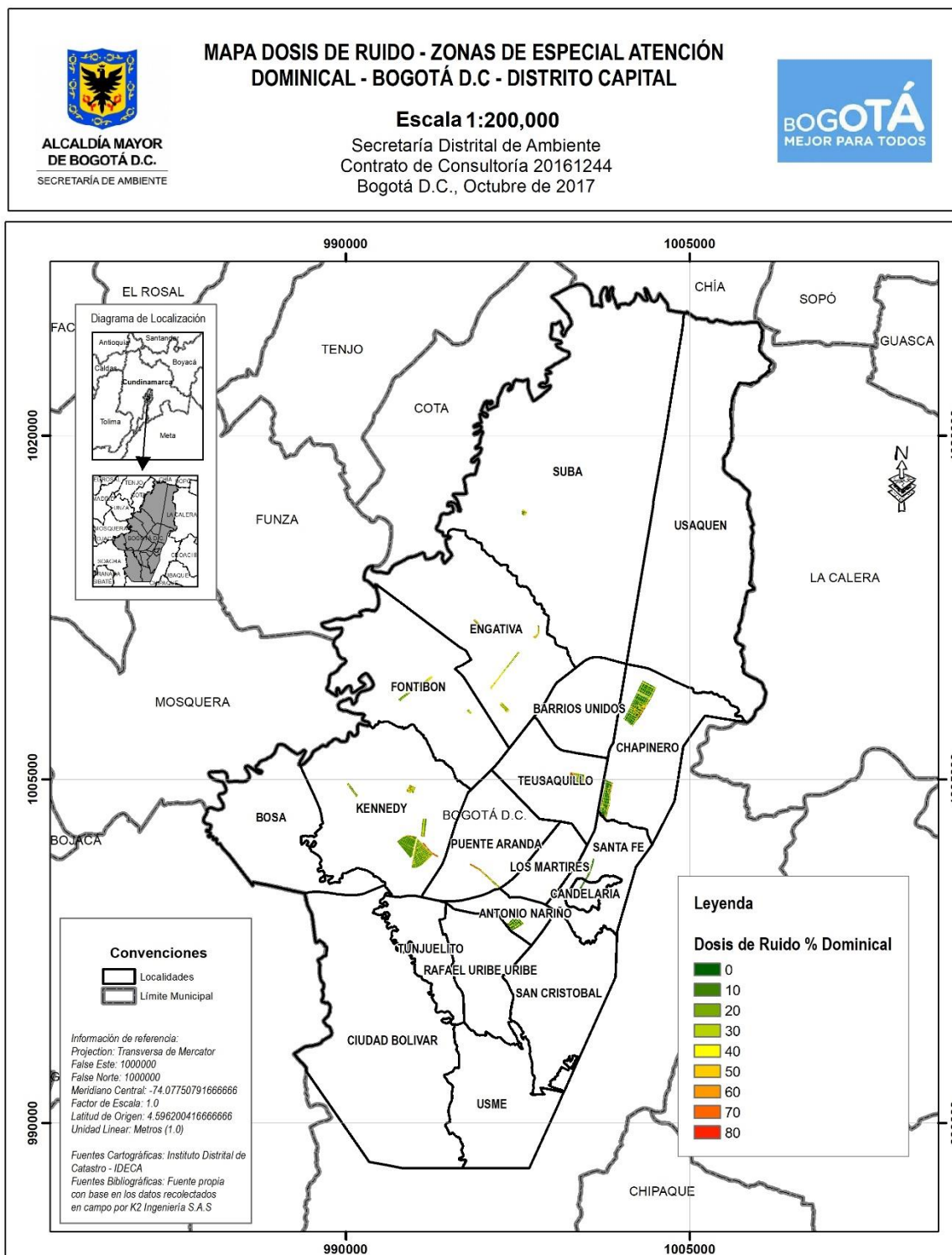


Ilustración 57. Representación Dosis/Respuesta Dominical

Fuente: Propia (Estudio Actual)

De lo visto anteriormente se destaca que en los polígonos que representan las ZEA más grandes, la dosis se ha mostrado menor tanto para la jornada ordinaria como para la jornada diurna, ahora bien, dentro de los mismos polígonos existen puntos con una relación dosis/respuesta considerablemente elevadas tal como se muestra a continuación:

Tabla 19. Jerarquía Dosis/Respuesta al ruido (Ordinario)

JORNADA ORDINARIA						
RANKING	ZEA	PUNTO	RELACIÓN DOSIS/RTA [%]	AREA ZEA [M ²]	AREA POLIGONO [M ²]	ZEA DESCRIPCIÓN
1	ZEA 17	PA1	79.2	244,233	4,345	GALERIAS
2	ZEA 7	PA5	77.5	262,509	703	RESTREPO
3	ZEA 18	PA1	76.1	477,573	1,061	PROVIVIENDA OCCIDEN
4	ZEA 16	PA1	71.7	41,494	207	SUBA LOMBARDIA
5	ZEA 12	PA2	65.9	609,730	161	PROVIVIENDA CARVAJAL
6	ZEA 19	PA1	65.0	122,377	1,053	HIPOTECO
7	ZEA 2	PA1	64.6	781,785	35,301	CALLE 85
8	ZEA 20	PA1	62.5	58,041	774	PROVIVIENDA ORIENTAL

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Tabla 20. Jerarquía Dosis/Respuesta al ruido (Dominical)

JORNADA DOMINICAL						
RANKING	ZEA	PUNTO	RELACIÓN DOSIS/RTA [%]	AREA ZEA [M ²]	AREA POLIGONO [M ²]	ZEA DESCRIPCIÓN
1	ZEA 16	PA1	71.7	41,494	116	SUBA LOMBARDIA
2	ZEA 20	PA5	64.6	58,041	2,753	PROVIVIENDA ORIENTAL
3	ZEA 19	PA1	59.6	122,377	328	HIPOTECO
4	ZEA 15	PA3	59.1	89,429	167	CASTILLA
5	ZEA 12	PA2	57.8	609,730	578	PROVIVIENDA CARVAJAL
6	ZEA 10	PA5	57.3	46,053	4,965	MINUTO DE DIOS
7	ZEA 2	PA3	57.0	781,785	27,199	CALLE 85
8	ZEA 17	PA3	56.3	244,233	196	GALERIAS

Fuente: Propia (Estudio Actual)

De esta perspectiva de análisis se interpreta que las ZEA más sensibles son las siguientes:

1. GALERÍAS
2. RESTREPO
3. PROVIVIENDA OCCIDENTAL - CARVA
4. SUBA LOMBARDÍA
5. PROVIVIENDA CARVAJAL- I SECTOR
6. HIPOTECO OCCIDENTAL
7. ZONA ROSA
8. PROVIVIENDA ORIENTAL

Por otro lado, de esta observación Dosis/Respuesta también se entrega como insumo para la Autoridad Ambiental del Distrito el mapa de Dosis/Respuesta de toda la ciudad, que permite tener una perspectiva global de las posibles personas fuertemente molestas por ruido en toda la capital.

Ahora bien, es de aclarar que tales mapas alusivos a toda la capital (Ilustración 58 e Ilustración 59) no se deben tomar como único insumo para toma de decisiones o gestión del ruido, pues este indicador corresponde a un resultado que se fundamenta en términos de “Probabilidad” y “Posibilidad” de la molestia, con lo cual, se debe acompañar de otro tipo de evaluaciones para obtener una consideración final totalmente cercana a la realidad, tal como se ha hecho con el análisis de Dosis/Respuesta para las ZEA.

(Espacio internacionalmente en Blanco)

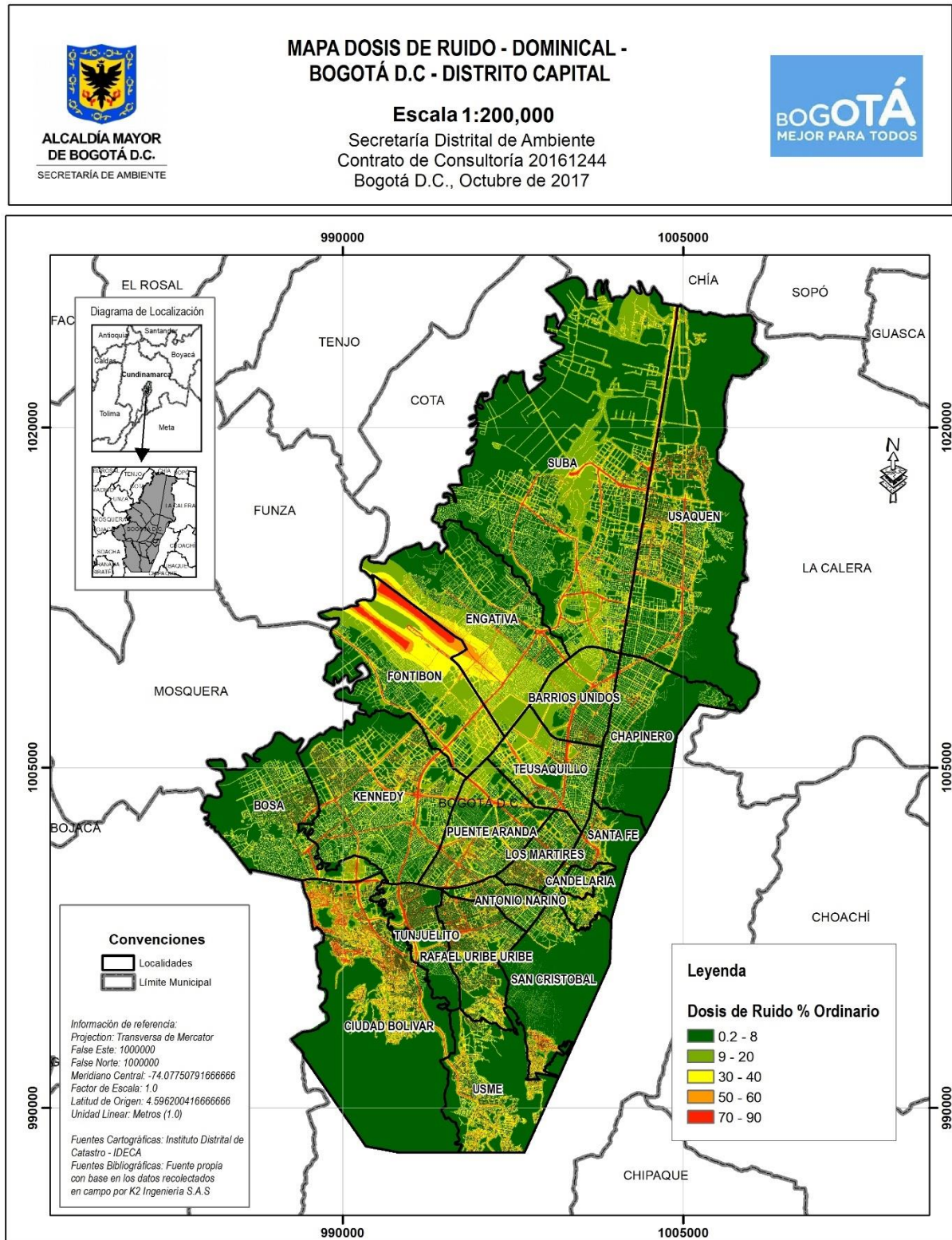


Ilustración 58. Mapa Dosis/Respuesta al Ruido (Ord.)

Fuente: Propia (Estudio Actual)

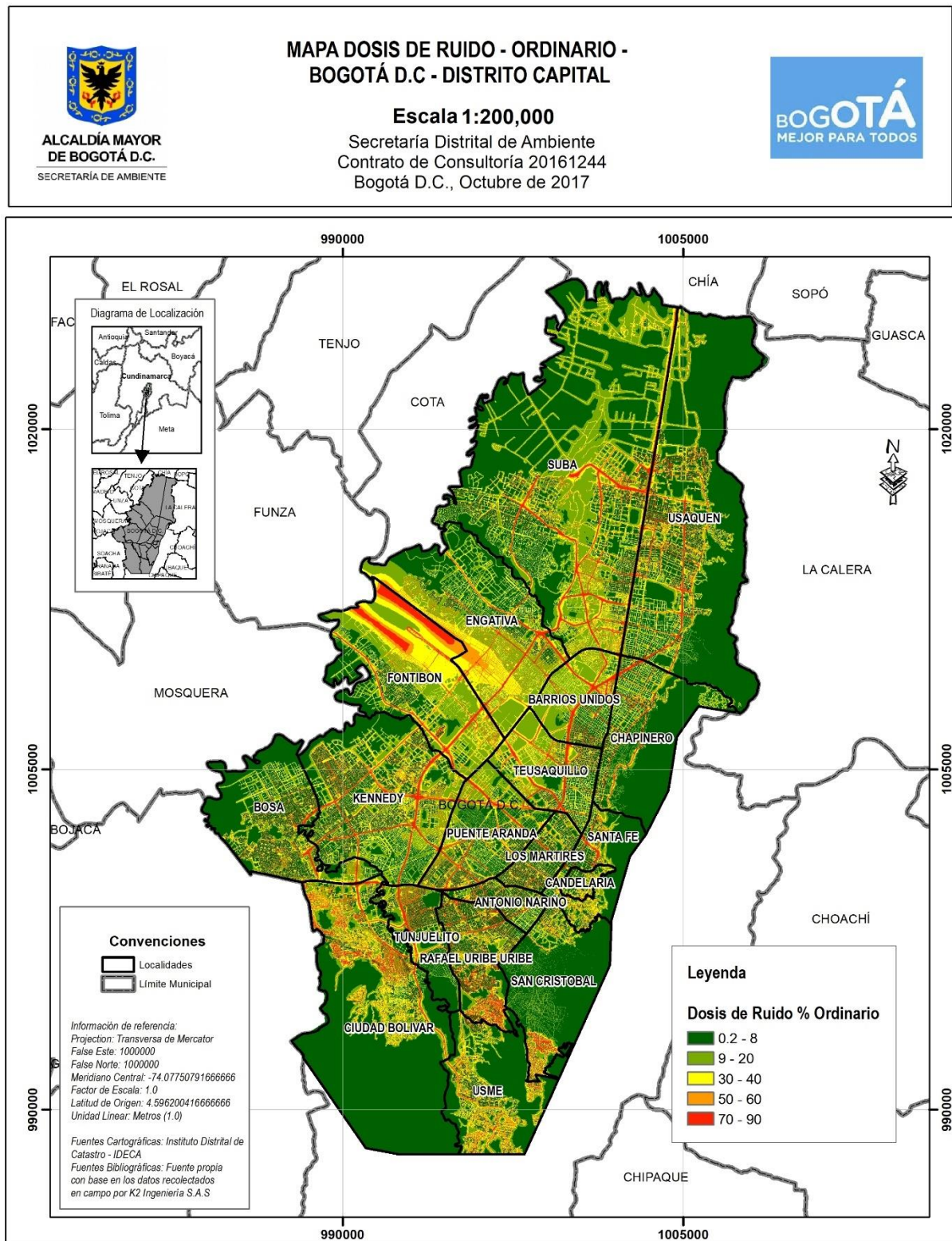


Ilustración 59. Mapa Dosis/Respuesta al Ruido (Dom.)

Fuente: Propia (Estudio Actual)

10.4 CORRELACIÓN DE QUEJAS

Partiendo del “Informe técnico para ubicación de las estaciones de la red de ruido en las localidades de la capital teniendo como insumo la base de datos de peticiones quejas y reclamos” [21] entregado por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, esta consultoría ubicó y georreferenció la base de datos de PQR suministrada (todo el año 2016 y entre enero y agosto de 2017). Esta información se observa en la siguiente ilustración, igualmente se reitera que todas las salidas gráficas mostradas en este documento se encuentran en el Anexo Digital 13 para mayor facilidad en la visualización o uso:

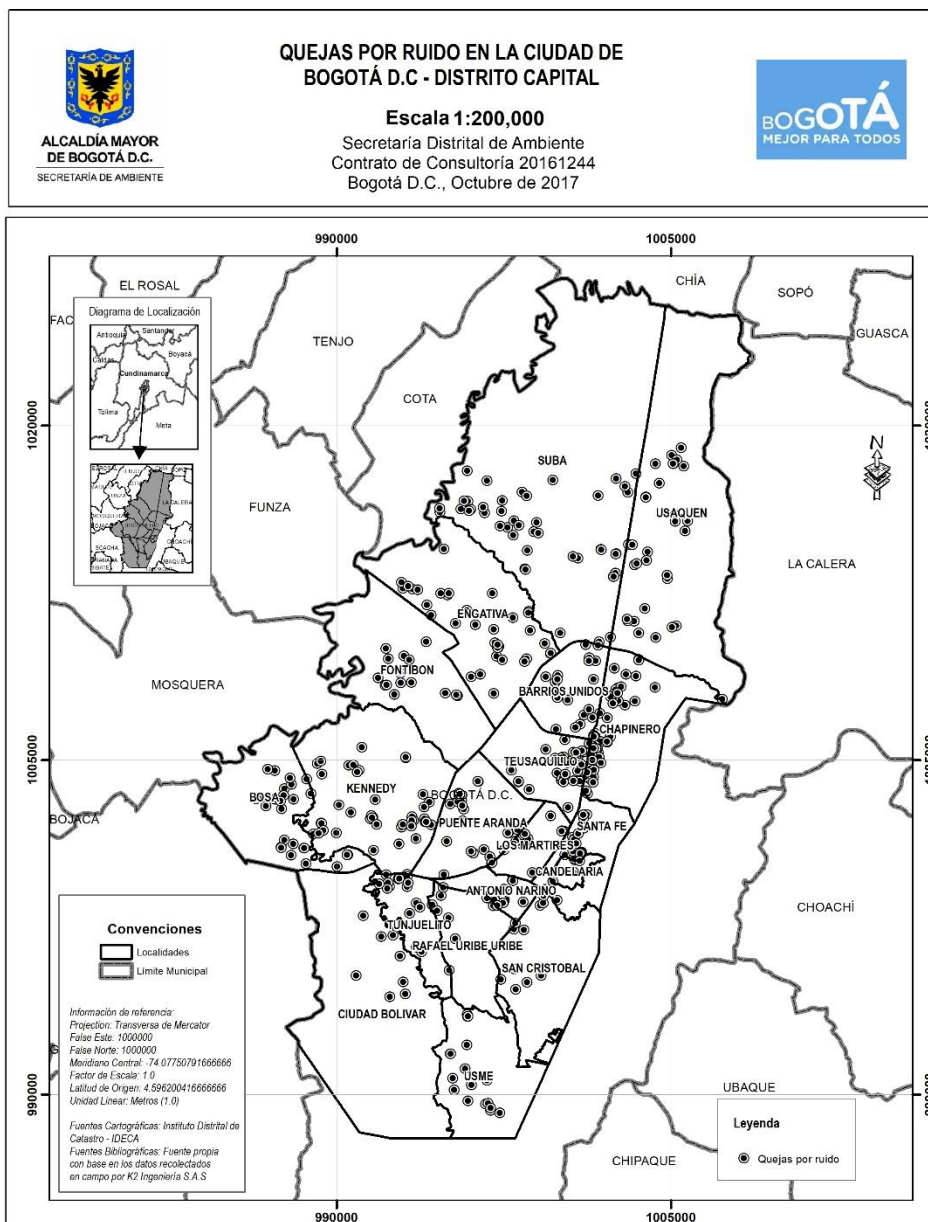


Ilustración 60. Georreferenciación de Quejas

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Partiendo de la georreferenciación, se realizó la clasificación a campo total en la herramienta SIG obteniendo como resultado lo siguiente:

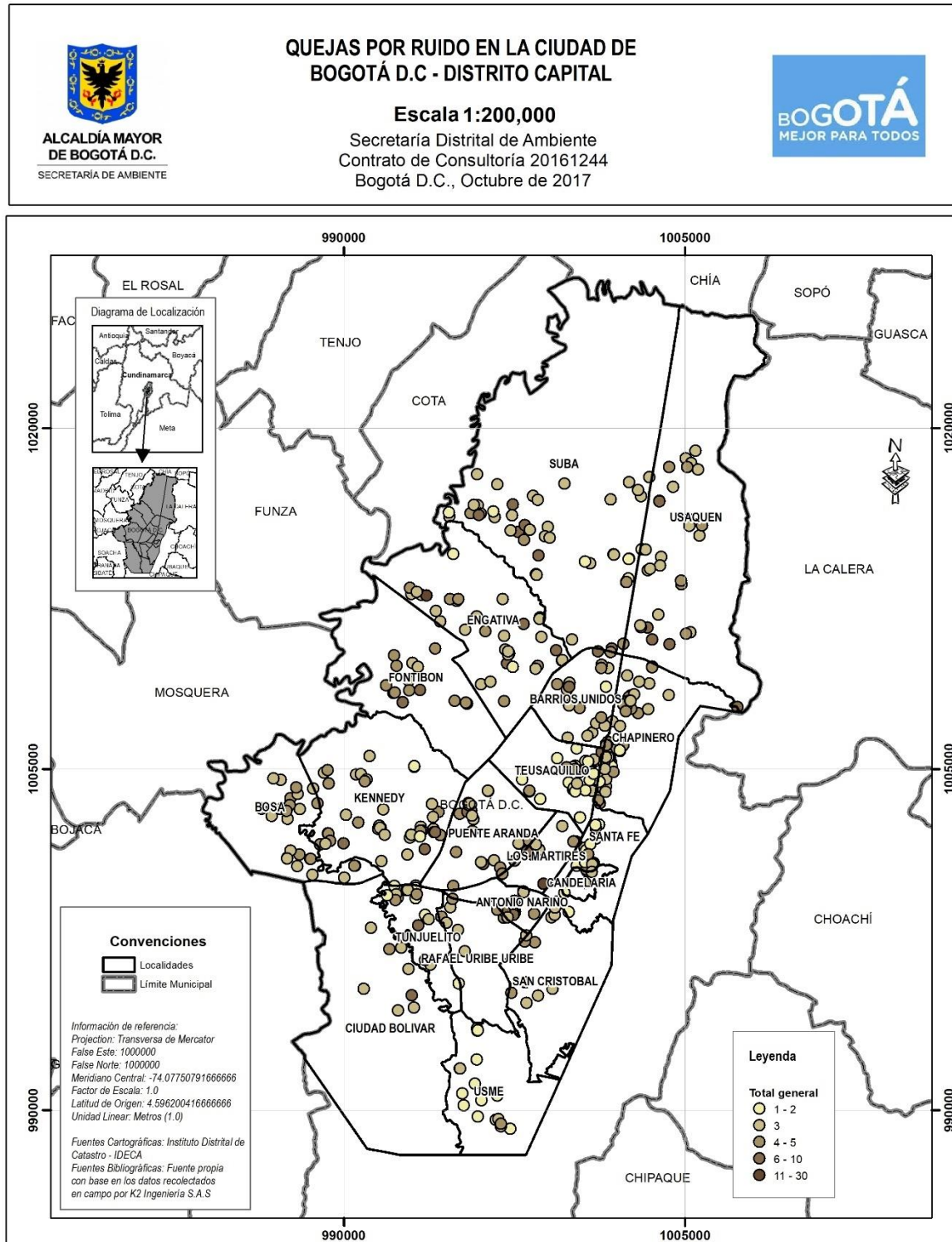


Ilustración 61. Georreferenciación de Quejas a campo total en leyenda

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Igualmente, la información de quejas fue agrupada por polígonos obteniendo el siguiente resultado:

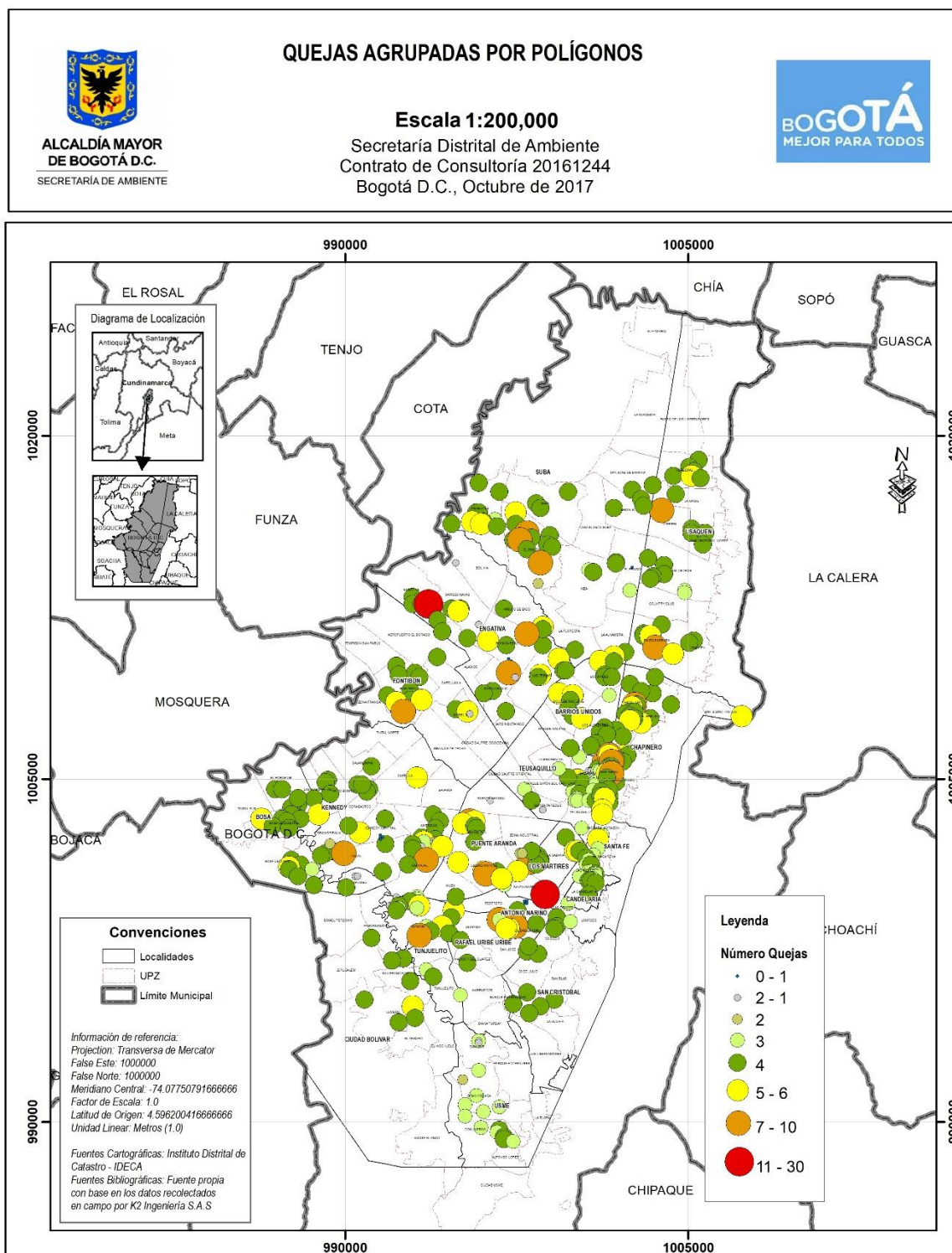


Ilustración 62. Agrupación de Quejas por Polígonos

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Ahora bien, aunque en la ilustración anterior se pueden observar quejas georreferenciadas por fuera de las ZEA, este tipo de agrupaciones evidencian problemáticas de fuentes particulares tales como el Aeropuerto El Dorado, hecho que se sale del enfoque de evaluación y diagnóstico ambiental de este estudio, pues en tales zonas la predominancia puede estar referida a la actividad del aeródromo, con lo cual se puede incurrir en enmascaramiento de la dinámica propia del sector urbano y la evaluación de ruido ambiental desde una perspectiva donde se busca caracterizar el aporte energético de todas las fuentes, tal como se ha seguido en este informe.

Del total de quejas mostradas, la dinámica de atención a ellas por parte de la SDA se relaciona a continuación:

- Total direcciones de la base de datos atendidas: 614
- Direcciones atendidas de la base de datos que se repiten en las agrupadas por polígono: 61
- Direcciones georreferenciadas atendidas que no se encuentran en las agrupadas por polígono: 553

En la siguiente ilustración se georreferencia la información atención.

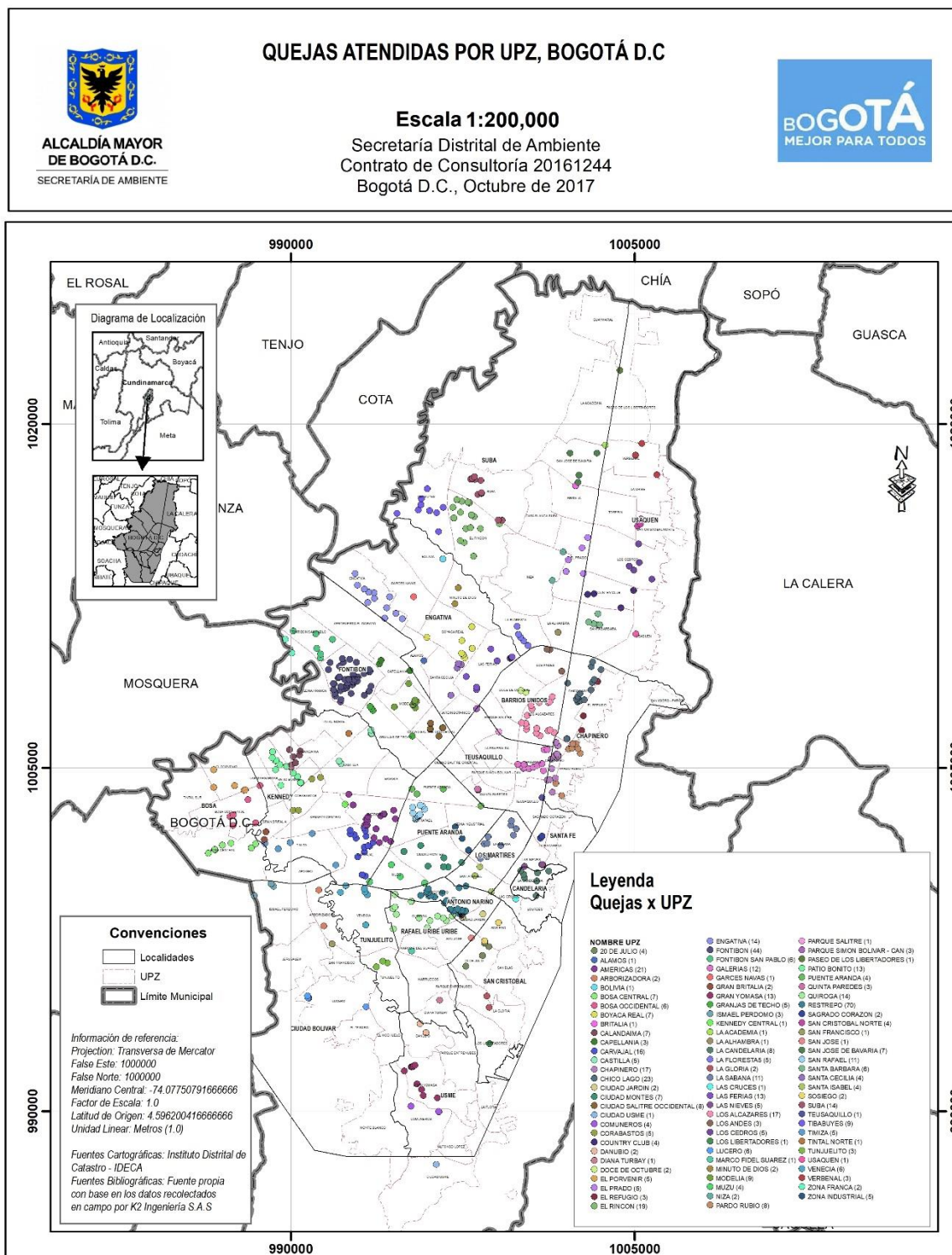


Ilustración 63. Georreferenciación de quejas atendidas por la SDA

Fuente: Georreferenciación del consultor en base a información suministrada por la SDA

De acuerdo con lo anterior el 13% de direcciones se atendieron del total de quejas agrupadas por polígono

Finalmente se priorizó cada ZEA de modo que se pudiese dar concordancia a la metodología final para determinar las ocho (8) prioritarias, el ranking resultante para este aspecto se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 21. Priorización de ZEA por PQR

RANKING	ZEA		N.º DE QUEJAS
1	ZEA 7	Restrepo	63
2	ZEA 2	Zona Rosa	42
3	ZEA 8	Zona Universitaria	31
4	ZEA 17	Galerías	23
5	ZEA 4	Ciudad Montes y Santa Matilde	20
6	ZEA 18	Provienda Occidental - Carva	10
7	ZEA 6	Modelia	7
8	ZEA 3	Corredor Peatonal	6
9	ZEA 1	Parque de la 93	6
10	ZEA 14	Normandía	4
11	ZEA 5	Fontibón Centro	3
12	ZEA 9	Álamos Norte	2
13	ZEA 12	Provienda Carvajal- I Sector	1
14	ZEA 13	Villa Luz	0

Fuente: Propia (Estudio Actual)

10.5 CONFLICTO DE USO DEL SUELO

La correlación del uso del suelo en todo el distrito con los resultados de los modelos, en especial, con las isófonas que representan los indicadores LRAeq,D y LRAeq,N, revela las zonas con conflicto frente a los estándares máximos permisibles de ruido ambiental que le atañen por su actividad reglamentada en el plan de ordenamiento territorial.

El resultado de este procesamiento se muestra a continuación.

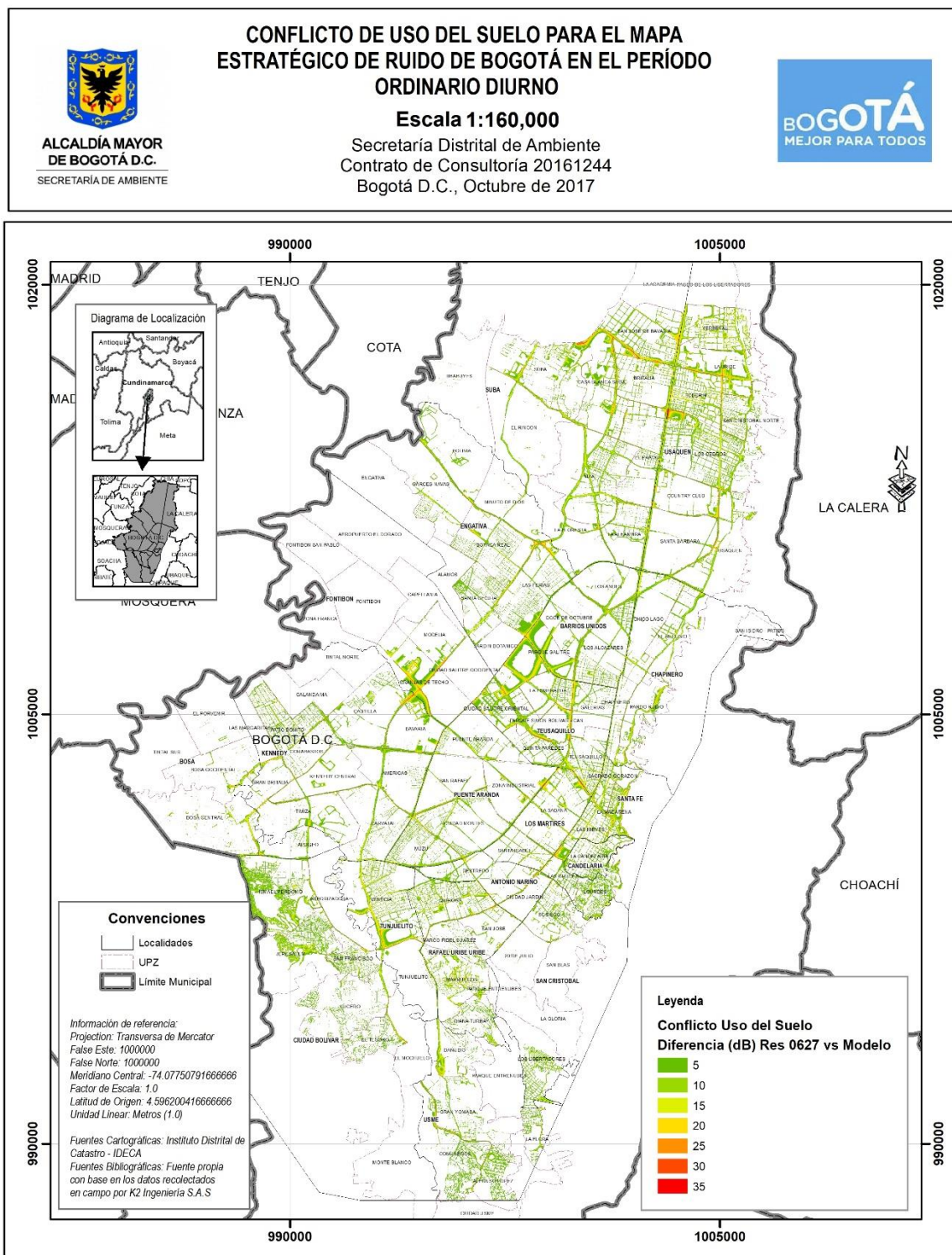


Ilustración 64. Conflicto de Uso de Suelo Ord. Diurno

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Para la jornada ordinaria diurna, la mayoría de los conflictos se centran a las servidumbres acústicas por vías/autopistas y calzadas de alto tráfico vehicular,

resaltando también los sectores de Granjas de Techo, Parque el Salitre, parte de Tunjuelito, y algunas áreas en San José de Bavaria, zonas que han sido evaluadas al estándar máximo más restrictivo a ellas (residencial) pero que por la mixticidad de las actividades que se encuentran dentro del barrio, revelan un conflicto.

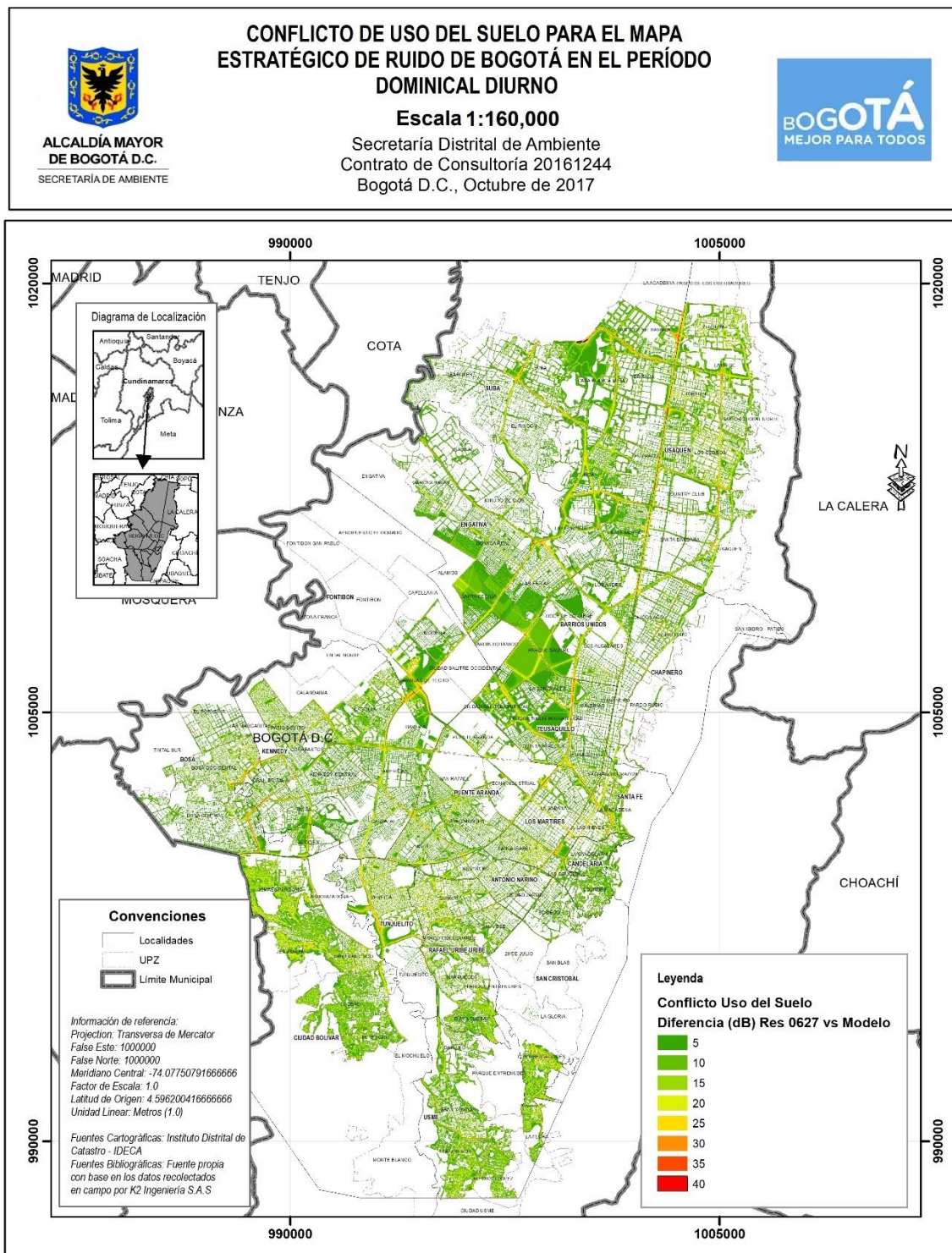


Ilustración 65. Conflicto de Uso de Suelo Ord. Nocturno

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Ocurre un comportamiento similar en la jornada ordinaria nocturna, sin embargo, los sectores críticos de conflicto (Dif. $LRA_{eq,N}$ y Máx. 0627 > 30 dBA) son más escasos.

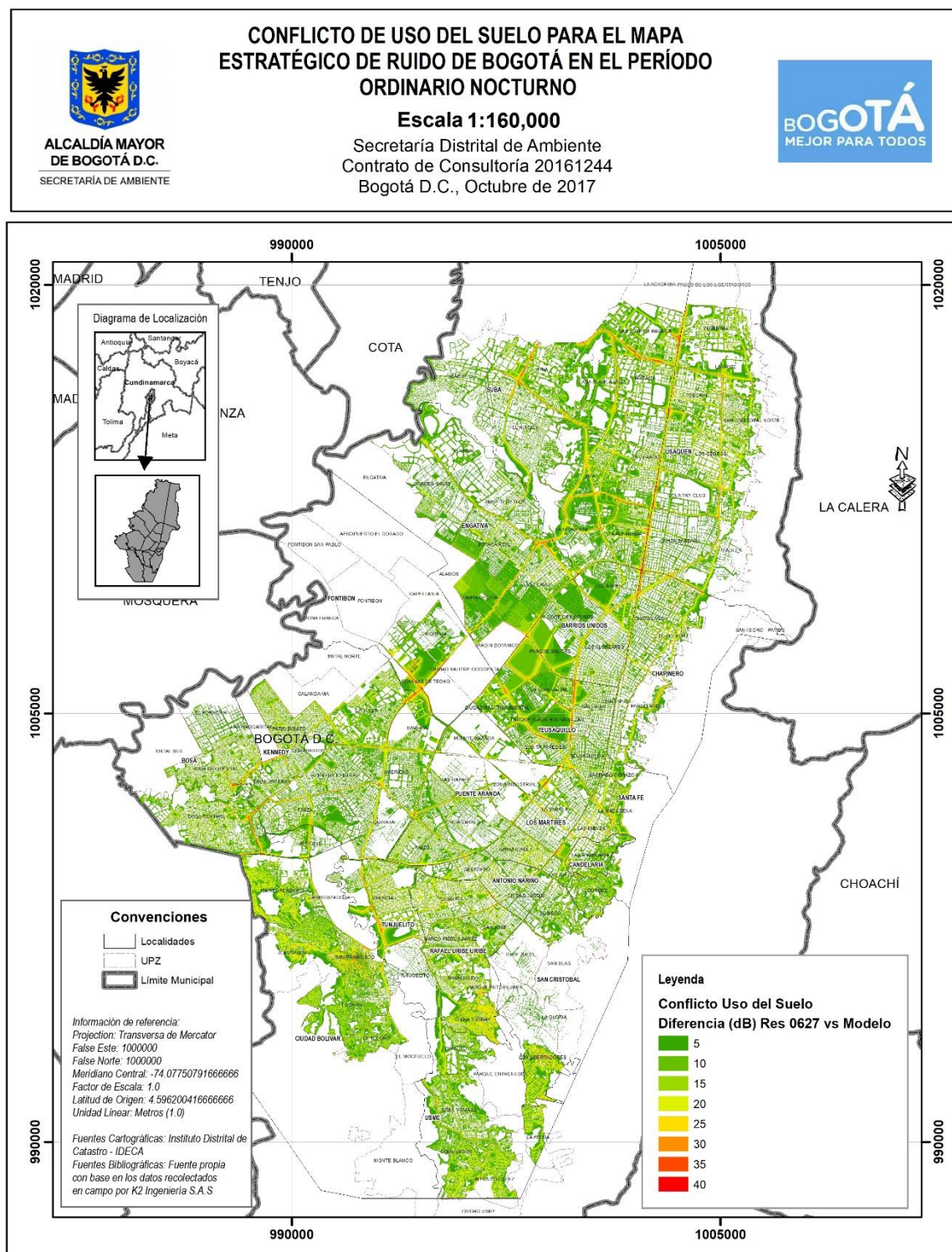


Ilustración 66. Conflicto de Uso de Suelo Dom. Diurno
Fuente: Propia (Estudio Actual)

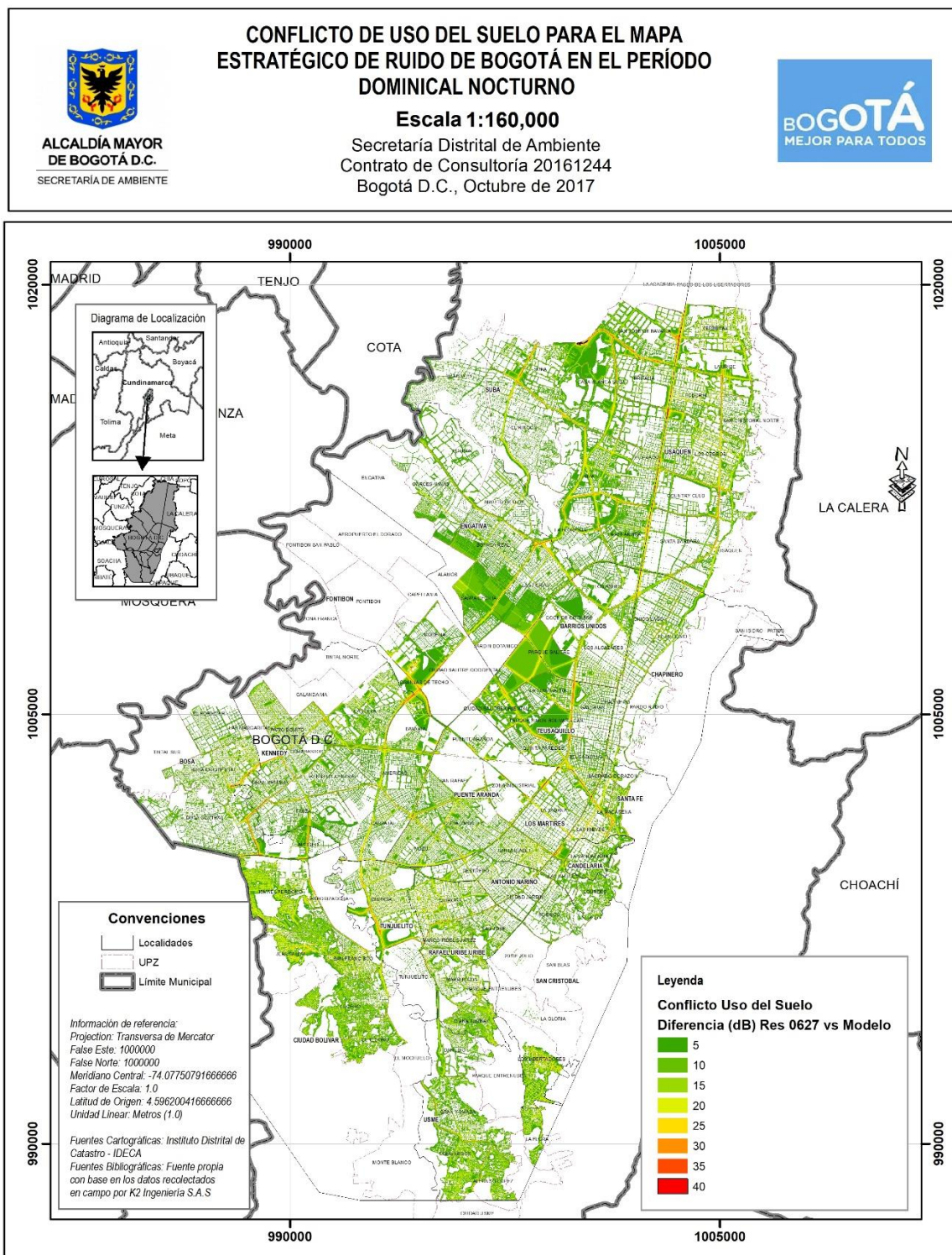


Ilustración 67. Conflicto de Uso de Suelo Dom. Nocturno

Fuente: Propia (Estudio Actual)

En el caso de la jornada dominical (Ilustración 66 e Ilustración 67), resaltan múltiples sectores en todo el distrito con conflictos de uso de suelo y el estándar máximo permisible entre 5 dBA y 15 dBA.

10.6 DETERMINACIÓN DE PRIORITARIOS

Tal como se expuso al inicio del presente capítulo, las diferentes perspectivas abordadas buscan estimar la correlación existente entre las ZEA escogidas como prioritarios en el %PUAR, el clima de ruido, la relación dosis/respuesta y las PQR, para decantar las de mayor relevancia en el desarrollo de una red de Ruido en la capital.

En las ocho (8) ZEA que finalmente fueron determinadas como prioritarias, se tuvo en cuenta que el objetivo final de una red de ruido es el conocimiento de la dinámica general de los espacios habitables, donde la mixticidad de uso de suelo y la creciente dinámica por establecimiento de ocio, comercio, industria, reflejan una vulnerabilidad hacia la comunidad.

En ese sentido, la matriz de evaluación de cada perspectiva (PUAR, CLIMA, DOSIS, PQR) se fundamentó en un sistema de puntajes y ponderaciones donde dependiendo el ranking que ocupase cada uno, se le asignó una calificación que conduce en determinar los 8 prioritarios. Es decir, las ocho (8) ZEA que al ser pasadas por la matriz obtuvieron el mayor número de puntos, fueron entendidas como sectores de interés prioritario para tomar medidas, pues tienen un alto %PUAR, un clima de ruido desfavorable, una dosis de ruido que tiende a la molestia y una tendencia histórica a suscitar quejas de la comunidad.

La siguiente tabla muestra el punto de partida explicado a lo largo de las diferentes perspectivas de análisis y la posición que ocupó cada ZEA en ellas:

Tabla 22. Jerarquía de ZEA por perspectiva de análisis

ZEA		RANKING (N.º Posición)				
		PQR	%PUAR	%PUAR_IND	CLIMA	DOSIS
ZEA 1	CALLE 93	9	18	18	12	18
ZEA 2	CALLE 85	2	19	19	20	7
ZEA 3	CARRERA 7	8	16	2	4	13
ZEA 4	CIUDAD MONTES	5	14	3	2	19
ZEA 5	FONTIBON CENTRO	11	12	4	11	20
ZEA 6	MODELIA	7	13	5	1	15
ZEA 7	RESTREPO	1	17	6	8	2
ZEA 8	Z.UNIVERSITARIA	3	20	20	19	11
ZEA 9	ALAMOS NORTE	12	8	13	10	16
ZEA 10	MINUTO DE DIOS	-	9	14	14	9
ZEA 11	PATIO BONITO	-	1	7	13	10
ZEA 12	PROVIVIENDA CARVAJAL	13	2	8	6	5
ZEA 13	VILLALUZ	14	10	15	3	17
ZEA 14	NORMANDIA	10	11	16	9	14

ZEA		RANKING (N.º Posición)				
		PQR	%PUAR	%PUAR_IND	CLIMA	DOSIS
ZEA 15	CASTILLA	-	3	9	16	12
ZEA 16	SUBA LOMBARDIA	-	7	17	5	4
ZEA 17	GALERIAS	4	15	1	15	1
ZEA 18	PROVIVIENDA OCCIDENTE	6	4	10	7	3
ZEA 19	HIPOTECHO	-	5	11	18	6
ZEA 20	PROVIVIENDA ORIENTAL	-	6	12	17	8

Fuente: Propia (Estudio Actual)

De la tabla anterior aparentemente no existe una relación o correlación entre una perspectiva y otra, no obstante, al resaltar las ocho (8) primeras posiciones en cada uno se pueden observar las ZEA que son repetitivas en prioridad para las diversas perspectivas.

Tabla 23. Jerarquía resaltada por perspectiva de análisis

ZEA		RANKING (N.º Posición)				
		PQR	%PUAR	%PUAR_IND	CLIMA	DOSIS
ZEA 1	CALLE 93	9	18	18	12	18
ZEA 2	CALLE 85	2	19	19	20	7
ZEA 3	CARRERA 7	8	16	2	4	13
ZEA 4	CIUDAD MONTES	5	14	3	2	19
ZEA 5	FONTIBON CENTRO	11	12	4	11	20
ZEA 6	MODELIA	7	13	5	1	15
ZEA 7	RESTREPO	1	17	6	8	2
ZEA 8	Z.UNIVERSITARIA	3	20	20	19	11
ZEA 9	ALAMOS NORTE	12	8	13	10	16
ZEA 10	MINUTO DE DIOS		9	14	14	9
ZEA 11	PATIO BONITO		1	7	13	10
ZEA 12	PROVIVIENDA CARVAJAL	13	2	8	6	5
ZEA 13	VILLALUZ	14	10	15	3	17
ZEA 14	NORMANDIA	10	11	16	9	14
ZEA 15	CASTILLA		3	9	16	12
ZEA 16	SUBA LOMBARDIA		7	17	5	4
ZEA 17	GALERIAS	4	15	1	15	1
ZEA 18	PROVIVIENDA OCCIDENTE	6	4	10	7	3
ZEA 19	HIPOTECHO		5	11	18	6
ZEA 20	PROVIVIENDA ORIENTAL		6	12	17	8

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Partiendo de tales posiciones, se asignó un puntaje a cada uno, repartidos de tal forma que la mayor importancia se dio a aquellas primeras posiciones en la jerarquía de PQR y le menor en la jerarquía de la relación Dosis/Respuesta. Es decir que una ZEA que ha ocupado el primer puesto en la perspectiva de PQR tiene más peso que otra ZEA que ocupe la misma posición en la perspectiva de clima de ruido o por dosis de ruido.

El máximo puntaje es de diez (10) unidades y el peso está repartido para que de esas 10 unidades el 30% corresponde a la posición que ocupó en la perspectiva de PQR, el 25% corresponde a la posición que ocupó en la perspectiva del %PUAR, el 20% a la posición en la perspectiva de %PUAR_IND, el 15% a la posición por clima de ruido y el 10% restante por la posición de dosis de ruido.

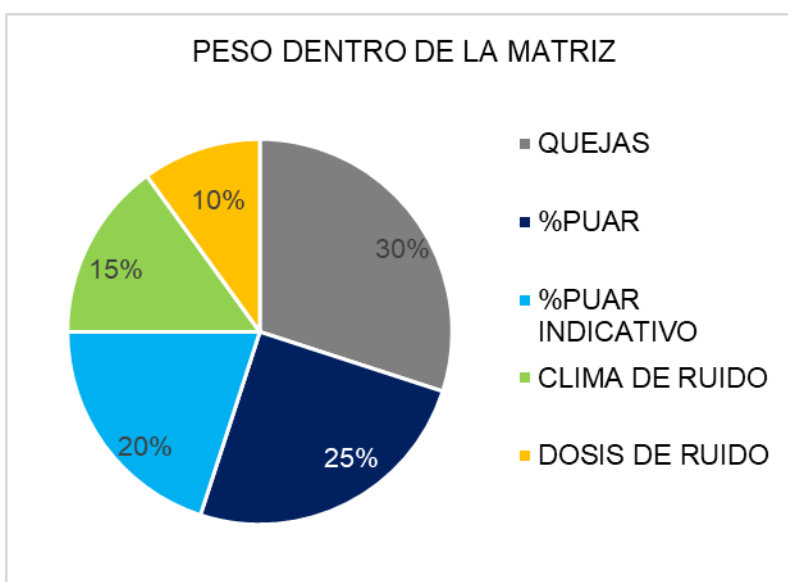


Ilustración 68. Peso porcentual de cada perspectiva dentro de la matriz

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Los pesos mostrados en porcentajes significan que, de un máximo de 10 unidades posibles, si una ZEA ocupa la primera posición en todas las perspectivas de análisis se le suma a su puntaje de priorización 3 unidades por PQR, 2.5 unidades por %PUAR, 2.0 unidades por %PUAR_IND, 1.5 unidades por clima de ruido y 1 unidad por Dosis/Respuesta.

Para aclarar la situación a continuación se detalla el ejemplo con una ZEA puntual.

La ZEA 3 Carrera 7º, ha ocupado las siguientes posiciones en las perspectivas de análisis:

- Puesto 8 de prioridad por PQR agrupadas
- Puesto 19 de prioridad por %PUAR

- Puesto 17 de prioridad por %PUAR_IND
- Puesto 4 de prioridad por clima de ruido
- Puesto 13 de prioridad por Dosis/Respuesta de Ruido

Se ingresan los puestos en la matriz y efectuarán los siguientes cálculos:

$$Puntaje = \beta_{PQR} + \beta_{PUAR} + \beta_{PUARIN} + \beta_{CLIMA} + \beta_{DOSIS} \quad (8)$$

Donde:

β_{PQR} es el puntaje por la posición de prioridad en PQR

β_{PUAR} es el puntaje por la posición de prioridad en %PUAR

β_{PUARIN} es el puntaje por la posición de prioridad en %PUAR_IND

β_{CLIMA} es el puntaje por la posición de prioridad en Clima de Ruido

β_{DOSIS} es el puntaje por la posición de prioridad en Dosis/Respuesta

Tales puntajes se calculan de la siguiente manera:

$$\beta_i = (Puntaje_{Max} * Peso\%) * [(n + 1) - Puesto_i] \quad (9)$$

Donde

i es el tipo de perspectiva.

$Puntaje_{Max}$ es 10 unidades.

$Peso\%$ es el valor en porcentaje de representa cada perspectiva.

n es la cantidad de ZEA.

$Puesto_i$ es la posición o ranking que ocupo en la perspectiva.

En ese sentido para el ejemplo iniciado de la ZEA 3 los valores son los siguientes

$$\beta_{PQR} = (10 * 30\%) * (21 - 8) \quad (10)$$

$$\beta_{PUAR} = (10 * 25\%) * (21 - 16) \quad (11)$$

$$\beta_{PUARIND} = (10 * 20\%) * (21 - 2) \quad (12)$$

$$\beta_{CLIMA} = (10 * 15\%) * (21 - 4) \quad (13)$$

$$\beta_{DOSIS} = (10 * 10\%) * (21 - 13) \quad (14)$$

$$PuntajeZEA_3 = 1.50 + 0.25 + 0.40 + 1.28 + 0.40 = 3.85 \quad (15)$$

En base a la metodología explicada en el ejercicio anterior, los resultados obtenidos en la matriz de correlación se presentan en la Tabla 24 .

Las ocho (8) primeras posiciones al tener los puntajes más altos en la matriz se tipifican como las ZEA prioritarias.

Tabla 24. Resultados de priorización en la matriz

PRIORIZACION GENERAL DE TODAS LAS ZEA			
N.º	PUNTAJE FINAL	ZEA	NOMBRE
1	7.2	ZEA 4	Ciudad Montes y Santa Matilde
2	7.0	ZEA 7	Restrepo
3	6.7	ZEA 8	Zona Universitaria
4	6.2	ZEA 17	Galerías
5	6.1	ZEA 18	Provivienda Occidental - Carva
6	5.9	ZEA 2	Zona Rosa
7	5.7	ZEA 13	Villa Luz
8	5.5	ZEA 5	Fontibón Centro
9	5.4	ZEA 12	Provivienda Carvajal- I Sector
10	4.3	ZEA 16	Suba Lombardía
11	4.2	ZEA 6	Modelia
12	4.0	ZEA 14	Normandía
13	3.9	ZEA 10	Minuto de Dios
14	3.8	ZEA 9	Álamos Norte
15	3.8	ZEA 3	Corredor Peatonal
16	3.7	ZEA 20	Provivienda Oriental
17	3.4	ZEA 1	Parque de la 93
18	3.4	ZEA 15	Castilla
19	3.2	ZEA 19	Hipotecho Occidental
20	2.5	ZEA 11	Patio Bonito

Fuente: Propia (Estudio Actual)

11 ESTÁNDARES DE DISEÑO A LA RED DE RUIDO

Tras finalizar el presente estudio la firma consultora recomienda las ocho (8) zonas priorizadas para consideración de la futura red de ruido de la capital.

Este enfoque permite dar un diagnóstico de la dinámica en diversos puntos cardinales de la ciudad tal como se observa en la presente ilustración ejemplo:

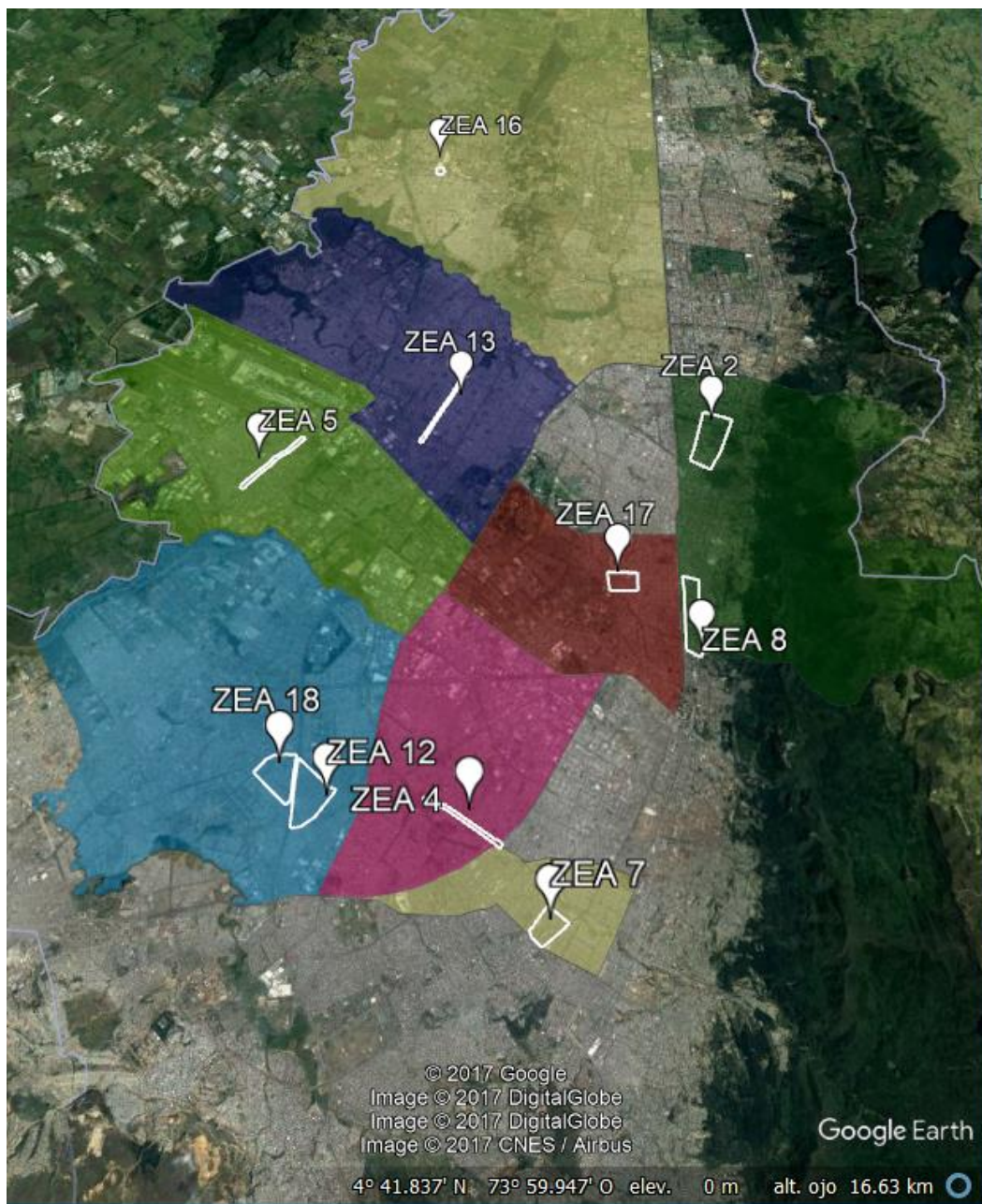


Ilustración 69. Ejemplo de Puntos propuestos

Fuente: Propia (Estudio Actual)

La ubicación de los mismos (o puntos en condiciones similares) da lugar a una mayor vigilancia de la dinámica fluctuante de ruido, lo que permita orientar las medidas de gestión a largo y mediano plazo.

Igualmente, se sugiere contemplar la instalación de uno o dos puntos de monitoreo por fuera de las Zonas de Especial Atención, pues en el análisis de priorización por localidades se observó el caso de Ciudad Bolívar donde no existe una ZEA estimada y es esta la localidad que mayor aporte entrega al %PUAR de toda la capital, razón por la cual se ratifica que la autoridad ambiental no puede desconocer el tráfico vehicular como una fuente de ruido que en muchos casos puede describir la dinámica total de un sector, al enmascarar focos de menor prevalencia energética. Para estos puntos adicionales, también se puede tener en consideración la densificación de quejas realizadas (véase sección 10.4) que revela puntos adicionales de acuerdo a la agrupación de cada una de ellas.

Es decir que, la red debería contemplar puntos críticos, puntos donde exista un amplio conocimiento de la fuente, y también zonas con espacios recuperados para la actividad urbana que permita realizar comparativas de la dinámica general de ciudad.

Ahora bien, en términos de microlocalización la futura red de ruido debe considerar no solo la ubicación en términos de la predominancia de fuentes por actividad comercial, industrial o de servicios, sino que, bajo el interés de abarcar todos los focos, generen criterios que respondan a la ubicación fina del punto.

Dentro de los aspectos a considerar se incluyen los siguientes:

- El punto de monitoreo no debe privilegiar a una fuente en particular, pues tal punto pasará a ser un medidor de emisiones saliéndose del enfoque de vigilancia a los niveles de ruido ambiental.
- El punto de monitoreo debe contemplar aportes energéticos equivalentes entre los focos sonoros existentes, incluidas las vías, permitiendo hacer una relación de campo acústico compartido en el cual no existe una contribución privilegiada de una vía o fuente fija en particular.
- En términos electromagnéticos el punto no debería estar expuesto a radiaciones en las proximidades para evitar transferencia de información, señales intrusas, distorsión armónica y demás efectos.
- Cada punto de monitoreo debería pasar por una aprobación de criterios acústicos como el no apantallamiento, la no existencia de reflexiones en la proximidad, etc.
- En términos de gestión de la red, los puntos deben considerar aspectos de seguridad y acceso, contemplando incluso que sea asequible para calibraciones o verificaciones de funcionamiento tanto del transductor como del sonómetro.

Es de mencionar que en la mayoría de los casos en los que se quiere enfocar la evaluación de una problemática en particular, los criterios acústicos para ubicar un punto de la red pueden variar, con lo cual, los criterios podrían ser ampliados o modificados por la autoridad ambiental.

11.1 DETERMINACIÓN DE PUNTOS

En base a la priorización de ZEA los 8 puntos sugeridos se estiman a continuación:

- Calle 8 Sur, entre Avenida NQS - Carrera 30 y Carrera 50
- Carrera 7 o Carrera 13, Entre Calle 40 y Calle 51
- Cra 32 / Calle 51-Calle53B
- Av. Primero de Mayo entre Av. Boyacá Carrera 72 y Carrera 73
- Carrera 11 a la Carrera 14, entre Calle 79 y Calle 91
- Corredor de la Carrera 77A, entre Calle 72 y Calle 63
- Corredor de la Carrera 100, Entre Avenida de la Esperanza - Calle 24 y Calle 17

Adicionalmente, para la red del distrito se sugiere contemplar 3 puntos saliendo de las coberturas de las ZEA. por densificación de quejas, estos podrían ser incluidos dentro de las 8 estaciones que llevaría la red para realizar un monitoreo continuo, o bien incluirse como puntos móviles que realicen muestreo esporádico en ciertas temporadas del año. Lo anterior permitiría atender futuras quejas que sean suscitadas en los sectores con base a monitoreos de mediano plazo.

La combinación de la distribución de puntos de monitoreo entre los 8 prioritarios y los 5 sugeridos garantiza una buena representatividad de la dinámica de la ciudad Bogotá, y de la molestia percibida por la población capitalina. Es importante recordar que estos puntos son parte de una solución que no es única, con lo cual, cualquier otra configuración de puntos de monitoreo podría ser adecuada para los criterios de la red, donde además, se debe considerar que los puntos de monitoreo definidos en este documento se basan en aspectos teóricos que en la práctica pueden demandar ser redefinidos para mejorar la trazabilidad de los datos que se obtengan del monitoreo.

11.2 CARACTERÍSTICAS EN LOS PUNTOS DE MEDIDA

Minimizar la influencia proveniente de superficies reflejantes (incluido el suelo) es uno de los criterios acústicos que se deben cumplir todos los puntos de medidas. Por lo anterior se sugiere una altura de los puntos de 4 m sobre el nivel del suelo, dato que además, permite dar conformidad a la Resolución vigente de ruido ambiental, y a las implementaciones realizadas en redes automáticas a nivel internacional.

De igual manera, por tratarse de monitoreo continuo en exteriores, el equipo debe contar con toda la protección para la intemperie que lo proteja de factores tales como lluvia, vientos, pájaros, rayos, etc.

El siguiente es un ejemplo de terminales de monitoreo empleadas en redes continuas y automáticas de ruido.



Ilustración 70 Ejemplo de características para puntos de monitoreo

Fuente: C.Asensio UPM [22]

Estos equipos deben estar enlazados en red para garantizar el continuo monitoreo en tiempo real y la visualización constante de las dinámicas en cada sector. La siguiente figura es un esquema general sugerido para la red de monitoreo:

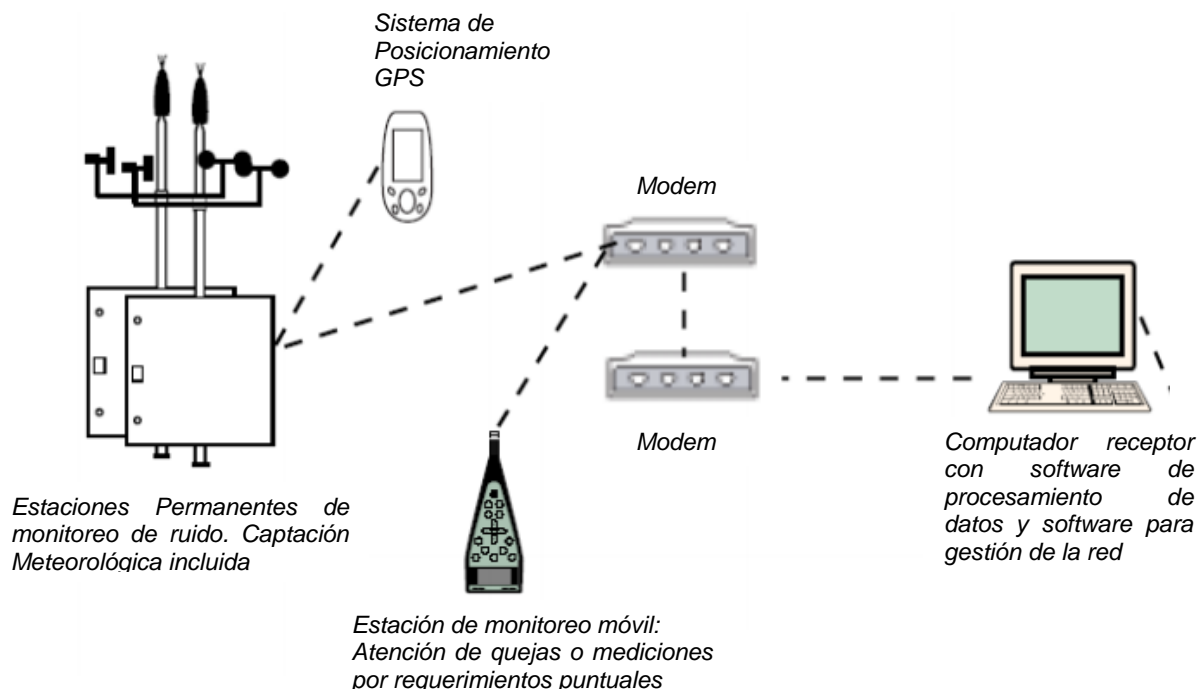


Ilustración 71. Esquema base de una red automática de monitoreo de ruido

Fuente: Adaptado C.Asensio UPM [22]

12 LÍNEA BASE PARA EL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ACÚSTICA

El plan de descontaminación de ruido ambiental es una herramienta de gestión que busca mitigar la contaminación acústica originada por los altos niveles de ruido generados por el sector industrial, que comprende el subsector de comercio y servicios. Todas las herramientas de acción que serán sugeridas en este plan de descontaminación solo podrán dar resultados positivos si la autoridad ambiental y diferentes entes públicos y privados realizan un trabajo mancomunado que vaya en pro de disminuir los niveles de ruido que afectan a la población expuesta al ruido. Cabe anotar que es menester de la comunidad bogotana, tomar conciencia de la problemática del ruido como elemento generador de contaminación y afectación de su calidad de vida.

Mediante los resultados obtenidos de las mediciones de ruido ambiental, de emisión y del modelado del mapa estratégico de ruido de la ciudad de Bogotá se realizará el análisis de las 20 zonas de especial atención previamente definidas por la autoridad ambiental, con el fin de elaborar un plan estratégico de ruido que permita reducir los niveles de contaminación acústica e impedir afectaciones a la población expuesta a esta problemática ambiental.

12.1 DESCRIPCIÓN DE ACCIONES SUGERIDAS

Las medidas planteadas a continuación, pueden conducir a una reducción de los niveles de ruido en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta 3 (tres) tipos de acciones

12.1.1 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 a 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 ya que supondrán una mejora cualitativa, tanto a nivel acústico como en otras variables

12.1.2 ACCIONES CORRECTIVAS

Una vez que el proceso de planificación o diseño se ha desarrollado y se valida algún tipo de afección, todas las 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.

12.1.3 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.

12.2 PLAN DE DESCONTAMINACIÓN

Es necesario que todas las entidades públicas y privadas que están relacionadas directa e indirectamente con esta problemática ambiental ejecuten lo más pronto posible el plan de descontaminación acústico con el propósito de generar y mitigar a corto y/o mediano plazo el proceso de descontaminación acústico.

Las acciones proyectas a continuación tienen como finalidad su desarrollo en las 20 (veinte) zonas de especial atención (ZEA), sin embargo, este tipo propuestas pueden aplicarse al resto de la ciudad de Bogotá.

1. DETERMINAR IMPACTO POR RUIDO DE LOS ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES, SERVICIOS, INDUSTRIAS Y CORREDORES VIALES EN LA POBLACIÓN.

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Propietarios de establecimientos comerciales, servicio e industrias.

Es necesario el establecimiento de una política pública en el distrito con los principios que la orienten, los instrumentos mediante los cuales se ejecute y las acciones principales que deberían llevarse a cabo de acuerdo a los principios propuestos, con la que las autoridades ambientales y todo aquel organismo directamente relacionado con la regulación ambiental, establezcan como requisito fundamental para la autorización, aprobación y renovación de licencias de funcionamiento a los establecimientos comerciales y para la construcción de vías

de alto flujo vehicular, el impacto por ruido proyectado o causado (fuentes fijas y móviles) a los residentes aledaños al sector en cuestión según la actividad que se desarrolle y en base a ese estudio, los mismos establecimiento propongan las medidas de control pertinentes para mitigar al máximo y regular una posible problemática en la población.

2. FORTALECER LOS OPERATIVOS DE VIGILANCIA Y CONTROL A FUENTES DE EMISIÓN (FIJA)

Tipo de acción: Seguimiento y control.

Área de acción: Propietarios de establecimientos.

En línea con la propuesta anterior, con el fin de llevar un proceso efectivo de vigilancia y control dirigido hacia los establecimientos comerciales, de servicios e industrias, es necesario el concurso de las diferentes instituciones de gobierno en cuanto a la verificación de la adopción de las medidas establecidas previamente por los establecimientos sobre la mitigación en los niveles de ruido. Los operativos deben ir dirigidos a la revisión de:

- Cumplimiento de horarios de funcionamiento.
- Cumplimiento de niveles de emisión según de la resolución 0627 del 2006.
- Cumplimiento del Código Nacional de Policía y Convivencia, Ley 1801 del 2016.
- Vigencia de permisos de funcionamiento y cumplimiento de uso de suelo.
- Adopción de las medidas previamente establecidas sobre la reducción de los niveles de ruido.

En caso de hacer omisión a dichas medidas, se deben establecer las correspondientes sanciones, traslados o cierres según sea el caso y la ley lo avale.

3. REALIZAR TRATAMIENTOS ACÚSTICOS DEL ENTORNO INMEDIATO DE LA FUENTE

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Establecimientos comerciales, servicios e industrias.

El encapsulamiento de la fuente, los silenciadores y el uso de muros dobles son algunas de las técnicas y dispositivos recomendados para tratar el entorno de la fuente, en zonas de ocio, se puede llegar a reducir los niveles sonoros emitidos de forma considerable implementando esta acción junto con el tratamiento directo de la emisión de la fuente.

ENCAPSULAMIENTO

Cuando la fuente sonora tiene un tamaño pequeño una excelente opción con el fin de minimizar sus emisiones puede ser encapsular la fuente. Este método consiste en envolver la fuente completamente en un cerramiento, con lo cual se podrían obtener reducciones superiores a los 15 dBA [23].



Ilustración 72. Ejemplo de encapsulado

Fuente: Web Gabinete de Ingeniería Acústica [24]

SILENCIADORES

Los silenciadores son dispositivos que se ubican dentro de los ductos de circulación de un gas (normalmente aire) con el fin de disminuir los niveles sonoros, producidos por el movimiento del gas. Este tipo de sistemas se utilizan regularmente en las salidas de aire de equipos de climatización o ventilación, escapes de motores de combustión, y salas de máquinas. Es necesario tener en cuenta algunos aspectos para su diseño que serán citados a continuación

- El espectro en frecuencia y niveles de ruido generados por la fuente; ya que los silenciadores no suministran la misma efectividad en todas las frecuencias.
- Propiedades del gas que transita por el ducto, especialmente su temperatura y velocidad ya que estas características determinarán el tipo de material para el diseño del silenciador.
- Dimensiones del silenciador, las cuales van a estar definidas por el espacio de los ductos. Silenciadores de gran tamaño pueden ser inviables y tener costos de construcción bastante altos.



Ilustración 73. Ejemplo Silenciador acústico

Fuente: Manual de acústica ambiental y arquitectónica [23]

AISLAMIENTOS ACÚSTICOS PARA RECINTOS.

El aislamiento acústico comprende una de las medidas más efectivas para controlar el ruido generado por una fuente fija. Su principal objetivo es contribuir a que las ondas sonoras pierdan la mayor cantidad de energía una vez choquen con un cerramiento o barrera acústica. Para lograr un alto grado de aislamiento, la solución más simple consiste en la construcción de un muro doble; estas son estructuras rígidas conformadas por 2 paredes simples, iguales o diferentes, que separadas por una cavidad que puede estar vacía o rellena con algún material con propiedades absorbentes. Si bien un muro doble ayudará a reducir el nivel de ruido es necesario complementar el aislamiento con el uso de puertas acústicas, ventanas acústicas y techos y pisos acústicos que contienen propiedades especiales que ayudaran a elevar el aislamiento acústico reduciendo el impacto por ruido. El tipo de aislamiento acústico a implementar depende del tipo ruido que se quiera aislar, de ahí que no exista un mismo aislamiento que funcione tratar todas las fuentes generadoras de ruido.

4. INCREMENTAR EL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LAS NUEVAS CONSTRUCCIONES

Tipo de acción: Preventiva

Área de acción: Curadurías urbanas y constructoras.

Hoy día la gran mayoría de las construcciones poseen materiales con pocas características acústicas o de baja calidad, con el fin de ahorrar costos, lo que con lleva de forma indirecta a que la población este expuesta a altos niveles de ruido procedente de los establecimientos comerciales como discotecas, bares, industrias, y corredores viales cercanos a la residencia; de ahí que se haga necesario que las constructoras, Arquitectos, Ingenieros y demás personal que trabaje en el ámbito de la construcción empiecen a utilizar materiales acústicos y hagan uso procedimientos que conlleven a realizar aislamientos acústicos como método para

la prevención al ruido o la contaminación acústica a la población cercana a zonas que emitan altos niveles de ruido a corredores viales de alto flujo vehicular

5. INCENTIVAR EL USO DE MATERIALES ACÚSTICOS QUE REDUZCAN LA EXPOSICIÓN AL RUIDO AMBIENTAL

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Curadurías urbanas y constructoras.

Como se mencionó anteriormente, uno de los procedimientos más adecuados para impedir que el ruido entre o salga a un recinto es mediante el aislamiento acústico, por ende, es tarea de las instituciones de gobierno impulsar a la población al cambio de ventanales, puertas y maderas tradicionales por materiales acústicos con un buen nivel de aislamiento, con el fin de prevenir o corregir la exposición a la contaminación acústica. Se hace necesario entonces determinar las zonas más críticas teniendo en cuenta las quejas recibidas por la respectiva autoridad ambiental y validando por medio de mediciones en algunas viviendas de manera aleatoria, el grado de contaminación acústica, con el fin de incentivar a todos los habitantes aledaños a estos entornos ruidosos a recibir subsidios económicos ofrecidos por el distrito, para reemplazar los materiales de sus viviendas por materiales acústicos que ayuden a disminuir los niveles de ruido percibidos por los residentes de las viviendas y así mejorar su confort acústico.

6. IMPLEMENTAR EL USO DE LIMITADORES ACÚSTICOS

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Comercio y servicios.

Un limitador acústico según MCR AUDIO [25] es un dispositivo diseñado para optimizar la emisión de sonidos de un sistema de refuerzo sonoro por medio de la limitación espectral de la señal en tercios de octava; de esta forma se garantiza el máximo de nivel de presión sonora sin incumplir con la normativa vigente.

Este tipo de sistemas intervienen directamente en la totalidad de la cadena de audio, y tienen la capacidad de realizar almacenamiento y registro sonográfico de los niveles sonoros existentes en el interior del recinto donde funcione.

Los limitadores son un excelente complemento al usarse en recintos que tengan un buen aislamiento acústico ya que garantizara confort acústico a toda la población aledaña a la fuente fija. Este tipo de dispositivos ya fue empleado anteriormente en el país puntualmente en la ciudad de Medellín en el año 2013 [26] por la administración local como prueba piloto en algunos sectores críticos de la ciudad donde hay alta proliferación de discotecas, y bares junto a sitios residenciales, con la autorización y disposición de manera voluntaria de los dueños de los locales comerciales en el centro de la ciudad.

Finalmente, este dispositivo puede emplearse en discotecas, bares, restaurantes, discotecas y demás recintos destinados al sub sector comercio o servicio donde hagan uso de sistemas de refuerzo sonoro, la implementación estaría a cargo del particular y la administración cumpliría el rol de verificación y sanción en caso de incumplimiento.

Ahora bien, aunque se implemente esta medida correctora se debe entender que el aislamiento acústico de la fuente es la medida correctiva de mayor prioridad, con lo cual el uso de limitadores no podrá reemplazar en ningún momento la implementación de alguna de ellas.

7. IMPULSAR LA REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EMISIÓN EN FUENTES FIJAS

Tipo de acción: Preventiva

Área de acción: Comercio, servicios e industria.

Con el fin de prevenir la exposición a altos niveles de ruido en la población residencial ubicada en entornos ruidos, una buena medida resulta en impulsar la implementación de mejoras acústicas de manera voluntaria en los recintos donde se desarrollen actividades comerciales a cambio de obtener beneficios fiscales. Para tal fin los propietarios de los establecimientos comerciales podrían implementar el uso de ventanas y puertas acústicas, construcción de muros dobles, pisos flotantes e instalación de limitadores acústicos entre otros, según sea el caso de la fuente donde se vaya a efectuar la mejora acústica. Esta acción ayudaría a prevenir un riesgo de contaminación por ruido a la población y tendría una gran efectividad teniendo en cuenta que lo que se busca es aislar el foco generador de ruido.

8. OPTIMIZAR EL TRANSPORTE PÚBLICO

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Transporte público (buses y taxis) y Transmilenio.

El objetivo busca desarrollar acciones con el fin de mejorar el sistema de transporte público, desde sus tarifas de viajes, calidad de servicio (frecuencia, rapidez, regularidad y comodidad, accesibilidad, etc.), diseño de la red (localización de paradas y estaciones, mobiliarios, etc.) hasta la movilidad del mismo; que a su vez haga de este un servicio mucho más atractivo para todos aquellos que usan vehículo privado estimulando su uso como alternativa de transporte y reduciendo los niveles de ruido.

A continuación, se cita una serie de observaciones con el fin de obtener las mejoras citadas anteriormente en la movilidad del transporte público.

- Espacios y radios de giro apropiados a las dimensiones y requerimientos del transporte público.
- Establecer vías para la circulación del transporte colectivo (con posibilidad de ser usadas por taxis, motos y bicicletas a velocidad limitada) en calles comunes, reduciendo el ancho o número de carriles a los automóviles privados. La medida puede emplearse a todo el trayecto de la vía o entornos cercanos a las estaciones o paradas.
- Ubicar de estaciones o paradas en vías con un solo carril por sentido, es un claro aporte a la reducción del número de desplazamientos y de su velocidad en el caso del tráfico privado, esto como consecuencia de verse en la necesidad de adaptarse al flujo del transporte público, al tener que realizar las mismas esperas y paradas a lo largo de su desplazamiento. Sin embargo, el carril puede ser lo suficientemente ancho para permitir el sobrepaso de una bicicleta. Las estaciones deben estar correctamente localizadas y con condiciones de accesibilidad lo más adecuadas posibles.
- Asegurar el estado técnico mecánico de los automotores realizando los procesos de chatarrización según lo establecido por la ley una vez finalice su tiempo de vida útil, y realizando los controles que verifiquen que cuentan con una revisión técnico-mecánica al día.
- Capacitar al 100% de los conductores en atención al cliente, ruido ambiental y su control, y finalmente en manejo defensivo.

9. FORTALECER CONTROLES E INSPECCIÓN A VEHÍCULOS Y CONDUCTORES

Tipo de acción: Seguimiento y Control.

Área de acción: Conductores y propietarios de vehículos livianos, pesados, y de transporte público y privado.

Es importante que la Dirección de Tránsito y Transportes de la Policía Nacional (DITRA) ejecute medidas de control que permitan hacer seguimiento a las acciones de prevención y corrección desarrolladas, y así se evita que se genere nuevamente algún tipo de contaminación acústica en los automotores que afecte la salud de la comunidad. En caso de omitir dichas sugerencias, habrá que generar medidas o sanciones según lo establezca la ley, o en el peor de los casos inmovilizar el vehículo infractor. Los operativos encaminados a controlar y vigilar:

- Conducción ofensiva.
- Exceso de velocidad.
- Uso innecesario y excesivo de la bocina.
- Empleo indebido de dispositivos ruidosos.
- Mal estado del silenciador de los vehículos.

- Restricción de horarios a vehículos pesados
- Tránsito de vehículos pesados en vías no permitidas.
- Sancionar todos aquellos conductores con dispositivos ruidosos o vehículos en mal funcionamiento de su resonador que incrementen la contaminación acústica.

10. RESTAURAR LA MALLA VIAL.

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Infraestructura vial.

Un malla vial en excelente estado permitirá un flujo de velocidad adecuado y reducirá el ruido debido a las frenadas, caídas en huecos, uso de la bocina y los trancones por problemas en la movilidad; por ende es necesario vigilar y reparar el estado de malla vial, y cumplir las metas estipuladas para el año 2017 por la alcaldía distrital de rehabilitar 290 kilómetros de vías tapando más de 90 mil huecos [27] y aumentar la meta para el año 2018. Adicionalmente es necesario tener en cuentas las siguientes observaciones:

- Recurrir al uso de irregularidades de la sección o de equipos para la disminución de la velocidad como lomos, almohadas o mesetas que no perturben la integridad y la comodidad del transporte colectivo y que estén plenamente adaptadas a las dimensiones de este tipo de vehículos.
- Realizar mantenimientos preventivos y correctivos de la malla vial.
- Incrementar la y mejorar la señalización y la seguridad vial.
- Verificar el estado de la malla vial con la instauración de un programa de vigilancia, que se encargue recuperar la red vial de la ciudad que se encuentre en mal estado, ya que el mal estado de las será causal de forma indirecta por el alto flujo vehicular como consecuencia de una movilidad pobre, al uso inadecuado de la bocina y al ruido de propulsión o rodadura de los vehículos.

11. FORTALECER LA RED DE SEMAFORIZACIÓN Y SEÑALES DE TRÁNSITO

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Propietarios de vehículos livianos, pesados y transporte público.

La señalización es un mecanismo cuya función es la de transmitir información del tramo vial en el que se desplaza el usuario. Si bien la señalización es usada para establecer prohibiciones, limitaciones o advertencias, la señalización también puede usarse con el fin de recalcar ciertas características del entorno urbano por el que se transita, incorporando a la sensibilidad acústica.

Principalmente con el uso de marcas viales, la señalización es una técnica sumamente importante para incentivar el cambio en la conducta del usuario,

dándole a entender que su presencia no es una prioridad en el entorno urbano en se ubica, induciéndolo a minimizar la velocidad, a realizar una conducción suave y menos agresiva e incluso incita a programar un trayecto mucho menos favorable para su próximo traslado.

Dos claros ejemplos del uso de este tipo de marcas viales son aquellas propuestas para reducir visualmente los carriles de circulación, así como las líneas o bandas transversales con relieve que generan una impresión de realizar un recorrido con un alto grado de velocidad al conductor.

Adicionalmente para reforzar la señalización convencional es viable utilizar otro tipo elementos que le transmitan al conductor la misma intención de regular su comportamiento al volante, mediante el uso de color, cambios de textura, contraste en los pavimentos.

Es necesario instalar señales de tránsito que contribuyan de forma directa a una reducción de los niveles de ruido. Señales de Prohibición del uso de la bocina en sectores de tranquilidad y silencio restrictivo; señales que controlen el exceso de velocidad y señales que indiquen la prohibición de parquear ayudaran a minimizar la contaminación acústica.

Finalmente hay que fortalecer la red de semáforos de la ciudad con semáforos inteligentes e integrales será de vital importancia con el fin de regular y garantizar la movilidad de los vehículos en los horarios de mayor y menor flujo vehicular. Se estima que el uso de semáforos inteligentes en la capital puede reducir el tiempo de viaje de los usuarios hasta en un 30%.

12. PROMOVER EL USO DE LA BICICLETA

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Infraestructura y malla vial.

La bicicleta es una excelente alternativa de transporte que día a día toma más protagonismo en la ciudad, de ahí que se haga necesario ver a la bicicleta como un medio de transporte y no como medio de recreación. La bicicleta es un medio de transporte que no produce emisión alguna cuando se moviliza y que garantiza tiempos de movilidad regulares en sus recorridos, e incluso puede llegar hacer mucho más rápido que otros medios de transporte como lo demostró en la pasada Carrera de Modos [28] que se realizó durante la semana de la movilidad por el grupo de Investigación y Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Facultad de Ingeniería y la Gerencia del Campus en el año 2017, donde varios participantes arrancaron del mismo lugar a la misma hora en medios de transporte diferentes (bicicleta, automóvil, taxi, bus(SITP) y Transmilenio) con el objetivo de llegar al mismo sitio, lo que dio como ganador a la bicicleta al realizar el recorrido en el mejor tiempo ;por ello es importante seguir promoviendo el uso de la bicicleta y continuar con la senda planteada de convertir a Bogotá en la capital mundial de la bicicleta [29]; lo que contribuirá a fortalecer y ampliar la Red de CicloRutas en las zonas

estratégicas de la ciudad y a desincentivar el uso de vehículos con motores de combustible fósil a la bicicleta. Es importante seguir promoviendo el uso de la bicicleta a partir de las siguientes acciones:

- Cumplir por las obras proyectas por la Alcaldía Distrital con la construcción de ciclorutas que abarcan 16.45 kilómetros de recorrido, así como bici carriles con una extensión de 7.3 kilómetros.
- Mejorar la movilidad de las bicicletas.
- Garantizar la seguridad de los ciclistas.
- Incentivar el uso de la bicicleta como medio de transporte y no solo como recreativo.

13. PEATONALIZACIÓN DE LAS VÍAS

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Infraestructura y malla vial.

La peatonalización de las vías puede traer excelentes beneficios, como los son la anulación del ruido por tráfico vehicular y mejora en la calidad del aire. No obstante, puede llegar a generar consecuencias nocivas, como la eliminación de espacios residenciales a no tener un fácil acceso, disminución de ventas en sectores comerciales y el traslado de las problemáticas del sector al límite de las áreas peatonalizadas.

La recomendación es la de realizar una planificación que permita un entendimiento y una articulación idónea entre el peatón y todos los elementos que hacen parte de la red vial, pero siempre asignándole un mayor protagonismo a los peatones. Eliminación de pendientes, accesos que generen uniformidad en la marcha; selección de un ancho adecuado para el corredor peatonal reduciendo el número de carriles para automóviles, el ancho de los carriles para autos, y reducción del espacio de parqueo; selección del tipo de cruce más adecuado de acuerdo al flujo peatonal, como paso de cebra, semáforo y paso a desnivel entre otros son algunas de las medidas tener en cuenta a la hora de peatonalizar las vías.

Finalmente es necesario aumentar el pie de fuerza policial en los corredores peatonales con el fin de mejorar la seguridad del corredor peatonal y culminar las metas propuestas en el Plan Distrital de Desarrollo “Bogotá Mejor para Todos” correspondiente al programa de gobierno del alcalde Mayor, Enrique Peñalosa, de 1.4 kilómetros de peatonalización y ampliarla a otros sectores dada la favorabilidad que ha tenido esta medida en las distintas pruebas pilotos que se han realizado en la ciudad.

14. IMPLEMENTAR EL USO DE PAVIMENTOS SONORREDUCTORES

Tipo de acción: preventiva o correctiva

Área de acción: infraestructura vial.

El «ruido de rodadura» que viene dado por la interacción de la rueda y el pavimento hace parte de uno de los 3 componentes fundamentales del ruido vehicular. Su contribución se produce normalmente a velocidades que están alrededor de los 50 km/h [23] en vehículos livianos y en torno a los 70km/h u 80km/h para los vehículos pesados.

La función de los pavimentos **sonorreductores** es la de reducir el efecto sonoro originado por la interacción de la superficie del neumático y la capa de rodadura del pavimento alterando las características de este último. Constituye así una de las escasas medidas que se aplica en la emisión de la fuente lineal, actuando sobre el ruido de rodadura de todos los vehículos que circulan sobre la vía tratada.

El uso de los pavimentos sonorreductores es mucho más apropiado en vías donde la velocidad es mayor que en vías de circulación lenta e irregular donde prima el ruido del motor (propulsión); sin embargo, una de las particularidades de los pavimentos sonorreductores es que poseen una absorción acústica mucho mayor frente a los pavimentos convencionales, por lo que también ayudan a disminuir el ruido originado en el motor que se refleja en la capa de rodadura. Por ello y en casos en donde las vías urbanas sean altamente problemáticas donde es necesario hacer uso de todas las medidas posibles con el fin de reducir al máximo la máxima cantidad de decibelios y aunque la velocidad no sea elevada, el uso de un pavimento sonorreductor puede contribuir con un grano de arena a la mejora.

Este tipo de pavimento con propiedades acústicas fue planteado para usarse como medida de control de ruido por el Ministerio de Fomento de Gobierno Español en el documento Plan de Acción Contra el Ruido, Carreteras del Estado en Régimen de Concesión [30], y en el Plan de Acción, Mejora y Recuperación de la Calidad acústicas para los municipios de Barcelona y Sant Adrià de Besòs [31], con el fin de disminuir entre 3 y 5 dB(A) los niveles de ruido que se generan en los diferentes corredores viales por el alto flujo vehicular.

15. PROMOVER EL USO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Propietarios de vehículos.

Renovar el parque automotor con vehículos impulsados por electricidad, puede ser una gran alternativa que ayudará reducir no solo los niveles de contaminación acústica sino también los niveles de contaminación de aire producidos por los vehículos convencionales (combustibles fósiles); de ahí que sea necesario impulsar la adquisición de este tipo de vehículos con algunos beneficios como:

- Excepción de pico y placa.
- Reducción de impuestos.

- Subsidios en la compra del vehículo.

Adicionalmente es preciso instalar varias estaciones de carga para los vehículos eléctricos a lo largo de toda la ciudad ya que actualmente la ciudad cuenta con un solo punto de carga ubicado en el centro comercial Unicentro ubicado sobre la carrera 15 entre calles 127 y 121, de esta manera los usuarios de los vehículos eléctricos tendrán la posibilidad de recorrer toda la ciudad sin temeridad de quedarse sin energía lejos de un punto de carga dada la poca autonomía de los vehículos.

16. EFECTUAR RESTRICCIONES AL VEHÍCULO PRIVADO.

Tipo de acción: Correctiva.

Área de acción: Vehículos privados.

Sin duda alguno de los mayores contribuyentes a los altos niveles de ruido viene por parte de la gran cantidad de vehículos privados, de ahí que se haga necesario atacar directamente esta problemática con estas medidas y mejorando y optimizando el sistema de transporte público de la ciudad:

- **Restricciones a la propiedad:** La disponibilidad de un automóvil en nuestra vida diaria promueve su uso constante a pesar de que este no sea indispensable para realizar los desplazamientos cotidianos. Con el fin de desincentivar su uso se puede ofrecer algún tipo de ventaja fiscal, económica y de parqueo para los automóviles compartidos.
- **Restricciones a la circulación:** Restringir el número de veces que se accede y sale a una área determinada (no pico y placa) en un periodo de tiempo, así como el acceso restringido a áreas o vías o zonas con carácter permanente o periodos de tiempo temporales.
- **Restricciones a la circulación de vehículos de vehículos pesados:** Reducir la circulación a algunas categorías, sobre todo a los vehículos pesados, para periodos de tiempo temporales o permanentes para calles de menos jerarquía. De esta forma se disminuirá el tráfico vehicular por las vías de menor circulación de los vehículos que realizan mayor emisión de ruido.
- **Restricción de cargue y descargue de mercancía en vehículos pesados:** Establecer horarios y zonas de cargue y descargue de mercancía en sitios situados a las afueras de la ciudad con el fin de no perturbar la movilidad y la población de las zonas aledañas al sitio comercial.

17. FORTALECER LAS DEPENDENCIAS O AUTORIDADES AMBIENTALES ENCARGADAS DE VIGILAR Y CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO.

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Autoridades ambientales.

Todas aquellas dependencias encargadas de ejercer control y vigilancia sobre contaminación acústica deben ser fortalecidas de acuerdo con sus necesidades, con recurso financiero, técnico y humano calificados, con el fin de atender de manera idónea las denuncias de los ciudadanos y a su vez para que se desarrollen acciones de control, seguimiento y evaluación en las fuentes de emisión de ruido que afectan a la población. Adicionalmente reforzar la educación ambiental, la investigación y el desarrollo tecnológico a favor de reducir la contaminación ambiental. Adicionalmente, es importante fortalecer la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico en cuanto al manejo de la contaminación por ruido.

18. ATENDER LAS QUEJAS DE LA COMUNIDAD.

Tipo de acción: Preventiva

Área de acción: autoridades ambientales

Es preciso que la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) como autoridad encargada de promover, orientar y regular la sustentabilidad ambiental de Bogotá continúe atendiendo de forma prioritaria las denuncias y el llamado de la comunidad, con la evaluación, seguimiento y control, determinando y aplicando las sanciones en los casos que apliquen a los infractores que no se han concientizado del impacto negativo causado.

19. REALIZAR CAPACITACIONES Y CAMPAÑAS DE SENSIBILIZACIÓN SOBRE EL RUIDO CAUSADO POR FUENTES FIJAS.

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Propietarios de establecimientos comerciales, servicio e, industrias.

Como se dijo anteriormente la educación es un método sumamente importante para capacitar y sensibilizar a la población y todos los actores que de una u otra forma están ligados a la problemática de contaminación acústica, de ahí que sea pertinente desarrollar campañas orientadas a:

- Prevenir la contaminación acústica, ruido ambiental y riesgos en la salud.
- Código Nacional de Policía y Convivencia, Ley 1801 del 2016.
- Importancia de controlar, reducir y mitigar emisiones acústicas.
- Uso prohibido de perifoneo y altoparlantes para publicidad.

- La promoción de servicios y productos no se logra con la emisión de ruido al exterior.

20. REALIZAR CAPACITACIONES Y CAMPAÑAS DE SENSIBILIZACIÓN SOBRE EL RUIDO GENERADO POR TRAFICO RODADO.

Tipo de acción: Preventiva

Área de acción: Propietarios, conductores y usuarios de vehículos pesados, livianos y transporte público.

Uno de los principales métodos de prevención sin duda alguna es la educación, por ende, es necesario realizar campañas y capacitaciones de sensibilización dirigidas a todo propietario de Vehículos (públicos y privados) con el fin de promover:

- Prevención de la contaminación acústica, ruido ambiental y riesgos sobre salud.
- Regular el uso de la bocina, destinado solo a casos de emergencia y para evitar accidentes.
- Tránsito de Vehículos pesados solo en horarios y zonas permitidas.
- Evitar el uso de accesorios que generen ruido.
- Mantenimiento periódico del mecanismo silenciador.
- Uso inteligente de las señales de tránsito
- Respetar los límites de velocidad, con el fin de evitar no solo alto grado de ruido sino posibles accidentes.
- Parqueo en zonas autorizadas con el fin de evitar problemas de movilidad.
- Cumplimiento de las señales de tránsito

21. REALIZAR CAPACITACIONES Y CAMPAÑAS DE SENSIBILIZACIÓN SOBRE EL RUIDO POR PARTE DE LA CÁMARA DE COMERCIO.

Tipo de acción: Preventiva.

Área de acción: Propietarios de establecimientos comerciales, servicio e, industrias.

Una medida de gran importancia radica en brindar asesorías y capacitaciones por parte de la Cámara de Comercio antes de otorgar los permisos o licencias de operación en los nuevos establecimientos comerciales, con el fin prevenir futuros conflictos; algunos de las temáticas a tratar serían:

- Código Nacional de Policía y Convivencia, Ley 1801 del 2016.
- Cumplimiento de los usos de suelo (con el apoyo de planeación).
- Resolución 0627 de 2006.

22. REALIZAR INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO

Tipo de acción: Seguimiento y control.

Área de acción: Comercio, servicio, industrias y población.

El inventario de fuentes es una herramienta que ayudará a llevar un control estricto y detallado de las fuentes fijas de emisión que afectan a la población, y cómo evolucionan en el tiempo, es decir si siguen afectando a la población o por el contrario hay algún tipo de medida que está controlando los niveles de ruido de emisión, por ende es adecuado realizar inventarios de fuentes con el fin de verificar el estado de la fuente y así gestionar el plan de descontaminación que permita mitigar el exceso de ruido generado por las fuentes.

23. ACTUALIZAR EL MAPA DE RUIDO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Tipo de acción: Seguimiento y control.

Área de acción: Comercio, servicio, industrias y población.

Es un deber de las autoridades ambientales pertinentes realizar los mapas de ruido y las actualizaciones de los mismos, tal cual lo establece la resolución 0627 del 2006 esto con el fin de verificar las fuentes generadoras de ruido y así desarrollar estrategias, acciones y proyectos preventivos, correctivos y de control para mitigar la contaminación por ruido.

13 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Para toda actividad de mediciones acústicas, los eventos presentes en el transcurso de la captura, los implementos que atraviesan el registro sonoro, la variabilidad de las condiciones atmosféricas y demás factores, influyen en el nivel de confianza que se puede asociar a los resultados.

A causa de tales comportamientos, el resultado de una medida de ruido puede verse influenciado, con lo cual, todas las fuentes de contribución de incertidumbre se pueden cuantificar según dos tipos:

- Incertidumbre Tipo A. Aquellas que se evalúan a partir de una serie de observaciones, por tanto, se basa en criterios de repetitividad.
- Incertidumbre Tipo B. Aquellas que se evalúan por otros medios (apoyándose en juicios científicos, estadística heredada de certificados de calibración, etc.)

El procedimiento seguido en este informe está ajustado a los estándares de la ISO/FDIS 1996-2:2015 para el cálculo general de la incertidumbre expandida.

En este caso, la incertidumbre de los niveles de presión sonora fue cuantificada teniendo en cuenta diferentes factores que afectan la fiabilidad de los resultados registrados, tales como la fuente sonora, la distancia de la fuente respecto al punto de medición, el ruido de fondo y la relación señal/ruido, las condiciones meteorológicas, entre otros.

La normativa en mención determina el procedimiento por el cual se calculó la incertidumbre de las mediciones de ruido ambiental y se sintetiza en la siguiente tabla:

Tabla 3. Resumen del procedimiento de cálculo de la incertidumbre.

INCERTIDUMBRE TIPICA				INCERTIDUMBRE TIPICA COMBINADA	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EXPANDIDA
Debido a la Instrumentación	Debido a las condiciones de funcionamiento	Debido a las condiciones meteorológicas y del terreno	Debido al sonido residual		
A [dB]	X [dB]	Y [dB]	Z [dB]	$\sigma_t = \sqrt{A^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ [dB]	$\pm 2\sigma_t$ [dB]

Fuente: ISO 1996-2:2009 [2]

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para obtener cada uno de los ítems de la tabla anterior.

INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO A LA INSTRUMENTACIÓN (A)

La ISO 1996-2:2007 para instrumentación tipo 1 recomienda una incertidumbre típica máxima de ± 1 [dB], con lo cual, siguiendo el modo de estimación basado en la Ley de Propagación de Incertidumbres documento GUM [32] y la información del *National Physical Laboratory of Uk* [33], se adoptó para la instrumentación de este estudio una cuantificación de ± 0.36 [dB].

INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDA A LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El segundo factor que se tuvo en cuenta fue la condición de funcionamiento de la fuente, en este caso al tratarse de fuentes mixtas, pues la incertidumbre fue acotada a las mediciones de emisión a partir de las cuales se obtuvieron los niveles de potencia acústica que ingresaron al modelo, esta componente se cuantificó de la siguiente manera:

$$X = \sigma_{Sou} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{mi} - \overline{L_m})^2}{n - 1}} \text{ [dB]} \quad (1)$$

La anterior ecuación corresponde a la desviación típica de las mediciones de corta duración realizadas.

INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO A LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Para el caso específico de este informe y las condiciones con las que se efectuó la medición, esta contribución de incertidumbre se iguala al siguiente factor:

$$Y = \sigma_M = 0,5 \text{ [dB]} \quad (2)$$

Lo anterior, debido a que según la norma ISO/FDIS 1996-2:2015 se puede cuantificar tal contribución de esta forma en los casos donde el punto de medición no está bajo condiciones de “sombra acústica”⁴, y la superficie del terreno entre la fuente y la posición de medición es dura, con lo cual la desviación típica inducida por el clima se puede “omitir” parcialmente dando como resultante el valor dictado anteriormente.

INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL

El último factor que se tuvo en cuenta para estimar la incertidumbre de medición fue el ruido residual, esta incertidumbre Z varió dependiendo de la diferencia entre los

⁴ Cada uno de los puntos de monitoreo fueron evaluados en campo para cumplir con el criterio descrito.

valores medidos y el nivel residual del mismo punto (que para el caso de esta cuantificación se asumió con las mediciones sin evento).

Para calcular la incertidumbre del nivel sonoro residual se empleó la ecuación siguiente:

$$Z = \sqrt{|(\sigma_s)^2 - (\sigma_0)^2|} \quad (3)$$

Donde:

σ_s : Incertidumbre del nivel sonoro específico.

σ_0 : Incertidumbre del nivel sonoro total medido actual.

Z : Incertidumbre del nivel sonoro residual.

INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA

Una vez cuantificada cada una de las fuentes de contribución de incertidumbre, se realizó el cálculo de la incertidumbre típica combinada por medio de la siguiente ecuación:

$$U_c = \sigma = \sqrt{A^2 + X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (4)$$

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EXPANDIDA

Teniendo todos los factores de contribución de incertidumbre y su respectivo coeficiente, se calculó la incertidumbre expandida con un nivel de confianza del 95%.

La incertidumbre expandida fue caracterizada con un $k = 2$, con lo cual el término quedó definido como:

$$U = k * u_c \quad (5)$$

De este modo se obtuvo un valor representativo a cada punto, y dada la cantidad elevada de los mismos, se escogió el valor de incertidumbre más representativo a cada ZEA, divididas de esta manera, teniendo en cuenta la distribución espacial que simboliza el muestreo en cada zona.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 25. Resultados de Incertidumbre Típica Combinada por cada ZEA

ZEA	Σt [dB] INCERTIDUMBRE COMBINADA	U [dB] INCERTIDUMBRE EXPANDIDA
ZEA1	0.94	± 1.89
ZEA2	0.96	± 1.93
ZEA3	0.93	± 1.86
ZEA4	0.96	± 1.91
ZEA5	0.97	± 1.93
ZEA6	1.02	± 2.04
ZEA7	0.99	± 1.97
ZEA8	1.03	± 2.07
ZEA9	1.01	± 2.03
ZEA10	0.93	± 1.86
ZEA11	0.96	± 1.92
ZEA12	0.93	± 1.87
ZEA13	0.94	± 1.87
ZEA14	0.93	± 1.86
ZEA15	1.03	± 2.07
ZEA16	1.04	± 2.08
ZEA17	1.07	± 2.15
ZEA18	0.94	± 1.89
ZEA19	1.04	± 2.08
ZEA20	0.95	± 1.90

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Con base a lo anterior, y partiendo de un factor de cobertura de $K=2$ para un nivel de confianza del 95%, el mayor valor de incertidumbre de medición asociado a este estudio es de ± 2.15 [dB].

14 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 [34].

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 [35].

En el presente estudio se realizó la cuantificación de la incertidumbre asociada al modelo partiendo de la metodología Ausejo formulada en 2009 [34]. 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:

$$Y_S = (X_{SA}, X_{SB}, X_{SC},) \quad (6)$$

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:

$$X_{SA} = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SA_n}) \quad (7)$$

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.

Etc.

$$X_{SB} = f(X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{SB_n}) \quad (8)$$

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

Etc.

$$X_{SC} = f(X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SC_n}) \quad (9)$$

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.

Etc.

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

$$Y_s = f(X_{SA1}, X_{SA2}, X_{SA3}, \dots, X_{SAn}, X_{SB1}, X_{SB2}, X_{SB3}, \dots, X_{SBn}, X_{SC1}, X_{SC2}, X_{SC3}, \dots, X_{SCn}) \quad (10)$$

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:

$$U_T = u_{cT} * k \quad (11)$$

$$u(S) = \sqrt{(u_{cT})^2 - u^2(M)} \quad (12)$$

$$U(S) = u(S) * k \quad (13)$$

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 .

Partiendo de estos valores, y con base a las ecuaciones (11), (12) y (13) se obtuvo una **incertidumbre del modelo de ± 1.79 [dB], que se representó en un factor de cobertura de $K = 2$ y un nivel de confianza del 95%.**

$$K = 2.00 \quad (14)$$

$$u(M) = 1.075 \text{ dB} \quad (15)$$

$$U_T = 1.19 \text{ dB} \quad (16)$$

$$u_{cT} = 0.60 \text{ dB} \quad (17)$$

$$u(S) = 0.89 \text{ dB} \quad (18)$$

$$U(S) = 1.79 \text{ dB} \quad (19)$$

Adicionalmente, la siguiente ilustración demuestra que existió una correlación lineal muy alta [34] ($R^2 = 0.9147$) 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:

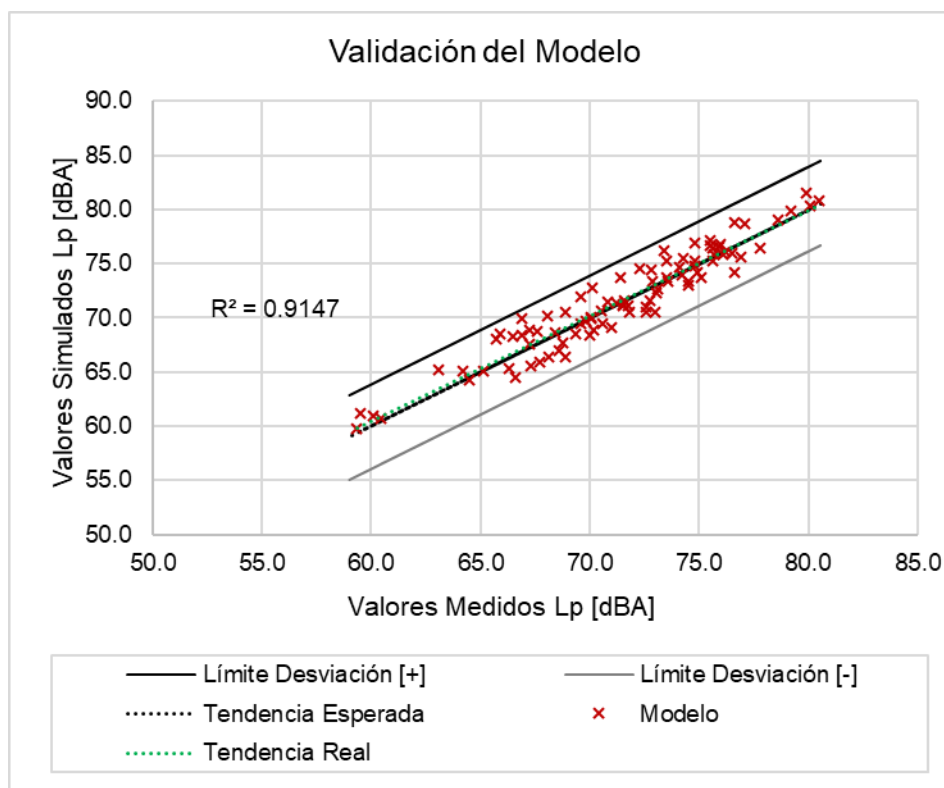


Ilustración 74. Validación del modelo

Fuente: Propia (Estudio Actual)

Fin del Documento

15 RECOMENDACIONES GENERALES

No se pueden dictar reglas universales para el diseño de una red de vigilancia de ruido ambiental, o para la aplicación futura de proyectos de características similares por la Secretaría Distrital de Ambiente que permitan la actualización constante de los mapas estratégicos de ruido, debido a que cualquier gestión o actividad estará enmarcada en los objetivos trazados de cada monitoreo y red.

A pesar de ello tras la ejecución del actual proyecto, la firma consultora K2 INGENIERIA SAS ha vislumbrado algunos aspectos para tener en cuenta:

- Si bien un mapa estratégico de ruido puede estar enmarcado en un objetivo general de evaluación a largo plazo, se deberían a futuro acotar las actividades de medición de ruido ambiental, y su diferenciación con mediciones de emisión. Tal es el caso del actual proyecto donde el despliegue para mediciones de ruido ambiental fue amplio, incluyendo también diferentes tipos de muestreos (temporales y espaciales) que finalmente se emplearon para la validación del modelo, pero que sin duda bajo una selectividad estadística podían ser optimizados sin suponer pérdida de fiabilidad en los resultados y mayor dedicación en la caracterización de fuentes.

Algunos estudios han demostrado que, mediante la realización de muestreos de corta duración, se puede obtener un valor del nivel equivalente a largo plazo equiparable. Cifras que se muestran en una publicación del 2012 [36] mencionan que con muestras de 5 o 10 minutos se pueden obtener resultados comparables a lo que se lograría en una medición continua, con lo cual, se haría innecesaria la medición por periodos de 7 días. Es por ello que, le bastaría a la Autoridad Ambiental tener datos de un muestreo no continuo pero realizado en diferentes franjas horarias, para obtener un valor representativo a la dinámica del entorno.

- En el diseño final de la red se debe considerar que esta no podrá abordar completamente y en detalle todos los focos sonoros de ruido, pues de ser así, pasaría a ser una red de medición de emisiones y no una red de vigilancia que permita conocer las dinámicas de la urbe para conjuntamente valer de insumo a los diversos instrumentos administrativos para ordenamiento del territorio. Por este motivo la microlocalización de cada punto debe ser estudiada al detalle tanto para garantizar un buen muestreo como para asegurar trazabilidad histórica.

Es decir que se recomienda que el propósito del monitoreo no se limite a la recopilación de datos de ruido en las zonas críticas o prioritarias, sino que se oriente a suministrar información útil para la planificación urbana dentro del distrito.

El monitoreo implica evaluar el comportamiento de los niveles de presión sonora, tanto en el espacio como en el tiempo. Por lo tanto, un buen diseño de red debería buscar la optimización de la cobertura espacial y temporal dentro de los límites que imponen los recursos disponibles [37].

- En cuanto a la experiencia adquirida en el proceso de modelación, se debe considerar que si bien el estándar normativo, el abordaje ofimático y el plan de trabajo para articulación de las herramientas era acertado, proyectos de la dimensión de Bogotá requieren un músculo tecnológico y de procesamiento de alto rendimiento.

Como se explicó a lo largo del informe, para el cálculo predictivo se ha utilizado el Software Cadna A (Computer Aided Noise Abatement) diseñado para el cómputo y la predicción de la contaminación acústica generada por fuentes de ruido, sin embargo, la cantidad de cálculos que se deben hacer en este tipo de modelaciones pueden llegar a hacer inviable cualquier mapa de ruido si no se estima adecuadamente el hardware que correrá el modelo. Es por ello que una de las recomendaciones técnicas más importantes es la previsión de este tipo de elementos en proyectos similares. Tal como se detalló en el capítulo 7.9 REQUERIMIENTO TÉCNICO, el fabricante del software de cálculo, sugiere el uso de computadores con procesador Intel Xeon, refiriendo directamente el uso de un equipo DP 16 Core con 32 núcleos de CPU reales, pues aunque los Core i7 de alta gama comercial suelen tener con una velocidad de reloj real muy alta en las tareas comunes de ofimática, los mismos resultan particularmente lentos para cálculos en la predicción del campo sonoro a través de una malla con el nivel de detalle y profundidad como el del MER en estudio.

16 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, «Resolución 0627,» Colombia, 7 de Abril de 2006 .
- [2] AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-ISO 1996-1:2005 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.,» CTN 74 - ACÚSTICA, 2005.
- [3] AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-ISO 1996-2:2009 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.,» CTN 74 - ACÚSTICA, 2009.
- [4] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Ubicación de Bogotá D.C.,» [En línea]. Available: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>. [Último acceso: 15 06 2017].
- [5] Alcaldía Local Ciudad Bolívar, «Mapas Localidad,» [En línea]. Available: http://www.ciudadbolivar.gov.co/sites/ciudadbolivar.gov.co/files/localidad/mapas/bogota_localidades1.jpg. [Último acceso: 10 10 2017].
- [6] MAVDT, «RESOLUCION 0627 DE 2006,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>. [Último acceso: 18 septiembre 2017].
- [7] 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].
- [8] 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].
- [9] International Organization for Standardization ISO, «ISO 9613-1:1993: Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere,» ISO/TC 43/SC 1 Noise, 1993.
- [10] International Organization for Standardization ISO, «ISO 9613 - 2: 1996 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation,» ISO/TC 43/SC 1 Noise, 1996.

- [11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Índice de Calidad Ambiental Urbana - ICAU. Política de Gestión Ambiental Urbana,» Colombia, 2016.
- [12] C. M. Harris, «Manual de medidas acusticas y control del ruido. Vol. 1,» McGraw-Hill/ Interamericana. Tercera Edición, Madrid, 1995.
- [13] Secretaría Distrital de Ambiente, «Calidad del Aire en Bogotá,» [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/inicio> . [Último acceso: 07 2017].
- [14] Secretaria Distrital de Ambient - Dirección de Control Ambiental, «Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes, 2008.,» Red de monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C., Bogotá D.C., 2008.
- [15] 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].
- [16] D. GmbH, «Licencia de CadnaA K2 Ingenieria S.A.S,» 2017.
- [17] IDECA, «La IDE de Bogotá D.C.,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ideca.gov.co/>. [Último acceso: 18 septiembre 2017].
- [18] D. GmbH, «Librería de coeficientes de absorción. CadnaA,» 2017.
- [19] J. P. N. A. Arenas y E. Suarez, «Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile,» 2016. [En línea]. Available: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.139. [Último acceso: 18 Septiembre 2017].
- [20] R. B. Domingo, Acústica Medioambiental. Vol. I, San Vicente (Alicante): Club Universitario, 2013.
- [21] Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá D.C., «Informe técnico para ubicación de las estaciones de la red de ruido en las localidades de la capital teniendo como insumo la base de datos de peticiones quejas y reclamos,» Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Grupo Red de Ruido, Bogotá D.C., 2017.
- [22] C. A. Rivera, «Monitorado de Ruido: Técnicas de detección, clasificación e identificación de ruido de aeronaves como causantes de incertidumbre en la medida,» Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, 2011.

- [23] R. P. M. Rodrigo Avilés Lopez, Manual de acústica ambiental y arquitectónica, Madrid, España: Paraninfo, S.A, 2017.
- [24] Gabinete de Ingeniería Acústica, «Cerramiento Acústico,» [En línea]. Available: <http://gia-acustica.es/>. [Último acceso: 1 10 2017].
- [25] MRC Audio, Manual de usuario EQ Limit, Madrid: MRC Audio, 2007.
- [26] J. F. Bran, «Opción tecnológica para bajar el ruido de la rumba,» *El colombiano*, 3 Mayo 2013.
- [27] Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, «Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.umd.gov.co/portal/>.
- [28] Oficina de Posicionamiento Universidad de los Andes, «Universidad de los Andes,» 2 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://ingenieria.uniandes.edu.co/Paginas/Noticias.aspx?nid=255>.
- [29] «Alcaldía Mayor de Bogotá [en línea],» [En línea]. Available: <http://www.bogota.gov.co/en/node/7989> . [Último acceso: 08 08 2017].
- [30] Ministerio de Fomento, «PLAN DE ACCIÓN CONTRA EL RUIDO 2ªFASE,» Madrid, 2016.
- [31] Generalitat de Catalunya, «MEJORA Y RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA, PLAN DE ACCIÓN,» Barcelona, 2011.
- [32] 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.
- [33] R. Payne, «Uncertainties associated with the use of a sound level meter,» NPL Report DQL-AC 002, Teddington, Middlesex, UK, Abril 2004.
- [34] 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.
- [35] 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.

- [36] R. D. Ramírez, «Muestreo Temporal para la Evaluación del ruido ambiental,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2012.
- [37] C. A. E. Londoño, «DISEÑO DE LA RED DE VIGILANCIA DE RUIDO PARA LOS MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ,» Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Medellín, 2009.
- [38] International Organization for Standardization ISO, «ISO 3891:1978 Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground,» 1978.
- [39] International Organization for Standardization, «ISO 8297:1994 Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - Engineering method,» ISO/TC 43/SC 1, 1994.
- [40] International Organization for Standardization: ISO, «ISO 9613-2:1996 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation,» 1996.
- [41] «GaleriaWebRockAlParque2017,» [En línea]. Available: <http://www.rockalparque.gov.co/galerias>. [Último acceso: 28 08 2017].
- [42] «IDARTES,» [En línea]. Available: <http://www.idartes.gov.co/>. [Último acceso: 29 08 2017].
- [43] «Rock al Parque 2017,» [En línea]. Available: <http://www.rockalparque.gov.co/new/mas-de-180-mil-personas-vivieron-rock-al-parque-en-bogota>. [Último acceso: 07 09 2017].
- [44] «Instituto Distrital de Recreación y Deportes IDR [en línea],» [En línea]. Available: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/node/233>. [Último acceso: 07 09 2017].
- [45] «Mapas Bogotá,» 2014. [En línea]. Available: <http://mapas.bogota.gov.co/?webmap=c7a6f4b134484edb80a855ecbdd75834&widgettoopen>. [Último acceso: 09 09 2017].
- [46] Organización Mundial de la Salud OMS, «Guia Para el Ruido Urbano,» Londres, Reino Unido, 1999.
- [47] «Entidades Adscritas a la Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte,» [En línea]. Available: <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/nuestro->

sector/entidades-adsritas/instituto-distrital-de-las-artes-idartes. [Último acceso: 20 08 2017].

[48] «IDECA La IDE de BOGOTÁ,» [En línea]. Available: <https://www.ideca.gov.co/>. [Último acceso: 23 08 2018].

[49] DataKustik GmbH, «CADNAA,» 2017.

[50] ALCALDÍA LOCAL DE CIUDAD BOLIVAR, «Ciudad Bolivar,» [En línea]. Available: <http://www.ciudadbolivar.gov.co/mi-localidad/conociendo-mi-localidad/historia>. [Último acceso: 10 10 2017].

[51] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Alcaldía Local de Tunjuelito,» [En línea]. Available: <http://www.tunjuelito.gov.co/>. [Último acceso: 15 10 2017].

[52] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Características físicas - Ciudad Bolivar,» [En línea]. Available: https://web.archive.org/web/20070306193034/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/ciudad_bolivar/fisicas.htm. [Último acceso: 15 10 2017].

[53] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Reseña Histórica - Bosa,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070307043228/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/bosa/resenia.htm>. [Último acceso: 15 10 2017].

[54] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Extensión y límites - Bosa,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070307043528/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/bosa/extension.htm>. [Último acceso: 15 10 2017].

[55] Alcaldía Local de Bosa, «Portar Oficial Localidad de Bosa,» [En línea]. Available: <http://www.bosa.gov.co/>. [Último acceso: 10 10 2017].

[56] Alcaldía Local de Ciudad Bolivar, «Portal Oficial Ciudad Bolivar,» [En línea]. Available: <http://www.ciudadbolivar.gov.co/>. [Último acceso: 15 10 2017].

[57] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Demografía - Ciudad Bolivar,» [En línea]. Available: https://web.archive.org/web/20070306163821/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/ciudad_bolivar/demografia.htm. [Último acceso: 15 10 2017].

[58] Departamento Administrativo de planeación Distrital , «Monografía Localidad de Tunjuelito,» [En línea]. Available:

<https://web.archive.org/web/20070306192059/http://lopublico.redbogota.com:80/pdf/monografias/tunjuelito.pdf>. [Último acceso: 15 10 2017].

- [59] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Localidad de Tunjuelito - Extensión y Límites,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070306192852/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/tunjuelito/extension.htm>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [60] Alcaldía Local Kennedy, «Portal Oficial Localidad Kennedy,» [En línea]. Available: <http://www.kennedy.gov.co/>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [61] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070306192120/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/kennedy/upz.htm>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [62] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Extensión y Límites - Kennedy,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070306192545/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/kennedy/extension.htm>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [63] Alcaldía Local Fontibón, «Portal Oficial Localidad Fontibón,» [En línea]. Available: <http://www.fontibon.gov.co/content/barrios-y-upzs>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [64] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal red Bogotá - Extensión y límites - Rafael Uribe,» [En línea]. Available: https://web.archive.org/web/20070306163706/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/rafael_uribe/extension.htm. [Último acceso: 15 10 2017].
- [65] Programa Red Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, «Portal Red Bogotá - Localidad Antonio Nariño,» [En línea]. Available: https://web.archive.org/web/20070302205934/http://lopublico.redbogota.com:80/secciones/localidades/antonio_narinio/index.htm. [Último acceso: 15 10 2017].
- [66] Alcaldía Local Puente Aranda, «Portal Oficial Localidad Puente Aranda,» [En línea]. Available: <http://www.puentearanda.gov.co/>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [67] Alcaldía Local Engativá, «Portal Oficial Localidad Engativá,» [En línea]. Available: <http://www.engativa.gov.co/>. [Último acceso: 15 10 2017].

- [68] DIARIO ABC, S.L, «ABC Hemeroteca,» 2009. [En línea]. Available: <http://hemeroteca.abc.es/nav/Navigate.exe/hemeroteca/madrid/abc/2009/03/17/055.html>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [69] Ayuntamiento de Madrid, «Mapa Estratégico de Ruido de Madrid,» Madrid, España, 2011.
- [70] Linea Verde, «Contaminación Acústica,» Madrid, España.
- [71] Secretaría Distrital de Ambiente SDA, «Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB,» [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/estaciones-rmcab>. [Último acceso: 24 10 2017].
- [72] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), «IEC 61672 - 1: Electroacústica - Sonómetros - Parte 1: Especificaciones,» 2013.
- [73] DANE, [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/en/>. [Último acceso: 25 Octubre 2017].
- [74] Transmilenio S.A, «Transmilenio en Cifras,» Bogotá, 2017.
- [75] D. B. Domingo, Acústica medioambiental. Vol. I, San Vicente(Alicante): Club Universitario, 2010.
- [76] J. Cerón, «Chatarrización de buses está en el 59 por ciento en Bogotá,» *EL Tiempo*, 23 Octubre 2016.

17 ANEXOS

Anexo Digital 1	Actas de Reuniones
Anexo Digital 2	Fichas técnicas para las 20 ZEA
Anexo Digital 3	Formatos de campo estaciones de monitoreo
Anexo Digital 4	Georreferenciación de puntos (.kml)
Anexo Digital 5	Datos Medidos y relación fechas/horas de mediciones
Anexo Digital 6	Inventario de Fuentes
Anexo Digital 7	Registro fotográfico
Anexo Digital 8	Descripción de equipos y certificados de calibración
Anexo Digital 9	Estudio Especial Rock Al Parque 2017
Anexo Digital 10	Informe del Test a Tráfico Rodado
Anexo Digital 11	Informe de Datos de Entrada al modelo
Anexo Digital 12	Resultados de Condiciones Meteorológicas
Anexo Digital 13	Carpeta SIG.
Anexo Digital 14	Ejecutable de modelación
Anexo Digital 15	Reportes Técnicos por Localidad
Anexo Digital 16	Evaluación de Ruido Ambiental Bajo Res. 627 de 2006
Anexo Digital 17	Matriz de cálculo para priorización de ZEA
Anexo Digital 18	Resolución IDEAM 2016 y extensión 2017
Anexo Digital 19	Presentación Firma Consultora K2 INGENIERÍA (En informe)

ANEXO DIGITAL 19 FIRMA CONSULTORA

DATOS BÁSICOS

- **Razón social**

K-2 INGENIERÍA S.A.S.

- **Dirección de la empresa**

Carrera 36 # 36-26 Barrio El Prado - Bucaramanga

- **Teléfono**

(57) 7 6352870

- **Correo Electrónico**

info@k2ingenieria.com

- **Actividad económica**

K2 Ingeniería S.A.S. es una empresa colombiana, constituida en 1998 en Bucaramanga, que integra la experiencia en las áreas de la ingeniería ambiental, civil y mecánica para ofrecer un amplio portafolio de servicios, consultoría y suministros.

- **Mercado Actual**

K2 Ingeniería S.A.S. es una empresa especializada en Servicios de Ingeniería, Integración de Tecnologías y Monitoreos Ambientales para los sectores Estatal, CARS, Hidrocarburos, Minero, Industrial, Empresas de Servicios Públicos, Agrícola y Náutico, con cobertura geográfica histórica en Colombia, Ecuador, Perú y Panamá y potencial en Brasil.

UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGOCIO

INGENIERÍA

Gerenciamiento Ambiental

- Administración y gestión especializada de proyectos ambientales
- Operación de sistemas de monitoreo ambiental

Consultoría en Calidad del aire

- Diseño e instalación de redes urbanas e industriales de monitoreo y seguimiento de calidad del aire
- Modelos de dispersión
- Inventarios de emisiones
- Manuales y protocolos técnicos
- Interventorías de redes y sistemas de vigilancia

Consultoría en Ruido

- Mapas digitales de ruido ambiental
- Diseño, instalación y operación de redes para medición de emisión de ruido en la industria y zonas urbanas.

Consultoría en Hidrología y Calidad del agua

- Análisis hidrológico e hidrogeológico de cuencas

- Diseño e instalación de sistemas automáticos de información Hidrometeorológica- SAIH (Sistemas de alertas tempranas)
- Diseño e instalación de redes automáticas para monitoreo de calidad hídrica
- Asesorías e Interventoría en construcción de redes de calidad hídrica y sistemas de Alertas Tempranas (SAT).

Consultoría en Residuos

- Residuos peligrosos
- Montajes de sistema de tratamiento

Forestales y Afines

- Proyectos de aprovechamiento forestal
- Planes de salvamento y reubicación de especies
- Inventarios forestales
- Inventarios de fauna
- Programas de revegetación

TECNOLOGÍAS

Sector Ambiental

Proyectos Hidrometeorológicos

- Suministro, instalación y puesta en marcha de redes para medición de variables meteorológicas e hidrométricas (caudal y nivel), transmisión de datos en tiempo real y visualización a través de aplicativa web para Sistema de alertas tempranas (SAT)
- Redes pluviométricas automáticas para sistemas de acueducto

Proyectos de Calidad del agua

- Suministro, instalación y puesta en marcha de redes para medición de variables de calidad hídrica

Proyectos Aire

- Redes de calidad del aire automáticas para medición de gases y partículas
- Redes de calidad del aire con muestreadores autónomos, manuales y pasivos
- Redes de material particulado para medición simultánea de PST, PM10, PM2.5 y PM1

Proyectos Ruido

- Redes de estaciones automáticas para la medición continua de ruido ambiental y emisión de ruido

Sector Agrícola

- Redes agro-meteorológicas autónomas de precisión

Sector Minero, Petróleo y Gas

- Soluciones integrales para proyectos mineros e hidrocarburos

Sector Náutico

- Soluciones de comunicación náutica para aplicación civil y militar

MONITOREOS

Calidad del aire

- Monitoreo automático

- Monitoreo con muestreadores pasivos
- Monitoreo con muestreadores manuales y autónomos

Fuentes Fijas

- Determinación de contaminantes por métodos EPA

Calidad del Agua

- Toma de muestras y análisis de calidad del agua

Ruido

- Monitoreo de ruido ambiental y emisión de ruido

MISIÓN

K2 Ingeniería S.A.S. brinda a la sociedad servicios de calidad superior en el área de la ingeniería, con una rentabilidad coherente que permita a la empresa crecer, y de esta forma facilitar a nuestros empleados y accionistas la oportunidad de realizar sus objetivos y metas.

MEGA 2020

En el año 2020 K2 Ingeniería S.A.S. habrá consolidado su modelo de negocios en las áreas de ingeniería en Colombia y tendrá presencia permanente en otros países de América Latina.

PRINCIPIOS

- Buscamos superioridad en todo lo que emprendemos y vamos más allá de las expectativas.
- Trabajamos con pasión, sacrificio y abnegación.
- Nos esmeramos porque nuestra imagen y productos tengan una presentación impecable.
- Generamos e inspiramos confianza.
- Brindamos oportunidades individuales y recompensas basadas en el mérito.
- Estandarizamos nuestros procesos e innovamos de manera permanente.

