



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTOMOTRIZ**

**Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle**

**Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**Autores:**

**FELIPE SEBASTIÁN CALDERÓN PERALVO**

**CHRISTIAN FAVIÁN TACURI ORTEGA**

**Director:**

**GUSTAVO ANDRÉS ÁLVAREZ COELLO**

**Co-Director.**

**CHESTER ANDREW SELLERS WALDEN**

**CUENCA, ECUADOR**

**2016**

## DEDICATORIAS

Este trabajo de tesis es dedicado a mi familia que desde que inicie la carrera me ha brindado su infinito apoyo. A mi madre que desde que tengo uso de razón me ha apoyado en todo lo que me he propuesto en la vida, con todo su amor y cariño que me alienta en los momentos más difíciles para seguir adelante. A mi padre que me ha alentado en todo momento, me ha presionado para lograr mis objetivos y me ha impulsado a alcanzar mis metas. A mi abuelito Paco que siempre ha estado pendiente y dándome ánimo para seguir adelante. A mis abuelitos Klever y Berthita que aunque estén lejos siempre he sentido su incondicional apoyo y su infinito cariño. Especialmente a mi hermano Francisco que por perseguir sus sueños y afán de superación, se encuentra estudiando en el exterior y lamentablemente no podrá estar presente en este logro que estoy alcanzando en mi vida.

Felipe.

Este trabajo va dedicado a mi familia porque ha sido un pilar fundamental en mi vida. A mi abuelita Esther por su amor, ternura y valiosos consejos. De manera especial a mis padres José y Yolanda, pues han creído siempre en mí y han sido un verdadero ejemplo de amor, valentía, respeto y perseverancia. También lo dedico a mis hermanos Sonia y José, a mis sobrinos Santiago, David y Nicolás y a mi novia Soledad porque ha estado siempre presente en los momentos más difíciles y felices de mi vida y con nuestro amor y dedicación hemos alcanzado nuestras metas juntos.

Christian.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero queremos agradecer a Dios por brindarnos la sabiduría y empeño para el desarrollo del presente trabajo.

Agradecemos a la Universidad del Azuay y al IERSE, por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo de tesis. Especialmente a nuestros directores MSc. Gustavo Álvarez y MSc. Chester Sellers, por su predisposición para ayudarnos y guiarnos en el desarrollo del mismo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
GLOSARIO .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
1.1. Características y comportamiento del ruido .....	5
1.2. Propagación del ruido.....	6
1.2.1. Principales atenuaciones que sufre la señal de ruido durante la fase de propagación.....	8
1.3. Recepción del ruido.....	11
1.3.1. Principales características de la fase de recepción del ruido .....	11
1.4. El ruido en la salud humana .....	13
1.4.1. Efectos auditivos.....	14
1.4.2. Efectos no auditivos.....	15
1.5. Emisión de ruido debido al transporte.....	16
1.6. Mapas de ruido ambiental .....	19
1.6.1. Metodología para la realización de mapas de ruido .....	20
1.7. Modelos de ruido por tráfico rodado .....	21
1.7.1. Modelos de predicción de ruido.....	22
1.8. Marco legal.....	31



1.8.1. Normativa a nivel nacional .....	31
1.8.2. Normativa a nivel internacional.....	33
<b>CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
2.1. Descripción de la zona de estudio .....	35
2.2. Recopilación y levantamiento de datos .....	37
2.2.1. Recopilación de datos .....	37
2.2.2. Levantamiento de datos .....	39
2.3. Preparación de datos.....	40
2.3.1. Software ArcGIS.....	40
2.3.2. Estructuración de datos en archivos shapefile .....	40
2.4. Procesamiento de datos y modelación del ruido .....	41
2.4.1. Software Datakustik CadnaA.....	41
2.4.2. Modelo de cálculo utilizado.....	42
2.4.3. Importación de datos.....	42
2.4.4. Configuración de cálculo .....	43
2.4.5. Configuración de edificios.....	51
2.4.6. Configuración de carretera (NMPB).....	54
2.4.7. Configuración de receptores .....	57
2.4.8. Configuración de malla de receptores .....	59
<b>CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
3.1. Resultados.....	63
3.2. Discusión .....	73
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Propagación del sonido para una fuente puntual. ....	7
Figura 1.2: Propagación del sonido para una fuente lineal. ....	7
Figura 1.3: Refracción del ruido dependiendo de la dirección del viento. ....	9
Figura 1.4: Atenuación por reflexión. ....	10
Figura 1.5: Curvas de igual sonoridad. ....	12
Figura 1.6: Salud y niveles de ruido.....	13
Figura 1.7: Fuentes de ruido en ambientes urbanos. ....	17
Figura 2.1: Delimitación de la zona de estudio.....	36
Figura 2.2: Zona de estudio.....	37
Figura 2.3: Levantamiento de información en la calle Mariscal Lamar. ....	40
Figura 2.4: Estructuración de información en shapefile de vías. ....	41
Figura 2.5: Importación de archivos shapefile al software Datakustik CadnaA. ....	43
Figura 2.6: Pestaña “País”.....	43
Figura 2.7: Pestaña “General”.....	44
Figura 2.8: Pestaña “Partición”.....	45
Figura 2.9: Pestaña “Períodos de referencia”.....	46
Figura 2.10: Pestaña “Períodos de referencia 2”.....	47
Figura 2.11: Pestaña "MDT".....	48
Figura 2.12: Pestaña “Reflexión”.....	49
Figura 2.13: Pestaña “Carretera”.....	50
Figura 2.14: Meteorología.....	51
Figura 2.15: Configuración de edificios.....	51
Figura 2.16: Librería global, absorciones. ....	52
Figura 2.17: Geometría de edificios.....	53
Figura 2.18: Pestaña “Configuración de carretera”.....	54

Figura 2.19: Geometría de carretera.....	57
Figura 2.20: Pestaña “Configuración de receptores”.....	57
Figura 2.21: Geometría de receptores.....	58
Figura 2.22: Generación de etiqueta para receptores.....	59
Figura 2.23: Propiedades de malla de receptores.....	59
Figura 2.24: Apariencia de malla.....	60
Figura 2.25: Apariencia de malla. Modos visualización disponible.....	61
Figura 2.26: Iniciar cálculo en receptores georreferenciados y malla raster.....	62
Figura 3.1: $NPS_{eq}$ obtenidos con IMD (Día).....	64
Figura 3.2: $NPS_{eq}$ obtenidos con IMD (Global).....	66
Figura 3.3: $NPS_{eq}$ obtenidos con “Datos Exactos de Conteo” (07h00). ....	67
Figura 3.4: $NPS_{eq}$ obtenidos con “Registros del Sonómetro” (07h00). ....	68
Figura 3.5: Comparación entre la mejor configuración de cada método. ....	69
Figura 3.6: Mapas con el método de IMD para el día.....	70
Figura 3.7: Mapas con el método de IMD para la noche.....	70
Figura 3.8: Mapas con el método de IMD global.....	71
Figura 3.9: Mapas con el método de “Datos Exactos de Conteo” (07h00).....	72
Figura 3.10: Mapas con el método de “Registros del Sonómetro” (07h00). ....	72

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1: Corrección por pavimento.....	25
Tabla 1.2: Valor espectral por bandas de octava.....	25
Tabla 1.3: Factor de equivalencia acústica. ....	26
Tabla 1.4: Comparativa entre modelos. ....	30
Tabla 1.5: Niveles máximos permisibles según uso del suelo. ....	32
Tabla 1.6: Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores. ....	32
Tabla 2.1: Datos de IMD para la zona de estudio. ....	38
Tabla 3.1: Mediciones del sonómetro. ....	63
Tabla 3.2: Resultados de los mapas generados con el IMD para el día. ....	64
Tabla 3.3: Resultados de los mapas generados con el IMD Global. ....	65
Tabla 3.4: Resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo”. ....	67
Tabla 3.5: Resultados de los mapas generados con los “Registros del Sonómetro”..	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Modelo de fichas de levantamiento de datos de ruido ambiente.....	82
Anexo 2: Especificaciones del equipo SoundPro 3M. ....	83
Anexo 3: Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio. ....	84
Anexo 4: Archivos en formato shapefile. ....	85
Anexo 5: Página web de Cuenca digital, apartado de tránsito. ....	89
Anexo 6: Oficio dirigido al Director Municipal de Tránsito. ....	90
Anexo 7: Matriz general de datos recopilados. ....	91
Anexo 8: Especificaciones del medidor láser de distancia Fluke 414D. ....	92
Anexo 9: Tablas de levantamiento de información en la zona de estudio. ....	93
Anexo 10: Tabla de atributos y abreviaciones del software Datakustik CadnaA. ...	100
Anexo 11: Imagen de todos los archivos shapefile importados en CadnaA. ....	101
Anexo 12: Tabla de superficie de fachada de acuerdo con RLS90.....	101
Anexo 13: Mapas de ruido comparados para determinar el modelo que mejor se ajustó a las mediciones del sonómetro.....	102
Anexo 14: Mapas de ruido. Línea base, según el método de “Datos Exactos de Conteo” con las fachadas sin reflexión. ....	122
Anexo 15: Comparación de resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo” (10h00).....	128
Anexo 16: Comparación de resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo” (13h00).....	129

## MODELACIÓN DEL RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR EN LA CALLE MARISCAL LAMAR EN LA CIUDAD DE CUENCA

### RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto modelar el ruido en la calle Mariscal Lamar, ubicada en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo NMPB-Routes-96 y las distintas configuraciones del software CadnaA. Para así determinar el método que más se ajuste a la realidad de la zona de estudio. Además brinda una guía detallada para realizar la modelación y proyección del ruido con base en el modelo francés, y así establecer una línea base sobre los  $NPS_{eq}$  de una sección del área de influencia directa del "Tranvía 4 Ríos de Cuenca"; obteniendo de esta manera un mapa de ruido previo a la implementación de dicho tranvía.

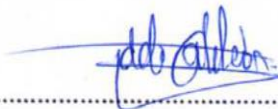
**Palabras Clave:** Ruido, propagación, cartografía, nivel de presión sonora, mapas de ruido, CadnaA.



.....  
Gustavo Andrés Álvarez Coello  
Director de Tesis



.....  
Diego Francisco Torres Moscoso  
Director de Escuela



.....  
Felipe Sebastián Calderón Peralvo



.....  
Christian Favián Tacuri Ortega

**Autores**

## VEHICULAR TRAFFIC NOISE MODELING AT *MARISCAL LAMAR* STREET IN THE CITY OF CUENCA

### ABSTRACT

This research aims to model the noise in *Mariscal Lamar* Street, located in the city of Cuenca, through the use of NMPB-Routes-96 model, as well as the different configurations of CadnaA software, so as to determine the method that best suits the reality of the area under study. The paper also provides detailed guidance for modeling and sound projection based on the French model, so as to establish a baseline on Measurements of the Equivalent Noise Level or NPSeq (*Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente* as per its Spanish acronym) of a section of the area of the “*Tranvía 4 Ríos de Cuenca*” Tram direct influence; thereby obtaining a noise map prior to the implementation of the tram.

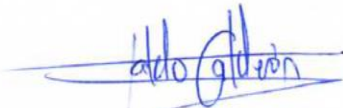
**Keywords:** Noise, Propagation, Mapping, Noise Pressure Level, Noise Maps, Cadnaa.



Gustavo Andrés Álvarez Coello  
**Thesis Director**



Diego Francisco Torres Moscoso  
**School Director**



Felipe Sebastián Calderón Peralvo



Christian Favián Tacuri Ortega

**Authors**



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by:  
Lic. Lourdes Crespo

**GLOSARIO**

<b>CERTU:</b>	Centro de Estudios sobre las Redes de Transporte, Urbanismo y Obras Públicas.
<b>CSTB:</b>	Centro Científico y Técnico para la Construcción.
<b>dB:</b>	Abreviatura de Decibeles.
<b>dBA:</b>	Abreviatura de Decibeles con ponderación A.
<b>E:</b>	Emisión sonora.
<b>IMD:</b>	Intensidad Media Diaria.
<b>Lawi:</b>	Nivel de potencia sonora en la vía.
<b>LCPC:</b>	Laboratorio Central de Caminos y Puentes.
<b>Ld:</b>	Nivel de presión sonora equivalente del período día.
<b>Ldn:</b>	Nivel de presión sonora equivalente día-noche.
<b>Leq:</b>	Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente
<b>Ln:</b>	Nivel de presión sonora equivalente del período noche.
<b>Lp o NPS:</b>	Nivel de presión sonora.
<b>LP1, LP2, LP3:</b>	Alias para identificación interna del software CadnaA, para los parámetros de evaluación L.
<b>Lw:</b>	Nivel de potencia sonora.
<b>MDT:</b>	Modelo Digital del Terreno.
<b>NMPB:</b>	Nuevo Método de Predicción de Ruido.
<b>NPS<sub>eq</sub></b>	Nivel de presión sonora equivalente
<b>Q:</b>	Densidad de tráfico horario (vehículos/hora).
<b>SETRA:</b>	Servicio de Educación de Transporte, Carreteras e Instalaciones.
<b>SIG:</b>	Sistema de Información Geográfica.



Calderón Peralvo Felipe Sebastián

Tacuri Ortega Christian Favián

Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello MSc.

Abril, 2016

## **MODELACIÓN DEL RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR EN LA CALLE MARISCAL LAMAR EN LA CIUDAD DE CUENCA**

### **INTRODUCCIÓN**

La contaminación acústica en las zonas urbanas constituye un problema ambiental que ha acaparado el interés de investigadores, organismos competentes y de los ciudadanos, ya que afecta el bienestar y salud de las personas, por lo que desde hace algunos años se ha considerado como uno de los factores que más deterioran la calidad de vida, consecuencia de la falta de estrategias y políticas para su control.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1999, existe una relación directa y exponencial entre el nivel de desarrollo de un país y el grado de contaminación acústica que impacta a su población (Ramírez González & Domínguez Calle, 2011).

En vista de que este problema afecta la salud y calidad de vida de la población, la Universidad del Azuay a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) conjuntamente con el GAD Municipal de Cuenca, a través de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA); han desarrollado mapas de ruido, los cuales son la representación, de forma gráfica, de las características acústicas de un área geográfica y sirven para caracterizar el grado de contaminación sonora, para conocer el estado actual y así lograr establecer planes de acción para mitigar dicho problema.

Con el transcurso de los años se han realizado diversos estudios y aplicado diversas herramientas entre las cuales pueden nombrarse los mapas de ruido, cuya información puede ser de gran utilidad, ya sea para proyectos urbanísticos o como una guía en la lucha contra el ruido (García Boscá, 2010).

Los primeros mapas de ruido fueron realizados en los años 80 y 90 mediante medidas experimentales. A partir de los años 90 se dispara la utilización de programas de simulación de ruido en ambientes exteriores, con ello aumentan las comparaciones entre fabricantes de software y empiezan a emplearse entornos SIG (Sistema de Información Geográfica) para la elaboración de los mapas (Ausejo Prieto, 2009).

En la actualidad se han elaborado diversos mapas de ruido en diferentes países del mundo, como por ejemplo:

España, en donde los mapas de ruido de 19 ciudades reflejan que el 27,7% de sus habitantes soporta niveles de ruido superiores a los 65 decibeles (dB), límite que admite la OMS (Observatorio salud y medio ambiente, 2014).

En Suramérica, para la elaboración del mapa de ruido ambiental de los municipios de Tunja y Sogamoso en Colombia, se utilizó un software especializado y reconocido a nivel internacional llamado CadnaA versión 4, el cual permite introducir los datos obtenidos en el levantamiento de información y mediante una base de cálculo, arroja los resultados de ruido ambiental a través de líneas isófonas.

En México se realizó el estudio en la zona centro de Guadalajara, y dentro de los resultados arrojados por el mapa de ruido evidenciaron una condición problemática, ya que únicamente cerca de 2% de los niveles cumplen con los límites máximos permisibles (FULECOL, 2011).

En Brasil desarrollaron un estudio en la ciudad de Río de Janeiro evaluando los niveles de ruido por medio del modelo de cálculo alemán RLS 90; dicho estudio fue realizado con el software CadnaA y posteriormente se hizo la validación del modelo a partir de la comparación con los valores medidos de ruido in situ (Pinto & Moreno, 2008).

En Chile también utilizaron el software CadnaA para elaborar el mapa de ruido del Gran Santiago, del cual se obtuvo que el 17,35% de la superficie modelada se encuentra con niveles de ruido superiores a los 65 dB en el día, siendo la zona centro, la que mayor contaminación acústica presenta, superando con el 68,32% los límites (Suárez & et al, 2011).

En Ecuador, a nivel local se realizó un trabajo de tesis en donde se concluyó que entre los modelos de distribución espacial de ruido generados por el software CadnaA existe una alta correlación espacial y de datos entre las variables -Dispositivos móviles y entorno- con respecto a la información del sonómetro; lo que se atribuye al algoritmo de interpolación utilizado por el software Datakustik CadnaA (Samaniego, 2015).

El presente estudio consiste en continuar con la investigación realizada por el IERSE y el GAD Municipal de Cuenca, sobre el comportamiento de las emisiones sonoras, proponiendo la modelación del ruido por tráfico vehicular con la utilización de un software de cálculo, con el fin de determinar la configuración del modelo internacional NMPB-Routes-96, que más se ajuste a la realidad de la ciudad de Cuenca y que sirva como base para en el futuro poder modelar el ruido de toda la ciudad.

**Objetivo General:**

Realizar la modelación de ruido por tráfico vehicular mediante el software CadnaA y determinar la configuración del modelo que más se ajuste a la realidad de nuestro medio.

**Objetivos Específicos:**

- Recopilar y organizar tanto los datos levantados como los datos entregados por el IERSE y el GAD Municipal de Cuenca.
- Configurar el software y establecer las condiciones de frontera con los datos requeridos.
- Generar el mapa de ruido de la calle Mariscal Lamar entre las calles Mariano Cueva y Juan Montalvo, mediante un software de modelación.

- Analizar los resultados obtenidos y realizar una comparación con los datos levantados con el sonómetro en la zona de estudio.
- Establecer una línea base de información sobre el ruido vehicular, previo a la implementación del proyecto Tranvía 4 Ríos de Cuenca.
- Elaborar una guía detallada de la metodología a seguir para elaborar mapas de ruido en la ciudad de Cuenca, mediante un software de modelación.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Características y comportamiento del ruido

El fenómeno de transmisión de perturbaciones se conoce como sonido. Puede decirse que el sonido es un tipo de alteración física en un medio (gas, líquido o sólido), que puede ser detectado por el oído humano. El medio por el que viajan las ondas sonoras debe poseer masa y elasticidad, por tanto las ondas sonoras no se propagan en el vacío. Dichas ondas son el resultado de la vibración de las moléculas de aire; y algunas alteran sus recorridos de acuerdo a las superficies con las que interactúan pudiéndose reflejar, reflejar, disipar, difractar, o ser interferidas o absorbidas (FULECOL, 2011).

En cuanto al ruido, se lo define desde diferentes enfoques (técnico, jurídico, social, etc.), pero el objetivo es mencionar, que está presente y tiene fuerzas que lo producen. Los elementos que lo integran son tres: la causa u objeto productor del sonido, la transmisión de la vibración y el efecto o reacción fisiológica y psicológica que se produce en la audición (Martínez Sandoval, 2005).

Según Martínez Sandoval, existen dos tipos de análisis para describir el ruido desde una visión estadística, el análisis distributivo que indica por cuanto tiempo el nivel sonoro ha estado en un intervalo de tiempo tales como 67 dB a 68 dB, y el análisis acumulativo que indica por cuanto tiempo un determinado nivel sonoro ha sido superado. Este último es el más utilizado porque sobre su base se definen las estadísticas de ruido conocidas como niveles de percentiles que sirven para dar información acerca de cómo varía y fluctúa el nivel sonoro durante el período de medición, por lo que es necesario hacer equivalencias, las cuales se determinan a través de la siguiente fórmula (Martínez Sandoval, 2005).

$$L_{eq}(A) = 10 * \log \left[ \frac{1}{T} * \int_{t_0}^{t_1} \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right) dt \right] \quad Ec. ( 1 )$$

Donde:

- $T=t_1-t_0$ : es el período de medición,
- $P_A(t)$ : es la presión sonora instantánea ponderada por la curva de filtro A.
- $P_0$ : es la presión de referencia  $20 \mu\text{Pa}$ .

Según la OMS, la medición de los ruidos ambientales considera la frecuencia del sonido, niveles generales de presión sonora y la variación de estos en el tiempo (Organización Mundial de la Salud, 1999). Debido a que el rango de presión sonora que puede detectar el hombre es muy amplio, se mide en una escala logarítmica cuya unidad es el decibel, que es una unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. Además, se utilizan ponderaciones frecuenciales para asemejar los datos reales de campo a lo que realmente recepta el oído humano. Para describir las curvas de ponderación, se utilizan las curvas de igual sonoridad de Fletcher-Munson, como se describe en el estudio realizado por Casado García, el cual explica a profundidad las ponderaciones frecuenciales A, B, C, D, entre otras (Casado García, n.d.). El filtro A es el que más se utiliza internacionalmente para mediciones de ruido acústico, cuyo resultado se expresa en decibeles A, con abreviatura dBA, mientras que los filtros B y C intentan representar la respuesta del oído a niveles más altos de intensidad sonora (Martínez Sandoval, 2005).

## 1.2. Propagación del ruido

Para que se produzca un ruido es necesario que la fuente libere una cantidad de energía en el medio que lo rodea, la cual producirá vibraciones de las moléculas del medio en forma de ondas de expansión y compresión que se propagan, emitiendo finalmente el sonido (Amores Obando, 2010).

Durante el viaje de la señal, ésta va perdiendo energía porque parte de la misma se utiliza en desplazar moléculas del medio. Es así como, el sonido al propagarse en exteriores sufre una disminución en sus niveles al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor, debido a mecanismos de atenuación y efectos atmosféricos (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

Se diferencian dos tipos de fuentes: puntuales y lineales. Las primeras concentran toda su potencia sonora en un punto y la propagación de sus ondas de forma esférica se extiende uniformemente en todas las direcciones, como se observa en la Figura 1.1, donde  $R$  representa la distancia desde la fuente al receptor (Zuluaga Echeverry, 2009).

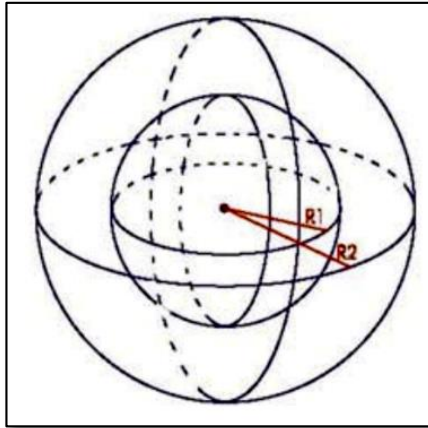


Figura 1.1: Propagación del sonido para una fuente puntual.  
Fuente: Zuluaga Echeverry, C. (2009).

Por otro lado las fuentes sonoras lineales son aquellas cuyas dimensiones transversales son pequeñas comparadas con la longitud de onda del sonido irradiado, como en el caso del ruido emitido en vías. La propagación del sonido se da en forma de ondas cilíndricas como en la Figura 1.2, donde  $R$  representa la distancia desde la fuente al receptor (Zuluaga Echeverry, 2009).

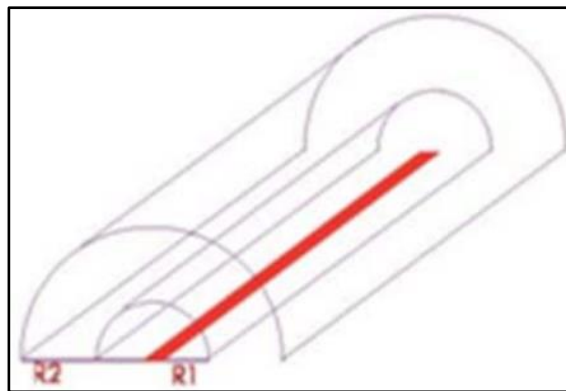


Figura 1.2: Propagación del sonido para una fuente lineal.  
Fuente: Zuluaga Echeverry, C. (2009).

### **1.2.1. Principales atenuaciones que sufre la señal de ruido durante la fase de propagación**

#### **1.2.1.1. Atenuación por divergencia geométrica**

Es la expansión esférica de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual, es independiente de la frecuencia de la señal y los efectos de temperatura y presión atmosférica son despreciables.

$$A_{div} = 20 \log(r) + 10,9 - C \quad \text{Ec. ( 2 )}$$

Donde (r) es la distancia desde la fuente puntual en metros y (C) es un término de corrección en función de la temperatura y presión atmosférica, que se puede obtener en el manual de medidas acústicas y control del ruido de Cyril Harris (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

#### **1.2.1.2. Atenuación por absorción del aire**

El ruido al propagarse a través de la atmósfera convierte gradualmente su energía en calor mediante varios procesos moleculares denominados absorción del aire. Esta atenuación depende principalmente de la frecuencia y humedad relativa y, en menor medida de la temperatura.

$$A_{aire} = \frac{\alpha d}{100} \quad \text{Ec. ( 3 )}$$

Donde (d) es la distancia en metros, ( $\alpha$ ) es el coeficiente de atenuación del aire en decibeles por kilómetro, el cual se puede obtener del manual de Cyril Harris (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012). Este tipo de atenuación es insignificante para distancias cortas entre la fuente y receptor, salvo para frecuencias mayores a 5000 Hz.

#### **1.2.1.3. Atenuación por viento y temperatura**

La propagación del ruido próximo al suelo para distancias horizontales inferiores a 100 metros, es esencialmente independiente de las condiciones atmosféricas; en este caso, la atmósfera puede considerarse homogénea y los rayos sonoros aproximadamente como líneas rectas.



El ruido se refracta hacia abajo cuando existe un viento de componente descendente, o durante las inversiones de temperatura. Estas condiciones de refracción hacia abajo son favorables a la propagación (A). La refracción hacia arriba suele producir una onda de sombra cerca del suelo, dando como resultado una atenuación adicional (B), como se puede apreciar en la Figura 1.3 (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

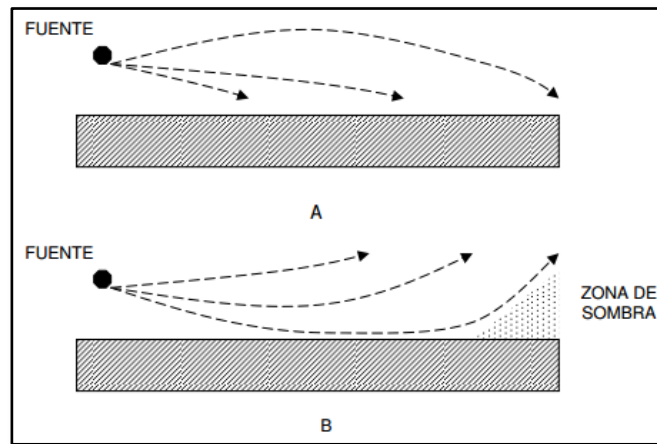


Figura 1.3: Refracción del ruido dependiendo de la dirección del viento.  
Fuente: ALLPE Ingeniería y medio ambiente. (2012).

#### 1.2.1.4. Atenuación debida al suelo

Es el resultado de la interacción entre el ruido reflejado por el terreno y la señal propagada directamente. La absorción del suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras (hormigón o agua), blandas (césped, árboles o vegetación) o mixtas.

Para el tema de investigación se requiere mencionar el cálculo de la atenuación del suelo en condiciones específicas, que es más simple que el caso general, las cuales son:

- La propagación se produce sobre un suelo acústicamente blando en su totalidad o casi en su totalidad.
- El espectro de ruido es particularmente amplio y gradual, como suele ocurrir con fuentes importantes de ruido compuestas de muchas fuentes contribuyentes distintas, por ejemplo, plantas industriales o tráfico rodado.
- El espectro de ruido no contiene componentes destacadas de frecuencias discretas.

En este caso la atenuación del suelo se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$A_{suelo} = 4,8 - \left(\frac{2h_m}{r}\right) \left(17 + \frac{300}{r}\right) \quad \text{Ec. ( 4 )}$$

Donde (r) es la distancia entre la fuente y receptor en metros y ( $h_m$ ) es la altura media del camino de propagación por encima del suelo en metros. Cabe recalcar que los valores negativos que se obtienen de esta fórmula no son significativos y se deben reemplazar por ceros (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

#### 1.2.1.5. Atenuación por efecto barrera

No se considera este tipo de atenuación debido a que en el presente caso de estudio no se cuenta con barreras.

#### 1.2.1.6. Atenuación por reflexión

Se considera solo las reflexiones producidas por el choque del rayo de onda sonora con las fachadas de los edificios, que pueden incrementar el nivel de ruido de un receptor que se encuentre ubicado cerca de la misma.

Cuando las ondas de ruido impactan sobre una superficie, su energía se divide en reflexión, difracción, absorción y transmisión a través de ella. En la Figura 1.4 se puede observar dicho fenómeno (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

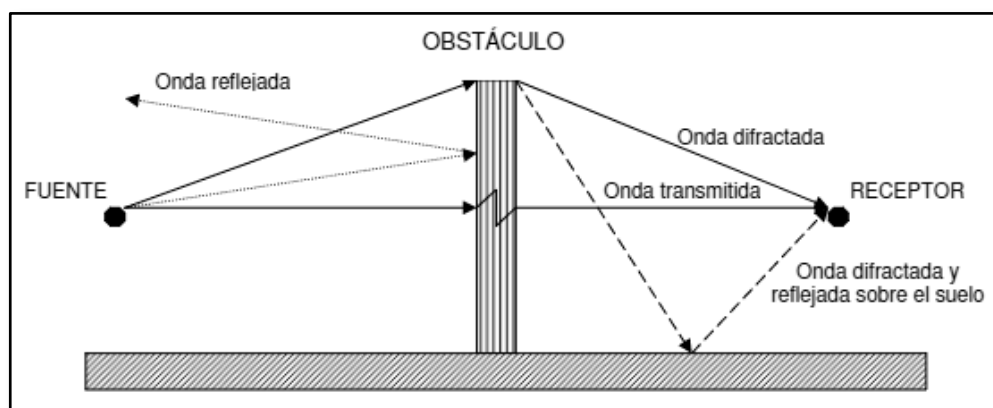


Figura 1.4: Atenuación por reflexión.

Fuente: ALLPE Ingeniería y medio ambiente. (2012).

Si la absorción y la transmisión son bajas, como sucede generalmente en el caso de los edificios, la mayoría de la energía sonora se refleja y se dice que la superficie es muy reflectante. El nivel de presión sonora cerca de la superficie se debe a la emisión directa de la fuente y al sonido que llega de una o más reflexiones. Para el cálculo de esta atenuación se utiliza la misma metodología que en la atenuación por suelo (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

#### **1.2.1.7. Atenuación debida a la vegetación**

Esta atenuación no se toma en cuenta para el presente caso de estudio, debido a que no existe vegetación significativa en la zona de estudio.

### **1.3. Recepción del ruido**

El medio ambiente sonoro se presenta en la fase de recepción; sin la existencia de población que ocupe el territorio, el medio ambiente sonoro no existe (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

#### **1.3.1. Principales características de la fase de recepción del ruido**

##### **1.3.1.1. Sonoridad**

Es un atributo de los sonidos que se percibe subjetivamente por el oyente. Al no ser una magnitud física, su procedimiento de medida se realiza mediante comparaciones con niveles de presión sonora conocidos. La sonoridad depende fundamentalmente del nivel de presión sonora del estímulo sonoro y, en menor medida, de su frecuencia, duración y complejidad espectral (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

##### **1.3.1.2. Sonio**

Es la unidad de sonoridad; se define como la sonoridad de un tono de 1000 Hz, con un nivel de presión sonora de 40 dB. Para un oyente medio, un cambio de 10 dB en el nivel de presión sonora es aproximadamente equivalente a doblar la sonoridad (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

### 1.3.1.3. Curvas de igual sonoridad

Los enjuiciamientos de igual sonoridad para tonos puros de varias frecuencias y niveles han dado lugar a curvas de igual sonoridad, como muestra la Figura 1.5 del manual de Cyril Harris. Todos los puntos de una curva determinada representan los niveles de presión sonora que han sido juzgados como igualmente sonoros en campo libre. Por ejemplo, la curva que pasa por los 1.000 Hz a un nivel de presión sonora de 40 dB es isófona a un tono con un nivel de presión sonora de 35 dB a 3.000 Hz, o a un tono de 100 Hz con un nivel de presión sonora de 50 dB (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

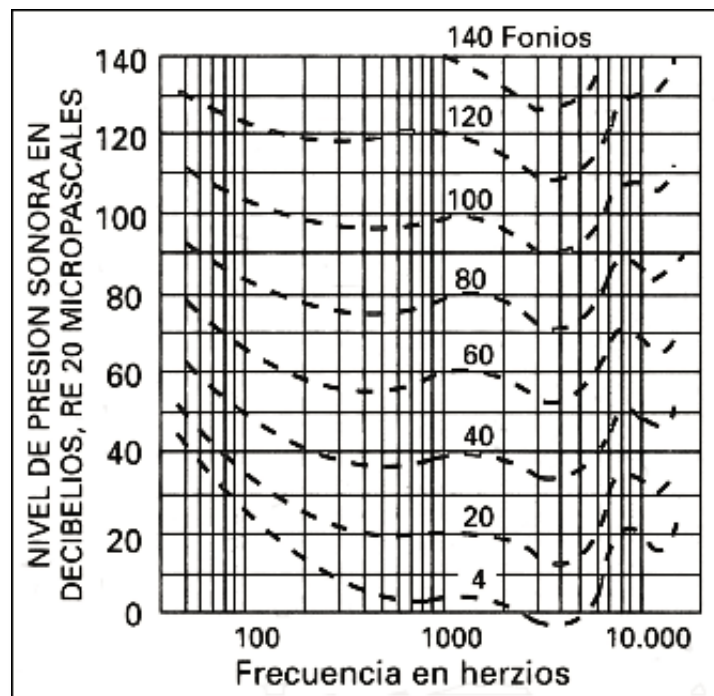


Figura 1.5: Curvas de igual sonoridad.  
Fuente: ALLPE Ingeniería y medio ambiente. (2012).

### 1.3.1.4. Nivel de sonoridad en fonios

Es el nivel de presión sonora del tono de 1000 Hz de referencia que es tan sonoro como el sonido que está siendo evaluado. Así la gráfica anterior representa curvas de igual sonoridad expresada en fonios. Recordando que una sonoridad de 1 fonio corresponde a un nivel de sonoridad de 40 fonios; un cambio doble de la sonoridad en fonios está asociado con un cambio de 10 fonios en el nivel de sonoridad (ALLPE Ingeniería y medio ambiente, 2012).

### 1.3.1.5. Estimación de la sonoridad

La estimación de la sonoridad se puede realizar de tres formas:

- I. Mediante enjuiciamiento subjetivo, como el descrito anteriormente.
- II. Mediante cálculo del análisis espectral del ruido en bandas de tercio, de media, o de octava completa.
- III. Mediante medida instrumental, usando un aparato que intenta representar la respuesta del oído como un sonómetro.

### 1.4. El ruido en la salud humana

La presencia del ruido es en la actualidad tan común, que hemos terminado por acostumbrarnos al mismo, ignorando así las graves consecuencias físicas que esto produce. Las autoridades internacionales en salud han indicado que la contaminación acústica presente en espacios urbanos puede repercutir negativamente en la calidad de vida, bienestar y la salud de las personas, dependiendo directamente de las diferentes características de exposición y las fuentes generadoras del ruido (FULECOL, 2011).

En la Figura 1.6 se puede observar ejemplos de los distintos niveles de presión sonora y como estos afectan la salud de las personas. Además se aprecia claramente como el tráfico de una ciudad sobrepasa el límite de ruido establecido por la OMS.

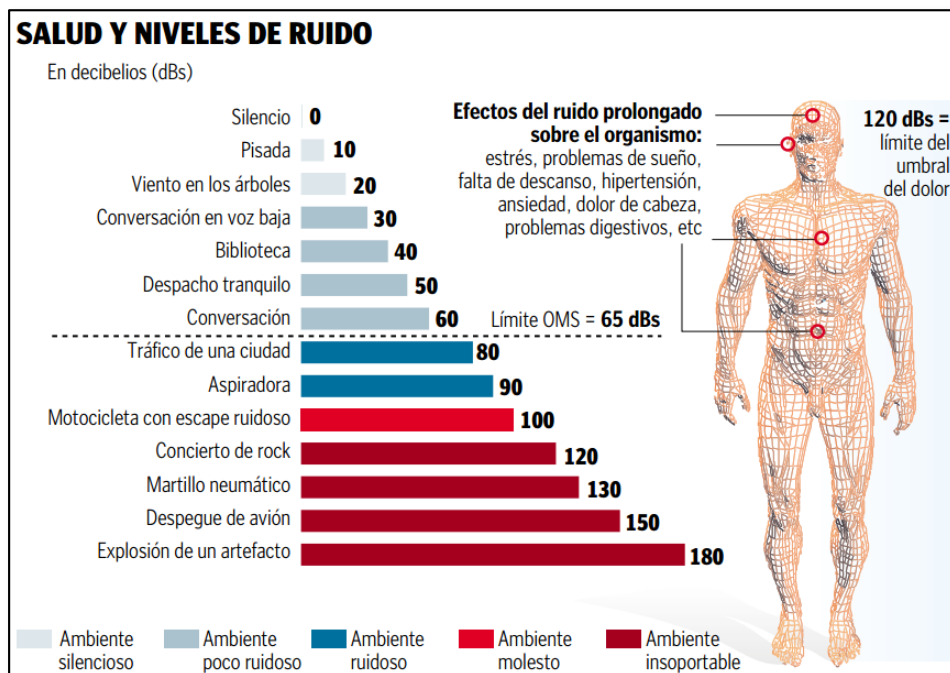


Figura 1.6: Salud y niveles de ruido.  
Fuente: Campelo, S. (2009, Diciembre 2).

Según investigaciones, se sabe que son varios los efectos en la salud humana atribuibles al ruido, los cuáles pueden ser auditivos y no auditivos, entre estos se pueden nombrar los siguientes:

#### **1.4.1. Efectos auditivos**

##### **1.4.1.1. Traumas acústicos**

Un trauma acústico es una lesión a los mecanismos auditivos en el oído interno, el cual puede ser agudo o crónico dependiendo de la intensidad de la presión sonora a la que se está expuesto.

###### **1.4.1.1.1. Trauma acústico agudo**

Este tipo de trauma se produce cuando una persona se ve expuesta a una presión sonora de intensidad extraordinariamente elevada, en general de tiempo de exposición muy corto y frecuentemente en un solo episodio, pudiendo ser también repetitiva, produciéndose así una sobre estimulación acústica por el denominado ruido impulsivo, que se caracteriza por un aumento de la presión sonora de muy rápido comienzo y muy corta duración. Estas características responden a situaciones como explosiones, detonaciones, disparos muy cercanos, objetos pirotécnicos, etc.

###### **1.4.1.1.2. Trauma acústico crónico**

Este tipo de trauma se produce cuando la exposición al ruido es de intensidad elevada, pero no tanto como el agudo, y no es de corta duración, sino repetida o prolongada en el tiempo, originando así un traumatismo acústico crónico lo cual tiene como consecuencia la pérdida de audición, hipoacusia o sordera.

###### **1.4.1.2. Fatiga auditiva**

Descenso transitorio de la capacidad auditiva, sin ocurrencia de lesión y con capacidad de recuperación auditiva en un lapso de 2 horas y recuperación total en 16 horas de descanso.

#### **1.4.1.3. Pérdida de capacidad auditiva**

Es el síntoma principal del trauma acústico crónico, que surge como producto del deterioro auditivo, el cual se define como el incremento en el umbral auditivo, siendo esta la mínima energía sonora que puede percibir el oído humano y que se sitúa en torno a los 20 $\mu$ Pa, el cual se eleva y necesitamos más energía sonora es decir sonido o voz a más volumen para lograr escuchar.

#### **1.4.1.4. Acúfenos**

Percepción de ruidos, pitidos y zumbidos sin una fuente sonora externa, que puede ser temporal pero hacerse permanente.

#### **1.4.2. Efectos no auditivos**

- Hipertensión arterial.
- Influencia en infartos cerebrales.
- Enfermedades isquémicas cardíacas (angina de pecho, infarto agudo de miocardio).
- Trastornos psicológicos (estrés, ansiedad, depresión).
- Trastornos en el sueño (insomnio, alteraciones en la estructura del sueño, ciclos, etapas, profundidad).
- Problemas en embarazo (pérdida auditiva y retraso de crecimiento en el feto).
- Disminución del rendimiento y del aprendizaje, en especial en población escolar.
- Interferencias en la comunicación oral. (Observatorio salud y medio ambiente, 2014)

Después de una exposición prolongada al ruido, los individuos de acuerdo a su susceptibilidad, pueden desarrollar efectos permanentes, como hipertensión y cardiopatía asociadas con la exposición a altos niveles de ruido.

El ruido produce trastornos primarios durante las horas de sueño, los cuales se presentan como: dificultad para conciliar el sueño, interrupción del sueño y alteración en la profundidad del sueño; trayendo como consecuencias: cambios en la presión

arterial y arritmia cardíaca, vasoconstricción, variación en el ritmo respiratorio, y sobresaltos corporales.

Los efectos secundarios o posteriores se pueden presentar ya sea a la mañana siguiente o incluso prolongarse por varios días en personas hipersensibles; cuyos efectos son: fatiga, estrés, depresión y reducción del rendimiento. Si dichas circunstancias se prolongan por días, el equilibrio físico-psicológico se verá seriamente perturbado (FULECOL, 2011).

### **1.5. Emisión de ruido debido al transporte**

El incremento exponencial de medios de transporte a nivel mundial ha generado impactos negativos tales como la contaminación por emisiones, consumo de energía, ruido, contaminación visual, accidentes, etc. Entre estos, el ruido es el primero que se detecta y es uno de los contaminantes que afecta de manera más directa a la calidad de vida de los ciudadanos.

Según el estudio realizado por Felipe Ruza y de acuerdo con un informe de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD, 1990), el transporte es, con mucho, la principal fuente de ruido por delante de la construcción o de la industria (Ruza, 1992). Además el Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, menciona que según estimaciones internacionales, la principal fuente de ruido ambiental es el producido por el tráfico vehicular, como se puede observar en la Figura 1.7, lo cual causa gran malestar en la ciudadanía debido a que afecta directamente su salud (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía OSMAN, 2009).



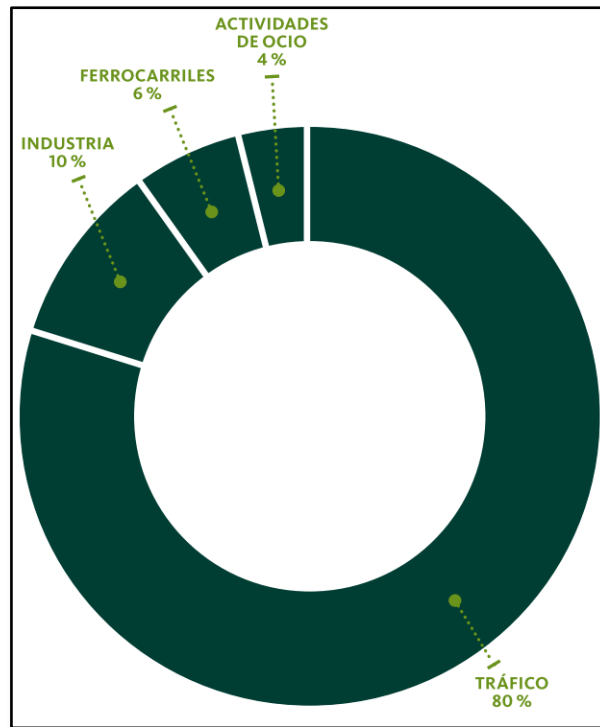


Figura 1.7: Fuentes de ruido en ambientes urbanos.  
Fuente: Observatorio salud y medio ambiente. (2014).

Cada vehículo automotor representa una fuente de ruido muy compleja, ya que en general es una superposición de tres tipos de ruido bien diferenciados:

- **Ruido de propulsión:** Es el generado por el motor, transmisión, sistema de admisión y escape asociado.
  - Motor:
 

El ruido del motor es originado tanto por la combustión, como por las fuerzas mecánicas generadas. Durante el proceso de combustión se producen grandes variaciones de presión en cada cilindro, lo que genera grandes cargas de presión en los pistones, provocando su movimiento a gran velocidad. Estas fuerzas, en conjunto con la inercia del movimiento y el desbalanceo de las piezas, provocan vibración en el motor, convirtiéndolo en una fuente de ruido.
  - Transmisión:
 

Según Happian-Smith, el ruido de los engranajes aumenta entre 6 a 8 dB cada vez que se dobla la velocidad, mientras que si se aplica el doble de potencia mecánica, el ruido se incrementa entre 2,5 a 4 dB (Happian-Smith, 2001).

En un sistema de transmisión ideal, a velocidad constante, la potencia se transmite sin ruidos y vibraciones. Sin embargo en la práctica esto no ocurre, debido principalmente a errores de diseño en los dientes, y en algunos casos incluso excentricidades del eje, lo que provoca vibraciones no deseadas. Si un diente está dañado o mecanizado de manera incorrecta, se genera una vibración cuyo componente fundamental se relaciona con la velocidad de giro del eje.

- Sistema de admisión y escape:

El ruido en el sistema de admisión es generado por cortes periódicos en el flujo de aire mediante las válvulas de admisión del motor, por lo que se crean pulsos de presión, los cuales se convierten en ruido, y se transmiten a través del filtro de aire y el resto de conductos de admisión. Este tipo de ruido puede incrementarse entre 10 y 15 dB desde el ralentí hasta el estado de máxima carga del motor.

El ruido de escape se produce por la liberación periódica y repentina de los gases generados en la cámara de combustión, a través de las válvulas de escape. Estos niveles de ruido, al igual que los de admisión, varían con la carga a la que es sometido el motor, pudiendo tener variaciones de hasta 15 dB.

- **Ruido de rodadura:** Este ruido se produce por la rodadura entre los neumáticos y la calzada. El principio de la generación de ruido en el neumático se debe a una liberación de energía cuando un pequeño bloque de banda de rodadura se libera desde el borde posterior de la huella del neumático y vuelve a su posición no deformada.
- **Ruido aerodinámico:** Aunque una parte del ruido aerodinámico se crea por los conductos de ventilación hacia el interior de la cabina, el ruido más molesto es el generado por el flujo externo alrededor del vehículo.

La creación de ruido aerodinámico está asociada con las turbulencias que se generan en la superficie del coche o en las zonas cercanas. Afortunadamente los diseños destinados a reducir la resistencia aerodinámica de los coches, conllevan inevitablemente la ventaja de una reducción del ruido (Sanz Vila, 2012).

En general, el ruido del motor predomina a velocidades por debajo de 50 km/h. Sin embargo, y especialmente en el caso de los automóviles más nuevos, el silenciador de escape es tan efectivo que aún a velocidades tan bajas como 40 km/h sigue predominando el ruido de rodadura. Mientras que el ruido aerodinámico adquiere importancia a partir de velocidades por encima de los 80 km/h (Miraya, 2002).

Para un vehículo individual, un aumento de la velocidad implica menor duración del tiempo de paso frente a un observador, por lo cual el nivel equivalente parece reducirse. Sin embargo, la energía sonora emitida aumenta más rápido con la velocidad que lo que se reduce el tiempo de paso, por lo que a mayor velocidad, mayor nivel equivalente.

### **1.6. Mapas de ruido ambiental**

Son registros georreferenciados de los niveles sonoros u otra información acústica pertinente, de un área geográfica determinada. Existen diferentes maneras de obtenerlos: mediciones, simulaciones, predicciones o cálculos, o en forma mixta que implica medir algunos datos y calcular otros por extrapolación e interpolación mediante modelos matemáticos o físicos (Amores Obando, 2010).

Los mapas de ruido sirven para representar los niveles de contaminación sonora de toda una zona de estudio. Para con base en esto poder determinar los tipos de fuentes que más ruido generan, determinar las zonas en las que se concentra más el ruido, simular posibles escenarios y sobre todo hacer predicciones globales y de esta manera establecer planes de acción para mitigar el ruido.

Los objetivos de los mapas de ruido son: estimar la exposición al ruido de los habitantes de una zona de la ciudad, comparar los niveles sonoros frente a los especificados en normas de regulación sobre contaminación ambiental, y determinar medidas técnicas, económicas y legales a zonas específicas de las ciudades.

Existen tres tipos de mapas de ruido: el mapa de ruido normal que se utiliza para evaluar la contaminación acústica de una zona determinada, utilizando todos los tipos

de fuentes emisoras. Otro tipo es el mapa de ruido estratégico, el cual se enfoca en una sola fuente sonora. Por último el mapa de ruido de conflicto que realiza una comparación entre la situación actual y los objetivos deseados (Martínez Sandoval, 2005).

### **1.6.1. Metodología para la realización de mapas de ruido**

Los primeros mapas de ruido se realizaron en los años 80 y 90, de forma experimental mediante planes de muestreo. Las metodologías de muestreo espacial más comunes se describen a continuación (FULECOL, 2011):

- Metodología de retícula o rejilla: consiste en dividir la zona con una rejilla y realizar las medidas en los nodos de dicha rejilla.
- Metodología de viales o tráfico: se categorizan a las vías y se realizan mediciones en diferentes puntos, teniendo en cuenta que vías de la misma categoría tendrán resultados similares.
- Muestreo en zonas específicas: se emplea esta metodología cuando existen determinadas zonas en las que el método de rejilla y el vial son insuficientes y no se obtienen los resultados necesarios.
- Muestreo en función de los usos del suelo: este método se basa en la clasificación propuesta por las entidades competentes, en este caso el TULSMA para ubicar los puntos de muestreo según el uso del suelo.
- Metodología de zonas aleatorias: este método se aplica cuando ninguno de los anteriores es posible usar.

Desde los años 90 se empezaron a utilizar programas de simulación del ruido basados en modelos matemáticos para elaborar los mapas de ruido. Debido a esto en la actualidad se utiliza esta metodología y se validan los resultados mediante medidas experimentales e incorporando el entorno SIG (Sistemas de Información Geográfica) para facilitar la elaboración de mapas de ruido (FULECOL, 2011).

Según Delgado del Valle, para empezar a elaborar un mapa de ruido primero se debe determinar las características del mapa que se esperan obtener:

- General o específico para una fuente.
- Ámbito del mapa y altura sobre el suelo.
- Escala de trabajo y precisión de los datos.
- Índices acústicos e información reflejada en el mapa.

Después de determinar las características, se selecciona la técnica a utilizar:

- Medidas mediante sonómetro.
- Métodos de previsión.
- Combinación de medidas y previsiones (Delgado del Valle, 2008).

En la ciudad de Cuenca, donde se realizará este estudio, ya se elaboró un mapa de ruido de una zona específica, determinada por el GAD Municipal de Cuenca, el IERSE y la CGA, para lo cual se utilizó un método de cálculo denominado Kriging ordinario. Dicho método está basado en una media constante de los datos que no tiene dependencia y en unos errores con dependencia espacial (Delgado & Martínez, 2015).

Para este estudio es más factible utilizar la técnica de métodos de previsión, ya que este se recomienda para mapas de vías, además se utilizarán las medidas mediante el sonómetro, obtenidas previamente, para comparar los resultados obtenidos con ambas técnicas. En cuanto a las características que se presentarán en el mapa a desarrollarse, este será de tipo específico para tráfico rodado.

### **1.7. Modelos de ruido por tráfico rodado**

El objetivo de los modelos predictivos de tráfico rodado es disponer de una herramienta que permita prever los niveles sonoros que producirá una nueva vía de circulación o bien una modificación de una vía existente (Bastián, 2015), como en este caso de estudio en el que se incorporará un tranvía en la circulación de la calle Mariscal Lamar.

Existen diferentes modelos de predicción de ruido de tráfico vehicular, los cuales se diferencian por las ecuaciones que usan, los distintos factores de corrección, entre otros. Steele realizó un estudio comparativo entre los principales modelos, concluyendo que existe una disparidad de criterios utilizados, datos de entrada y

limitaciones de cada uno. Por este motivo, los modelos de predicción deberían desarrollarse para cada realidad regional, considerando las características del parque automotor, tipo de camino, hábitos de conducción, etc. (Bastián, 2015).

En la actualidad la principal fuente de ruido proviene de los vehículos. El tráfico urbano a bajas velocidades tiene como principal fuente de ruido al motor, mientras que a altas velocidades, es decir sobre los 70 km/h, son el rozamiento de los neumáticos con la calzada y la turbulencia (Zuluaga Echeverry, 2009).

Respecto a la composición del tráfico, existen dos grandes grupos de vehículos: livianos y pesados, siendo estos últimos los que aumentan considerablemente los niveles de ruido. Algunos autores también consideran las motocicletas en el cálculo por la gran cantidad de unidades que circular por las ciudades. La pendiente de la calzada por su parte se considera importante en función del porcentaje de vehículos pesados, ya que estos pueden incrementar 4 dB en subidas. Además de todos estos factores existe un incremento adicional de los niveles de ruido causado por el uso excesivo de bocinas, resonadores y diferentes componentes que se incorporan en los vehículos (Zuluaga Echeverry, 2009).

### **1.7.1. Modelos de predicción de ruido**

#### **1.7.1.1. Modelo francés NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)**

Las siglas NMPB (Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit), significan: Nuevo Método de Predicción de Ruido. Este modelo es utilizado para las carreteras y se empezó a usar en 1996, de ahí viene el nombre de Routes-96.

Por otro lado, los organismos que realizaron este modelo, se mencionan a continuación, con el significado de sus siglas en francés y su traducción al español:

- CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques), que significa: Centro de Estudios sobre las Redes de Transporte, Urbanismo y Obras Públicas.

- SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements), que significa: Servicio de Educación de Transporte, Carreteras e Instalaciones.
- LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées), que significa: Laboratorio Central de Caminos y Puentes.
- CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), que significa: Centro Científico y Técnico para la Construcción.

Este es el modelo oficial de la Unión Europea para la caracterización acústica del ruido de tránsito rodado, lo que quedó establecido a través de la Directiva 2002/49/CE, en su artículo sexto y en el anexo de las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, de tráfico rodado y ferroviario y los datos de emisiones correspondientes, estableciéndose el método de manera extendida (Bastián, 2015).

El procedimiento de medida para este modelo se detalla en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el que hace referencia a la << Guide du Bruit 1980 >> como modelo de emisiones por defecto para el cálculo de ruido procedente del tráfico rodado, en el cual definen el nivel de potencia sonora  $L_w$  y la emisión sonora  $E$ , a partir del nivel de presión sonora  $L_p$  y la velocidad del vehículo  $V$ , mediante las siguientes fórmulas (García, 2014).

$$L_w = L_p + 25,5 \quad \text{Ec. ( 5 )}$$

$$E = (L_w - 10 \log V - 50) \quad \text{Ec. ( 6 )}$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{1000V} \right) - 10 \log l + 3 - A \quad \text{Ec. ( 7 )}$$

Donde:  $L_w$  es el nivel de potencia sonora media de un vehículo;  $Q$  es el caudal de vehículos;  $V$  es la velocidad de los vehículos;  $l$  es la longitud de la vía en metros;  $A$  es la pérdida por absorción.

#### **1.7.1.1.1. Emisión de ruido**

Partiendo de la ecuación anteriormente mencionada, se tiene que la emisión E es un nivel sonoro que puede describirse en términos de dB(A) como el nivel sonoro  $L_{eq}$  en la isófona de referencia debido a un solo vehículo por hora en condiciones de tráfico que son función del tipo de vehículo, la velocidad, el flujo de tráfico y el perfil longitudinal, los cuales se describirán a continuación (Diario Oficial de la Unión Europea, 2003).

##### **I. Tipos de vehículos**

Se utilizan dos clases de vehículos, los livianos de tonelaje menor a 3,5 y los pesados con carga útil igual o mayor a 3,5 toneladas.

##### **II. Velocidad**

Se utiliza una gama completa de velocidades entre 20 y 120 km/h. sin embargo en velocidades menores a 60 km/h se perfecciona el método teniendo en cuenta los flujos de tráfico como se describe en el Diario Oficial de la Unión Europea.

##### **III. Flujo de tráfico**

Es un parámetro complementario al de la velocidad, tiene en cuenta la aceleración, desaceleración, carga del motor y flujo del tráfico en pulsos o continuo. Las categorías según el Diario Oficial de la Unión Europea son: flujo continuo fluido, flujo continuo en pulsos, flujo acelerado y flujo desacelerado, los cuales se detallan en dicho Diario.

##### **IV. Perfil longitudinal**

Este modelo considera las siguientes clases:

- Una vía o tramo de vía horizontal cuya pendiente en el sentido del tránsito es inferior al 2%.
- Una vía ascendente cuya pendiente en el sentido del tránsito es superior al 2%.
- Una vía descendente cuya pendiente en el sentido del tránsito es superior al 2%.



Esta clasificación es aplicable para vías de un solo sentido. En caso de ser de dos sentidos la vía se deben calcular por separado y luego acumular los resultados (Diario Oficial de la Union Europea, 2003).

#### 1.7.1.1.2. Estimación del nivel de potencia de la vía

Según Bastián, después de obtener el nivel de emisión sonora, se extrapola considerando la composición total del flujo vehicular, mediante la siguiente ecuación, la cual sirve para calcular el nivel de potencia en dB(A) del segmento de vía  $i$  por banda de octava  $j$  (Bastián, 2015).

$$L_{Aw_i} = L_{Aw/m} + 10 \log l_i + R(j) + \psi \quad \text{Ec. ( 8 )}$$

Donde  $l_i$  es el largo del tramo de vía  $i$ ,  $\psi$  es la corrección por pavimento y  $R(j)$  es el valor espectral por bandas de octava  $j$ , como se puede ver en los cuadros propuestos por el Diario Oficial de la Union Europea, los cuales se representan en las Tablas 1.1 y 1.2 respectivamente.

Tabla 1.1: Corrección por pavimento.

Clases de pavimento	Corrección del nivel de ruido $\Psi$		
	0-60 (km/h)	61-80 (km/h)	81-130 (km/h)
Pavimento poroso	- 1 dB	- 2 dB	- 3 dB
Asfalto liso (hormigón o mástique)	0 dB		
Cemento hormigón y asfalto rugoso	+ 2 dB		
Adoquinado de textura lisa	+ 3 dB		
Adoquinado de textura áspera	+ 6 dB		

Fuente: Diario Oficial de la Union Europea. (2003).

Tabla 1.2: Valor espectral por bandas de octava.

$j$	Banda de octava (Hz)	Valores de $R(j)$ en dB(A)
1	125	-14,5
2	250	-10,2
3	500	-7,2
4	1000	-3,9
5	2000	-6,4
6	4000	-11,4

Fuente: Diario Oficial de la Union Europea. (2003).

### 1.7.1.1.3. Corrección de pavimento

Por encima de cierta velocidad, el ruido total emitido por un vehículo está dominado por el contacto entre el neumático y la carretera. La <<Guide du Bruit 1980>> proporciona un valor normalizado de emisión sonora para un tipo normalizado de pavimento (Diario Oficial de la Union Europea, 2003).

En cuanto a los tipos de pavimento, representados en la Tabla 1.1, se describen en el Diario Oficial de la Unión Europea.

### 1.7.1.1.4. Método de predicción simple de la Guide du Bruit

Según el estudio realizado por García, existe un método simplificado de cálculo, el cual distingue dos expresiones para calcular  $L_{eq}$ , según el tipo de calzada y la relación altura media (h)/ anchura (b) (García, 2014):

- Vías en “U” con  $h/b > 0,2$ .

$$L_{eq} = 55 + 10 \log(Q_{VL} + EQ_{VP}) - 10 \log L + K_h + K_v + K_c \quad Ec. (9)$$

Donde:

- $Q_{VL}$ : Densidad de vehículos livianos por hora.
- $Q_{VP}$ : Densidad de vehículos pesados por hora.
- E: Factor de equivalencia acústica entre vehículos livianos y pesados, en función de la pendiente en grados (r), como se puede ver en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Factor de equivalencia acústica.

Pendiente (r, %)	E
$\leq 2 \%$	10
$\leq 3 \%$	13
$\leq 4 \%$	16
$\leq 5 \%$	18
$\leq 6 \%$	20

Fuente: García, N. G. (014)

- $L$  es la anchura de la calzada sin contar las aceras, de modo que es diferente a la anchura usada anteriormente ( $L < b$ ).

$K_h$  = Corrección por altura.

$$K_h = -\frac{(h-4)}{l} \Rightarrow h > 4m. \quad \text{Ec. ( 10 )}$$

$$K_h = 0 \Rightarrow h \leq 4m.$$

$K_v$  = Corrección por velocidad media.

- Si  $V < 60$  Km/h, la corrección es nula:  $K_v = 0$ . Este caso es para la mayoría de vías urbanas.
- Si  $V > 60$  Km/h, la corrección se calcula sumando 1 dB por cada 1- km/h que se supere de la velocidad de referencia (60 km/h).

$K_c$  = Corrección por cruce.

$$L_{eq} = L_1 \oplus [L_2 - (3 + 0,10x)] \quad \text{Ec. ( 11 )}$$

Donde:

- $L_1$  es el  $L_{eq}$  de la vía en la que se predice el nivel de ruido.
  - $L_2$  es el  $L_{eq}$  de la vía con la que se cruza.
  - $x$  es la distancia desde el punto en el que se predice el ruido hasta el comienzo de la vía con la que se cruza.
  - $\oplus$  = suma de decibeles.
- Vías en “L” y Vías en “U” con  $h/b < 0,2$ .

$$L_{eq} = 20 + 10 \log(Q_{VL} + EQ_{VP}) + K_h + K_v + k_a \quad \text{Ec. ( 12 )}$$

Nota: se utiliza la nomenclatura anterior.

Ahora,  $K_h$  = Corrección por altura, es:

$$K_h = 12 \log \left( d + \frac{L}{3} \right) \quad \text{Ec. ( 13 )}$$

Donde: d es la distancia desde el centro de la calzada al punto de medida (m);

L es la anchura de la calzada sin veredas (m).

Ahora,  $K_v$  = Corrección por velocidad media, es:

$$K_v = 20 \log v \quad \text{Ec. ( 14 )}$$

Donde v es la velocidad media, de acuerdo a:

- Si  $v > 60$  Km/h se introduce el valor máximo:  $v = 60$ .
- Si  $v < 60$  Km/h se introduce el valor de v.

$K_a$  es la corrección por ángulo de visión:

$$K_a = 10 \log \theta / 180 \quad \text{Ec. ( 15 )}$$

Donde:  $\theta$  es el ángulo de visión expresado en grados.

### 1.7.1.2. Otros modelos

#### 1.7.1.2.1. Modelo alemán RLS 90/ DIN 1800

Este modelo, según García, se describe a continuación:

- El nivel base se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq} = 37,7 + 10 \log \{ Q(1 + 0,082P) \} \quad [dBA] \quad \text{Ec. ( 16 )}$$

Donde: Q es la intensidad de tráfico en vehículos/h; P es el porcentaje de vehículos pesados (PMA > 2,8 Ton), en %.

- Corrección por velocidad, siempre y cuando sea diferente a los valores predeterminados, que son 100 km/h para livianos y 80 km/h para pesados:

$$\Delta v = L_{ligeros} - 37 + 10 \log \left[ \frac{100 + (10^{0,1C} - 1)P}{100 + 8,23P} \right] \quad Ec. ( 17 )$$

Donde:

$$L_{ligeros} = 27,7 + 10 \log [1 + (0,02V_{ligeros}^3)];$$

$$L_{pesados} = 23,1 + 12,5 \log V_{pesados};$$

$$C = L_{pesados} - L_{ligeros}$$

$$30 \text{ km/h} \leq V_{ligeros} \leq 130 \text{ km/h};$$

$$30 \text{ km/h} \leq V_{pesados} \leq 80 \text{ km/h}$$

- Corrección por pendiente:

$$L = 0,6 * g - 3, \quad \text{si } g > 5 \quad Ec. ( 18 )$$

Donde:  $g$  es la pendiente de la carretera en %.

- Corrección por tipo de asfalto:

Va desde -5 dBA para superficies porosas (con más de 15% de poros) hasta +6 dBA para superficies de adoquinado rugoso.

#### 1.7.1.2.2. Modelo inglés CoRTN

Significa "Calculation of Road Traffic Noise", el cual según García, determina el nivel sonoro a partir del percentil  $L_{10}$ :

$$L_{10}(1 h) = 42,2 + 10 \log(q) \quad [dBA] \quad Ec. ( 19 )$$

$$L_{10}(18 h) = 29,1 + 10 \log(Q) \quad [dBA]$$

Donde:  $q$  es el número de vehículos por hora;  $Q$  es el número de vehículos en 18 horas.

Las correcciones que se realizan en este modelo son:

- Corrección para otra velocidad y tráfico compuesto viene dada por:

$$K_{v,p} = 33 \log \left( V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left( 1 + \frac{5P}{V} \right) - 68,8 \text{ [dBA]} \quad \text{Ec. ( 20 )}$$

Donde:  $V$  es la velocidad del flujo de tráfico en Km/h;  $P$  es la proporción de vehículos pesados en %.

- Corrección por pendiente es:

$$L = 0,3 * g \quad \text{Ec. ( 21 )}$$

Donde:  $g$  es la pendiente de la carretera en %.

- Corrección por tipo de asfalto:

Va desde -3,5 dBA para superficies porosas permeables hasta sus valores máximos dados para cementos en función de la profundidad de textura y velocidad.

### 1.7.1.2.3. Comparativa entre modelos

Es complicado hacer una comparación entre modelos, debido a que tienen muchos parámetros diferentes entre sí, sin embargo a continuación se expone la Tabla 1.4, en donde se resumen las diferencias principales entre los tres modelos mencionados.

Tabla 1.4: Comparativa entre modelos.

	Tipo de fuente	Altura de la fuente	Distancia de referencia	Altura del receptor	Velocidad de referencia
<b>RLS 90</b>	Puntual	0,5 m	25 m	4 m	100 km/h (1) 80 km/h (2)(3)
<b>CoRTN</b>	Lineal a 3,5 m	0,5 m	10 m	ec.	75 km/h
<b>Francés</b>	Puntual compleja	ec.	7,5 m	4 m.	V50

Nota: (1) Coches.

(2) Camiones medios.

(3) Camiones pesados.

V50: Velocidad que alcanza o excede el 50% de todos los vehículos.

ec.: No existe corrección específica porque ya se incluye en la ecuación.

Fuente: Delgado del Valle, L. (2008).

## **1.8. Marco legal**

La contaminación acústica, es un problema ambiental que cada vez toma más importancia a nivel nacional e internacional. Por esta razón la normatividad aplicable para realizar control y seguimiento de esta problemática es cada vez más común. A continuación se mencionan algunas de estas normas a nivel nacional e internacional.

### **1.8.1. Normativa a nivel nacional**

Con el propósito de combatir los perjudiciales efectos del ruido, la normativa ecuatoriana ha establecido varios métodos y procedimientos destinados a regular los niveles de ruido sobre el territorio.

El objetivo de esta normativa es cuidar la salud y bienestar de las personas, así como del medio ambiente, mediante el establecimiento de niveles máximos permisibles de ruido. Además se fijan los niveles de ruido máximo permisibles para vehículos automotores y los métodos de medición de estos niveles de ruido.

Esta normativa se encuentra disponible en el libro VI, Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

#### **1.8.1.1. Niveles máximos permisibles de ruido para fuentes fijas**

Los niveles de presión sonora equivalente, ( $NPS_{eq}$ ), expresados en decibeles, no podrán exceder los valores que se muestran en la Tabla 1.5. Cabe recalcar que existen dos nomenclaturas equivalentes para los niveles de presión sonora, “Lp” que es el que usa el modelo francés y NPS el que usa el TULSMA.

Tabla 1.5: Niveles máximos permisibles según uso del suelo.

Tipo de zona según uso de suelo	Nivel de Presión Sonora Equivalente NPS <sub>eq</sub> [dB(A)]	
	De 06h00 a 20h00	De 20h00 a 06h00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Fuente: Ministerio del Ambiente. (2015).

### 1.8.1.2. Ruidos producidos por vehículos automotores

Los niveles máximos permitidos de presión sonora producida por vehículos se presentan en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6: Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores.

Categoría de vehículo	Descripción	NPS Máximo (dBA)
Motocicletas:	De hasta 200 centímetros cúbicos.	80
	Entre 200 y 500 c. c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
Vehículos:	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículos de Carga:	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88

Fuente: Ministerio del Ambiente. (2015).



### **1.8.2. Normativa a nivel internacional**

La normativa internacional sobre la evaluación del ruido ambiental, es de gran importancia, ya sea por la utilización de las mismas o porque estas proporcionan bases y referencias para la elaboración de normas nacionales.

#### **1.8.2.1. Directiva 2002/49/CE**

Esta directiva nace de una iniciativa de los países miembros de la Comunidad Europea por determinar los niveles de ruido a los cuales están expuestos los residentes europeos como producto de fuentes tales como calles y carreteras, trenes y sus estaciones, ruido de aeronaves, aeropuertos y ruido industrial.

Todas las urbes con población superior a los 100.000 habitantes deben seguir esta directiva e informar a sus habitantes del ruido ambiental y sus efectos. Esta información debe ser mediante mapas de ruido y éstos se deben llevar a cabo mediante métodos de evaluación comunes a los estados miembros (dBA Ingeniería, 2008).

El método recomendado para el ruido de tráfico rodado, es el método nacional de cálculo francés «**NMPB-Routes-96** (SETRA-CERTULCPC-CSTB)», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten al «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980» (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002).

La directiva también establece que una vez determinados los niveles a los cuales están expuestos los habitantes de tales urbes, se deben establecer planes de acción para no aumentar los niveles, en casos especiales disminuirlos y preservar las zonas libres de ruido.

### **1.8.2.2. ISO 1996 – Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental**

La serie de Normas ISO 1996 pretende proporcionar a las autoridades, material para la descripción y evaluación del ruido en ambientes comunitarios. Es una norma básica en la evaluación del ruido la cual se divide en dos partes, en donde se habla de las magnitudes básicas, métodos de evaluación y determinación de los niveles de ruido ambiental (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014). Esta norma fue adoptada de manera íntegra por la república del Ecuador.

### **1.8.2.3. ISO 9613 – Acústica. Atenuación del sonido durante su propagación en exteriores**

Esta norma define un método de cálculo basado en octavas, teniendo como referencia fuentes puntuales con un nivel de potencia sonora definido. Las fuentes lineales pueden obtenerse mediante adición de fuentes puntuales (FULECOL, 2011).

## CAPÍTULO 2

### MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso para la realización de este trabajo de tesis, fue establecer el área de estudio, lo cual se realizó considerando la cantidad de datos con los que cuenta el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) para esa zona. Luego se determinaron los datos que utiliza el software CadnaA para realizar los respectivos mapas de ruido, y se realizó una matriz general (Anexo 7) con todos los datos recopilados. De esta manera se establecieron los datos faltantes, mismos que fueron levantados posteriormente in situ.

Después se realizó una investigación bibliográfica acerca de los programas CadnaA y ArcGIS, con la finalidad de aprender el uso de los mismos, a través de sus respectivos manuales y tutoriales en la web. De esta manera se logró establecer un flujo de trabajo que permite realizar la mayor cantidad de modelaciones, con el fin de determinar el método de cálculo para obtener el mapa de ruido que simule de la mejor manera la dispersión del ruido en la zona.

#### **2.1. Descripción de la zona de estudio**

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la República del Ecuador, en pleno centro histórico de la ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay.

La misma se ha determinado en el eje de la calle Mariscal Lamar, tramo comprendido entre las calles Mariano Cueva y Juan Montalvo, con una longitud total de 890 m. y un área total de 202497 m<sup>2</sup>. aproximadamente.

Este sitio es de gran interés para la realización del estudio, ya que según la Municipalidad de Cuenca, debido al crecimiento del parque automotor, se evidencian grandes congestiones por la sobresaturación de tráfico en el centro histórico, el cual colapsa en horas pico, trayendo como consecuencia elevados niveles de ruido en la zona (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Además, considerando que posteriormente varias líneas de transporte público que circulan por esta calle serán sustituidas por el “Tranvía 4 Ríos”, se podrá utilizar este estudio como línea base para realizar una comparación de los niveles de ruido una vez que éste entre en funcionamiento.

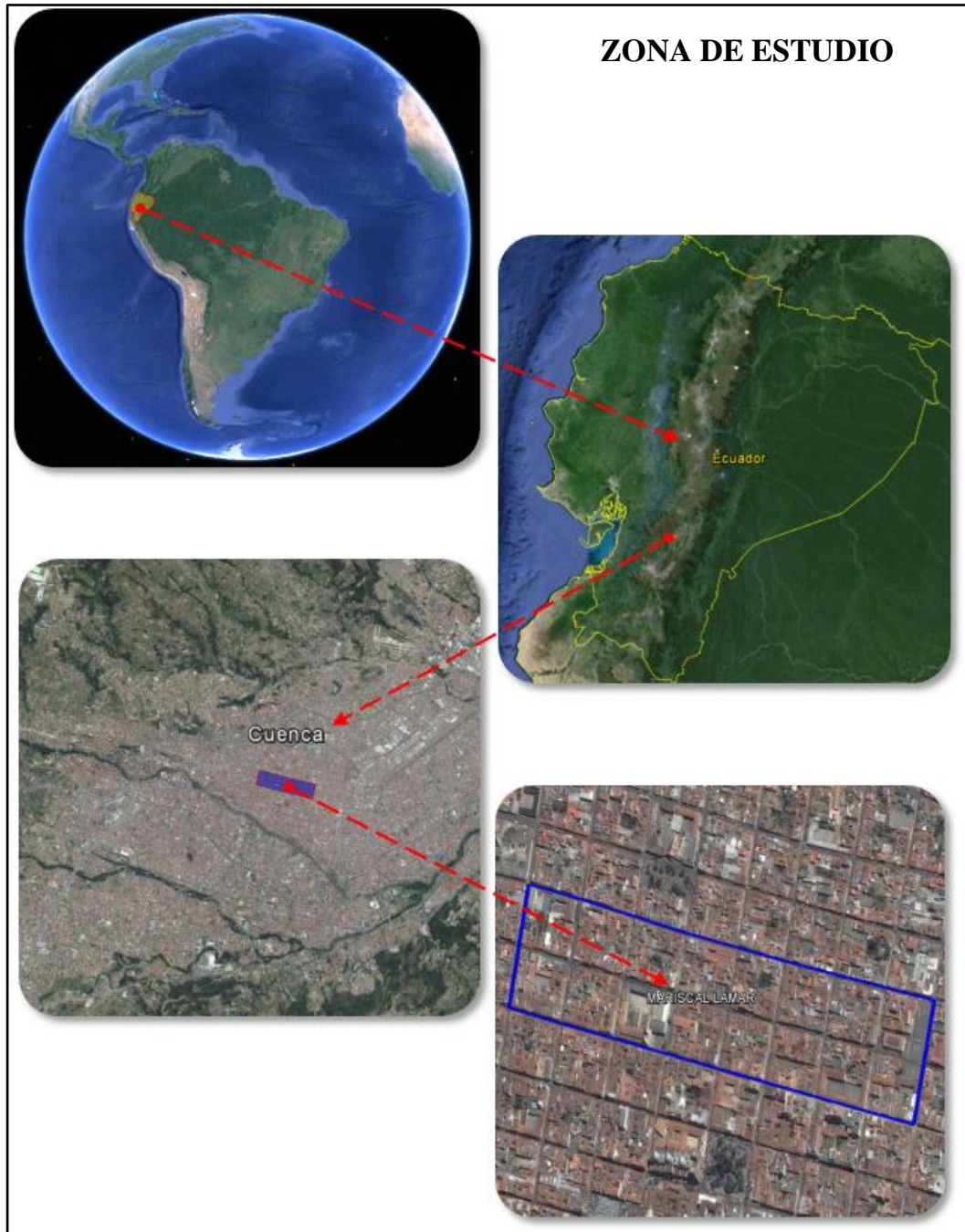


Figura 2.1: Delimitación de la zona de estudio.  
Fuente: (Google Earth 2015 CNES/Astrium).

En dicha zona se establecieron cinco puntos de monitoreo, ubicados cada dos cuadras, es decir están sobre las intersecciones entre la calle Mariscal Lamar y las siguientes calles: Juan Montalvo, General Torres, Benigno Malo, Presidente Borrero y Mariano Cueva. Estos puntos fueron utilizados para realizar las mediciones de ruido con el sonómetro, además del conteo de vehículos. Los mismos fueron establecidos por el IERSE para trabajos previos, razón por la cual se utiliza la misma nomenclatura en los mapas de ruido de este trabajo de tesis, como se indica en la Figura 2.2.

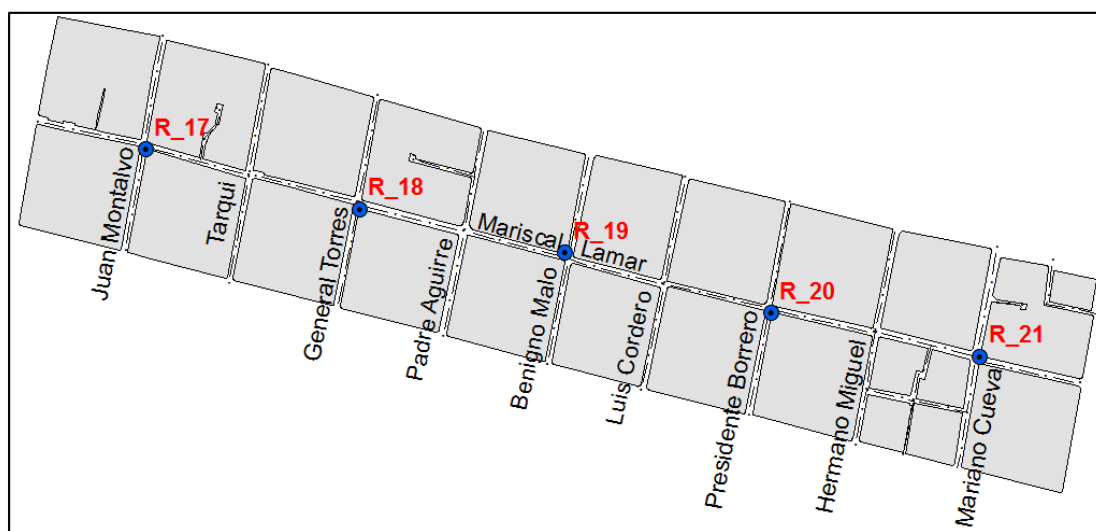


Figura 2.2: Zona de estudio.

## 2.2. Recopilación y levantamiento de datos

### 2.2.1. Recopilación de datos

La mayor cantidad de información requerida para este trabajo de tesis fue facilitada por el IERSE, de donde se obtuvieron todos los archivos georreferenciados en formato shapefile necesarios para este estudio, además de las fichas de levantamiento de datos de ruido ambiente y datos exactos de conteo vehicular con sus respectivos porcentajes de vehículos pesados, en los 5 puntos de monitoreo de la zona de estudio. Un ejemplo de la estructura de estas fichas se indica en el Anexo 1.

Según Samaniego, estos datos de ruido fueron obtenidos con un sonómetro “3M™ SoundPro Datalogging” con filtro de bandas de octava, cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 2. Esta información se obtuvo en cada punto de monitoreo, durante 15 minutos y en el horario definido (07h00, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y

21h00), utilizando el sonómetro y simultáneamente levantando información de conteo exacto de vehículos (Samaniego, 2015). En el Anexo 3 se puede observar un ejemplo de dichos puntos con sus respectivos datos de sonómetro y conteo exacto de vehículos para las 07h00.

Los archivos en formato shapefile utilizados son: manzanas, construcciones, vías y curvas de nivel, los cuales fueron recortados y ajustados a la zona de estudio mediante el software ArcGIS 10.3 como se muestra en el Anexo 4, para de esta forma disminuir el elevado tiempo de cálculo en el software CadnaA.

La información necesaria sobre la intensidad media diaria (IMD), según Bañón Blázquez, se define como el número total de vehículos que atraviesan una determinada sección durante un año, dividido por 365 (Bañón Blázquez, 2000). Dichos datos fueron recopilados mediante un servicio online, utilizando el “geovisor municipal de Cuenca” creado por la Alcaldía de Cuenca, en donde al seleccionar “Tráfico” se abre el mapa de la ciudad de Cuenca, en el cuál se marca la casilla “Vías Aforos” (Anexo 5), para que de esta manera se muestre la capa de vías que contiene la información de IMD para todos los tramos de la zona de estudio, excepto para el comprendido entre la calle Tarqui y Juan Montalvo, para el cuál se utilizaron los datos de la cuadra más cercana (Alcaldía de Cuenca, 2015). Estos datos se indican en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Datos de IMD para la zona de estudio.

<b>Datos de IMD</b>	
<b>Tramo</b>	<b># Vehículos</b>
Juan Montalvo - Tarqui	7714
Tarqui – General Torres	7714
General Torres – Padre Aguirre	10153
Padre Aguirre – Benigno Malo	9950
Benigno Malo – Luis Cordero	10802
Luis Cordero – Presidente Borrero	11038
Presidente Borrero – Hermano Miguel	12126
Hermano Miguel – Mariano Cueva	12961

Fuente: Alcaldía de Cuenca. (2015).

Además mediante el oficio que se muestra en el Anexo 6, se solicitó información a la Dirección Municipal de Tránsito sobre el aforo vehicular automático (vehículos/hora), con la finalidad de realizar pruebas con la mayor cantidad de datos posible, para de esta manera obtener los resultados más próximos a los obtenidos mediante un sonómetro.

Toda la información recopilada se organizó en un archivo de excel mediante una matriz general, como se muestra en el Anexo 7.

## **2.2.2. Levantamiento de datos**

### **2.2.2.1. Materiales**

- **Distanciómetro Fluke 414D**

Es un medidor láser de distancia profesional, que mejora la precisión y reduce los errores de medición. Capáz de medir distancias de hasta 50 m con una precisión de 2mm, calcular área y volumen, además de realizar operaciones de suma y resta (Fluke, 2015). En el Anexo 8 se puede observar sus especificaciones.

### **2.2.2.2. Levantamiento**

Además de los datos recopilados del IERSE y el GAD Municipal de Cuenca, fue necesario realizar un levantamiento de información adicional para llevar a cabo este estudio en donde se determinó: la altura de las edificaciones, nivel de absorción de fachadas, altura de veredas, ancho de veredas, ancho de calles y tipo de superficie de carretera. Esta información fue obtenida por los autores en la zona de estudio, en el mes de Noviembre del año 2015.



Figura 2.3: Levantamiento de información en la calle Mariscal Lamar.

Las tablas con la información levantada en el área de estudio se muestran en el Anexo 9, de los cuales únicamente el dato de las pendientes, fue otorgado por el GAD Municipal de la ciudad de Cuenca.

## 2.3. Preparación de datos

### 2.3.1. Software ArcGIS

Para estructurar los datos en archivos shapefile, se utilizó el software ArcGIS bajo la licencia institucional de la Universidad del Azuay. Este software es un completo sistema que comprende una serie de aplicaciones que permiten recopilar, organizar, administrar, analizar y distribuir información geográfica (ESRI, 2015).

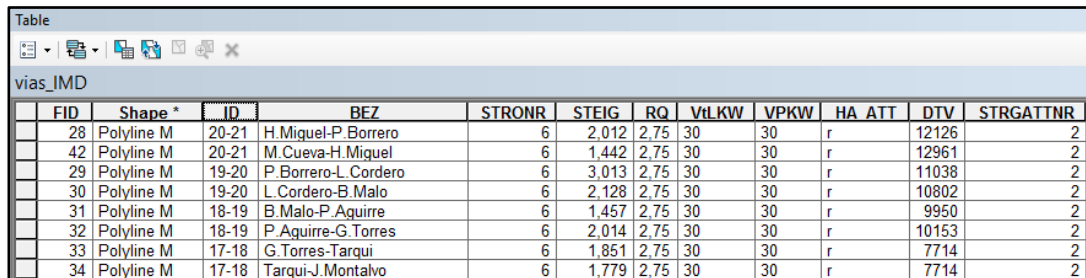
### 2.3.2. Estructuración de datos en archivos shapefile

Toda la información obtenida mediante recopilación y levantamiento de datos, fue ingresada en las tablas de atributos de los archivos en formato shapefile, los cuales se crearon bajo el sistema de coordenadas “WGS 1984 UTM Zone 17S” y fueron previamente recortados y ajustados a la zona de estudio. Esta estructuración se llevó a cabo de acuerdo a la tabla de atributos y abreviaciones del software de modelación de



ruido Datakustik CadnaA, lo cual es necesario para importar y procesar los datos en dicho software. En el Anexo 10 se muestra dicha tabla del software CadnaA, únicamente con los datos utilizados en este trabajo de tesis.

A continuación en la Figura 2.4, se puede observar como ejemplo, la estructuración de datos en las vías de la zona de estudio, utilizando el IMD de tráfico en este caso.



FID	Shape *	ID	BEZ	STRONR	STEIG	RQ	Vtl.KW	VPKW	HA ATT	DTV	STRGATTNR
28	Polyline M	20-21	H.Miguel-P.Borrero	6	2,012	2,75	30	30	r	12126	2
42	Polyline M	20-21	M.Cueva-H.Miguel	6	1,442	2,75	30	30	r	12961	2
29	Polyline M	19-20	P.Borrero-L.Cordero	6	3,013	2,75	30	30	r	11038	2
30	Polyline M	19-20	L.Cordero-B.Malo	6	2,128	2,75	30	30	r	10802	2
31	Polyline M	18-19	B.Malo-P.Aguirre	6	1,457	2,75	30	30	r	9950	2
32	Polyline M	18-19	P.Aguirre-G.Torres	6	2,014	2,75	30	30	r	10153	2
33	Polyline M	17-18	G.Torres-Tarqui	6	1,851	2,75	30	30	r	7714	2
34	Polyline M	17-18	Tarqui-J.Montalvo	6	1,779	2,75	30	30	r	7714	2

Figura 2.4: Estructuración de información en shapefile de vías, con datos de IMD de tráfico.

Además se utilizaron las coordenadas de los puntos de muestreo, para crear un archivo shapefile de puntos, en el cuál se indica la posición en la que deben estar los receptores en los mapas de ruido como se muestra en el Anexo 3.

**Nota:** Para que el programa Datakustik CadnaA reconozca los datos que indican la altura de un objeto, es necesario utilizar la herramienta “Feature To 3D By Attribute” en el caso del software ArcGIS, para convertir el tipo de polígono a “ZM”.

## 2.4. Procesamiento de datos y modelación del ruido

### 2.4.1. Software Datakustik CadnaA

Para la modelación del ruido en la zona de estudio, se utilizó el software Datakustik CadnaA versión 3.5.115, mediante una licencia de uso bajo convenio con la empresa MELISSA Consultoría e Ingeniería Ambiental S.L. a nombre del Dr. Domingo Gómez Orea. Este software permite predecir y evaluar el ruido ambiental producido por diferentes fuentes, tales como industriales, aéreas o por tráfico vehicular en este caso. Además, es capaz de comunicarse de manera óptima con distintos programas, como los de Diseño Asistido por Computadora (CAD), Sistemas de Información Geográfica (GIS), bases de datos, entre otros. Esta característica permite tanto importar como

exportar datos gráficos, lo que facilita en gran medida la creación y análisis de los mapas de ruido, utilizando diferentes programas informáticos (Datakustik, 2015).

Para la modelación del ruido, el programa requiere información sobre las fuentes de tráfico rodado, el terreno en el que se estudia la propagación del sonido, y la localización de los distintos receptores. Además está optimizado para dar solución a los requerimientos planteados por la Directiva 2002/49/CE, siendo una herramienta adecuada para elaborar mapas estratégicos de ruido (Lorente González, 2007).

#### **2.4.2. Modelo de cálculo utilizado**

El modelo que se utilizó para realizar la simulación del ruido causado por tráfico vehicular, fue el francés NMPB-Routes-96, ya que este es el modelo de predicción del nivel de presión sonora más extendido, debido a que obtiene los mejores resultados (García, 2014). También, autores como Nacher de los Riscos y Echeverri, Murillo y Valencia, han utilizado este método para sus estudios, incluso la empresa FULECOL realizó mapas de ruido en algunos lugares de Colombia bajo este modelo. Por ello, es además el modelo recomendado por la Unión Europea en la directiva 2002/49/CE.

#### **2.4.3. Importación de datos**

Los datos necesarios para modelar el ruido fueron importados a partir de los archivos en formato shapefile previamente recortados y estructurados.

Para importar estos archivos es necesario escoger “**ArcView**” como tipo de archivo, luego seleccionar el archivo a importar, entrar al menú “**opciones**” y colocar un asterisco en la capa a la cual pertenece dicho archivo como se observa en la Figura 2.5, para el caso de vías.

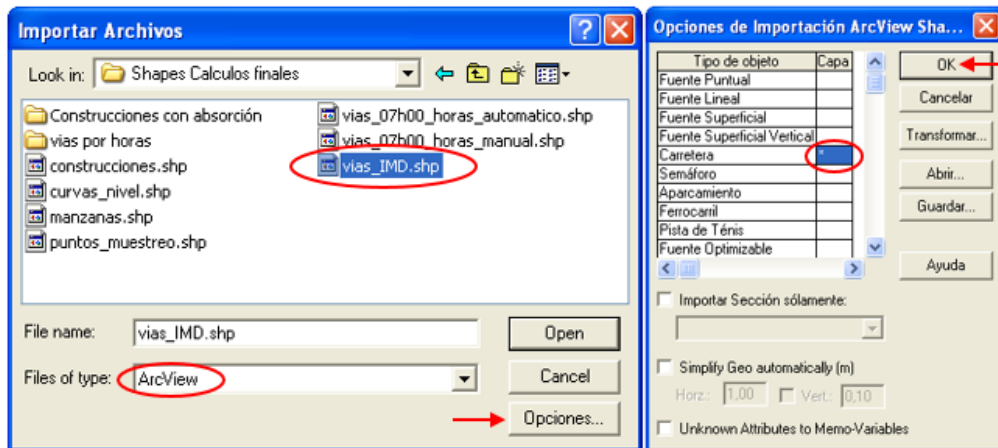


Figura 2.5: Importación de archivos shapefile al software DataKustik CadnaA.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

En el anexo 11 se puede observar el resultado de todos los archivos que han sido importados para modelar el ruido en la zona de estudio.

#### 2.4.4. Configuración de cálculo

En el cuadro de configuración de cálculo, se pueden realizar las correspondientes modificaciones en cada una de sus pestañas, y los pasos a seguir para configurar cada una de éstas se explican a continuación.

##### 2.4.4.1. País

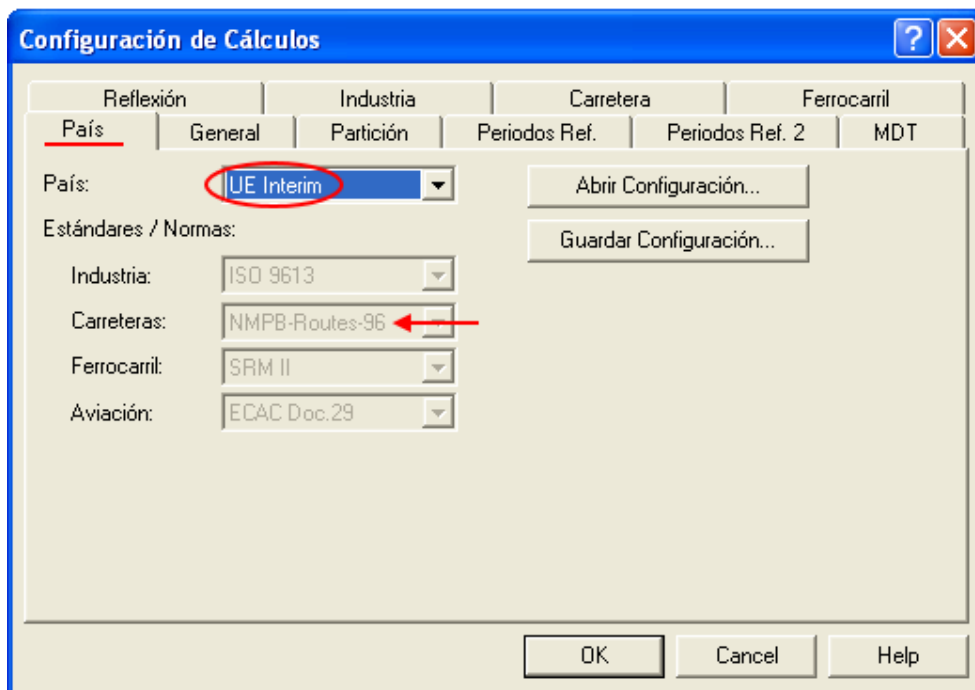


Figura 2.6: Pestaña “País”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

En este apartado se selecciona el nombre del País al cual pertenecen las normas que se utilizarán para los respectivos cálculos. En este caso se debe seleccionar “**UE Interim**” que son los métodos provisionales de la Unión Europea, ya que se empleó el modelo Francés “**NMPB-Routes-96**” para el cálculo de ruido de tráfico rodado, como se explicó en el punto 4.4.2. Modelo de cálculo utilizado.

#### 2.4.4.2. General

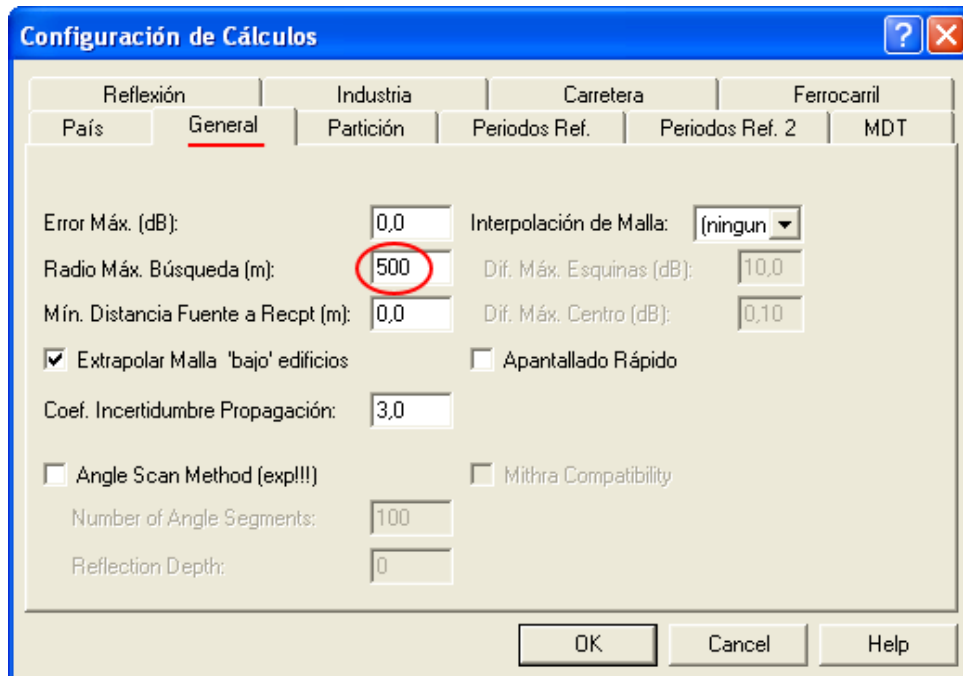


Figura 2.7: Pestaña “General”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

El “**Error Máximo**” utilizado es de 0, ya que el área de estudio no es de gran extensión, de esta manera se obtienen los resultados más exactos. Se recomienda utilizar valores de 0,5 o 1 para proyectos extensos, ya que mientras menor sea este valor, el tiempo requerido para el cálculo es mayor.

El valor predeterminado para el “**Radio Máximo de Búsqueda**” es de 2000 m, el cuál es recomendado para proyectos grandes, por lo tanto se utilizó un valor de 500 m, lo cual abarca toda el área de estudio de este proyecto, mientras que en los demás apartados se dejaron los valores por defecto.

### 2.4.4.3. Partición

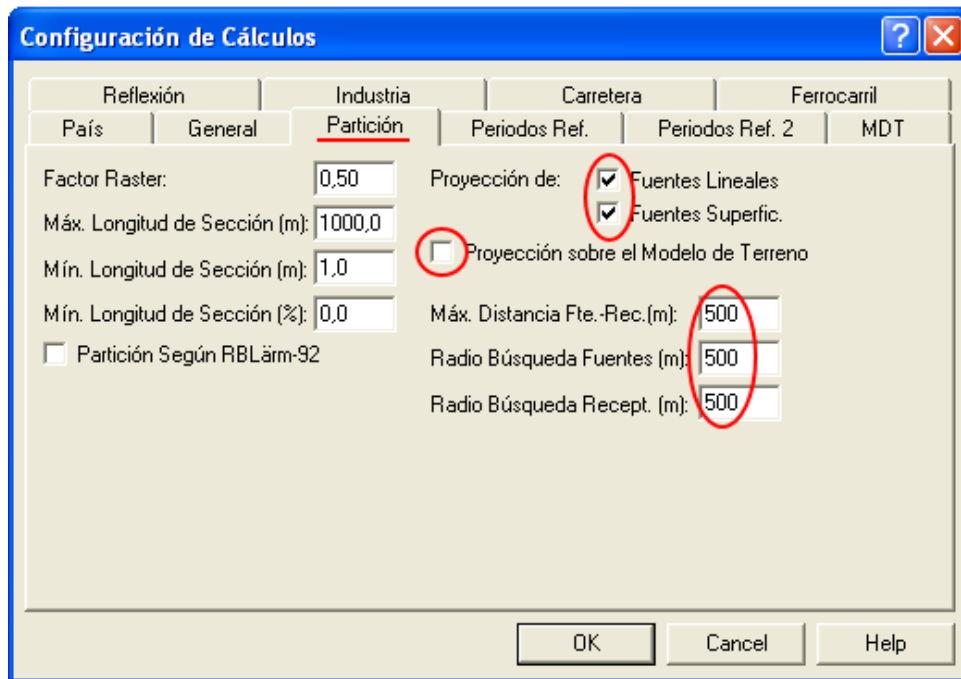


Figura 2.8: Pestaña “Partición”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

El “Factor Raster” se mantiene con el valor predeterminado de 0,50, debido a que según Arana et al, es el valor máximo permitido por la norma ISO 9613-2 y proporciona a su vez una buena relación entre tiempo de cálculo y precisión. En cuanto a las longitudes de sección también se dejan los valores predeterminados (M Arana, San Martín, Nagore, Pérez, & San Martín, 2008).

En el apartado de “**Proyección de**”, se marcan las dos casillas para que el modelo considere la proyección de obstáculos y reglas de propagación. Adicionalmente se activa la casilla “**Proyección sobre modelo de terreno**” para que el modelo reconozca las áreas definidas por las curvas de nivel.

En cuanto a la máxima distancia y radios de búsqueda se utiliza un valor de 500 metros, que cubre toda la zona de estudio, ya que los receptores están separados entre ellos dos cuadras, aproximadamente 200 metros, por lo que la distancia total que debe cubrir cada receptor es aproximadamente 400 metros. Mientras que las demás opciones se dejan con los valores por defecto.

#### 2.4.4.4. Períodos de referencia

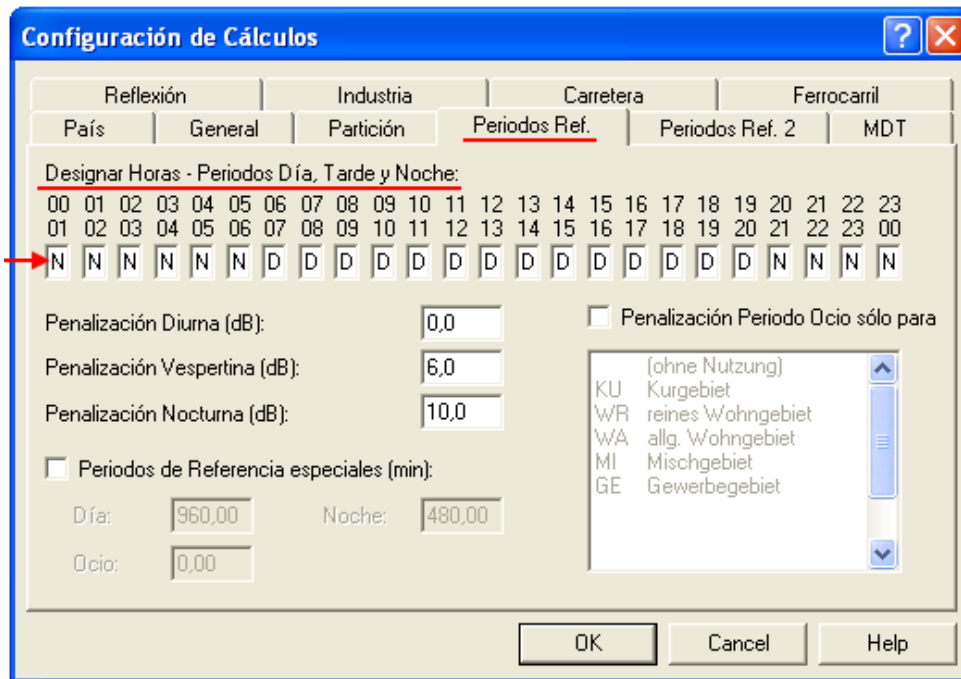


Figura 2 9: Pestaña “Períodos de referencia”.

Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Para “**designar horas**”, en los 24 cuadros de entrada se debe asignar a cada hora el intervalo de tiempo al que pertenece: día (D) / tarde (E) / noche (N). En este caso se utiliza únicamente “D” en el período de 06h00 a 20h00 y “N” para el período de 20h00 a 06h00, como está establecido en el TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2015).

Los valores de “**penalización**” se tienen en cuenta para los parámetros de evaluación combinados, como por ejemplo  $L_{de}$ ,  $L_{dn}$ , etc. Por lo tanto en este apartado se mantienen los valores por defecto, y de igual manera se deja sin marcar la casilla de períodos de referencia, ya que este parámetro se utiliza únicamente para fuentes industriales.

#### 2.4.4.5. Períodos de referencia 2

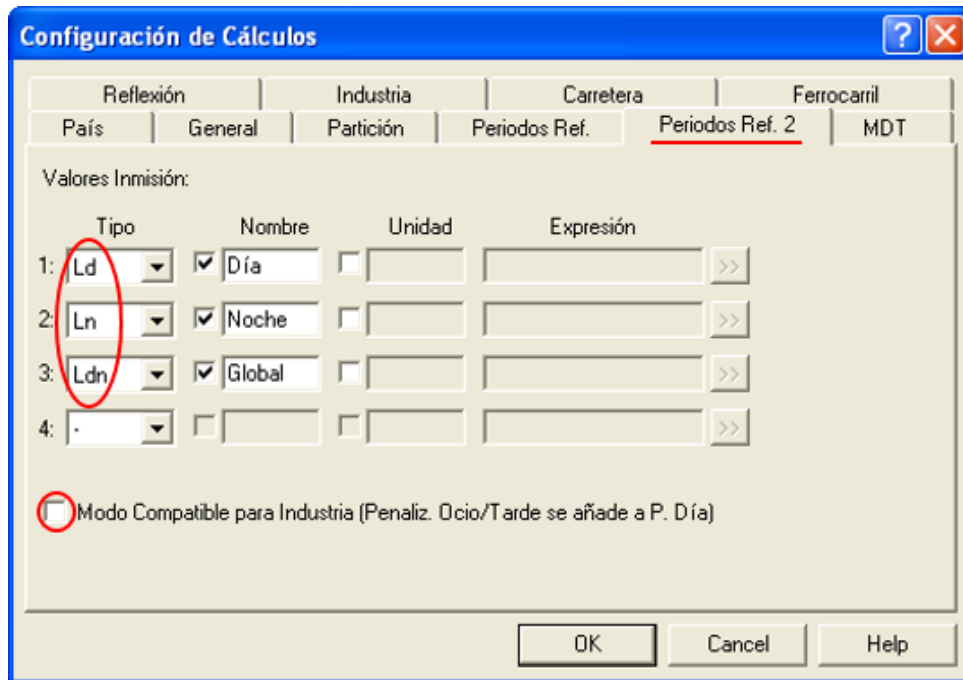


Figura 2.10: Pestaña “Períodos de referencia 2”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Esta configuración sirve para definir los parámetros de evaluación, en los que se incluyen: niveles de ruido para intervalos de tiempo, incertidumbre de intervalos de tiempo e inclusive fórmulas para el cálculo de niveles totales o específicos de ruido con todas las opciones que brinda el software.

Se utilizan tres parámetros de cálculo para mapas con datos de IMD vehicular, los cuales son  $L_d$ ,  $L_n$  y  $L_{dn}$ , lo que significa, un mapa para el día, uno para la noche y uno global, respectivamente. Estos parámetros son identificados internamente con los alias LP1, LP2, LP3 y LP4. En cuanto a los mapas con “Datos Exactos de Conteo”, solo se utiliza un parámetro dependiendo de la hora en la que se esté realizando el mapa.

La opción “**Modo compatible para Industria**” permite que la versión actual del software reconozca proyectos realizados en versiones anteriores. Debido a que en este estudio no se cuenta con proyectos anteriores, se desactiva dicha opción.

#### 2.4.4.6. MDT

Significa Modelo Digital del Terreno, el cual describe la elevación del terreno a través del área de mapeo (Environmental Protection Agency, 2011). El Modelo de terreno tiene tres formatos, los cuales se describen a continuación:

- Triangulación: Utiliza puntos de altura y líneas de contorno existentes para formar planos triangulares.
- Buscar líneas de contorno (Medias): Promedio de las líneas de contorno de acuerdo a la distancia al cuadrado.
- Buscar líneas de contorno (Plano inclinado local): Aproximación de superficies planas, mediante las líneas de contorno definidas.

El manual del software recomienda el método de triangulación ya que suele dar los mejores resultados debido a que también toma en cuenta – de acuerdo a la realidad física – los planos de superficie convexa entre las líneas de contorno y los puntos de altura, que se forman por los bordes recién ingresados durante la evaluación (DataKustik, 2005).

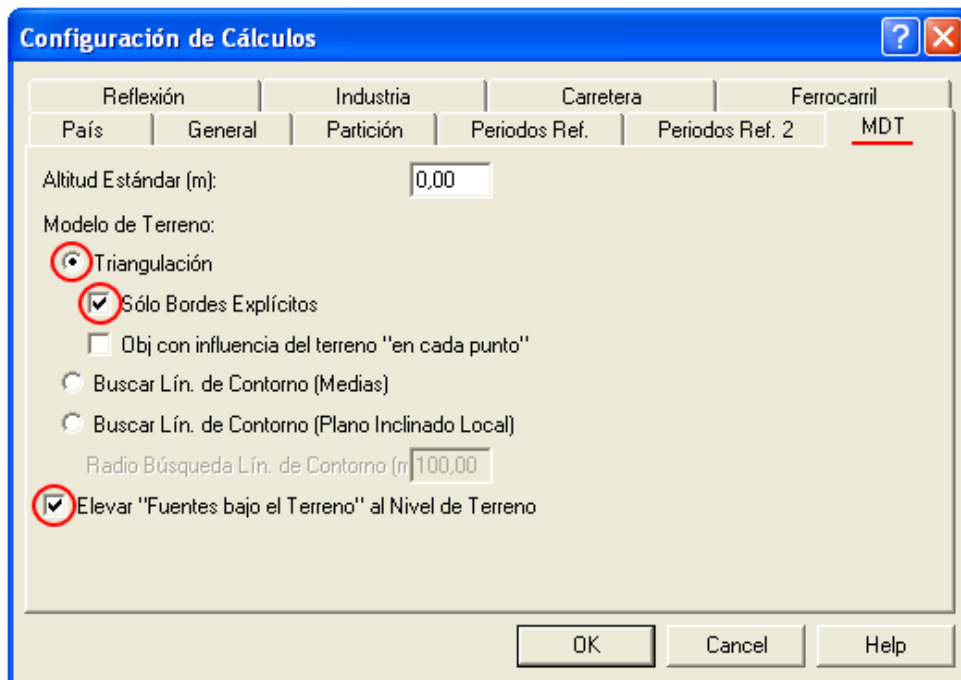


Figura 2.11: Pestaña "MDT".  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).



La “**Altitud Estándar (m)**” no se modifica debido a que se cuenta con la información de las líneas de contorno.

Para el “**Modelo de Terreno**” se selecciona la opción “**Triangulación**” para que el modelo utilice puntos de altura y líneas de contorno existentes para formar planos triangulares. Esto recomienda el manual y acelera el cálculo. Adicionalmente se activa la opción “**Solo bordes explícitos**” para que solo las líneas de contorno ingresadas tengan efectos en la pantalla y no los bordes de los planos triangulares formados.

También se marca la casilla “**Elevar fuentes bajo el terreno al nivel de terreno**” para que ningún objeto quede por debajo del mismo.

#### 2.4.4.7. Reflexión

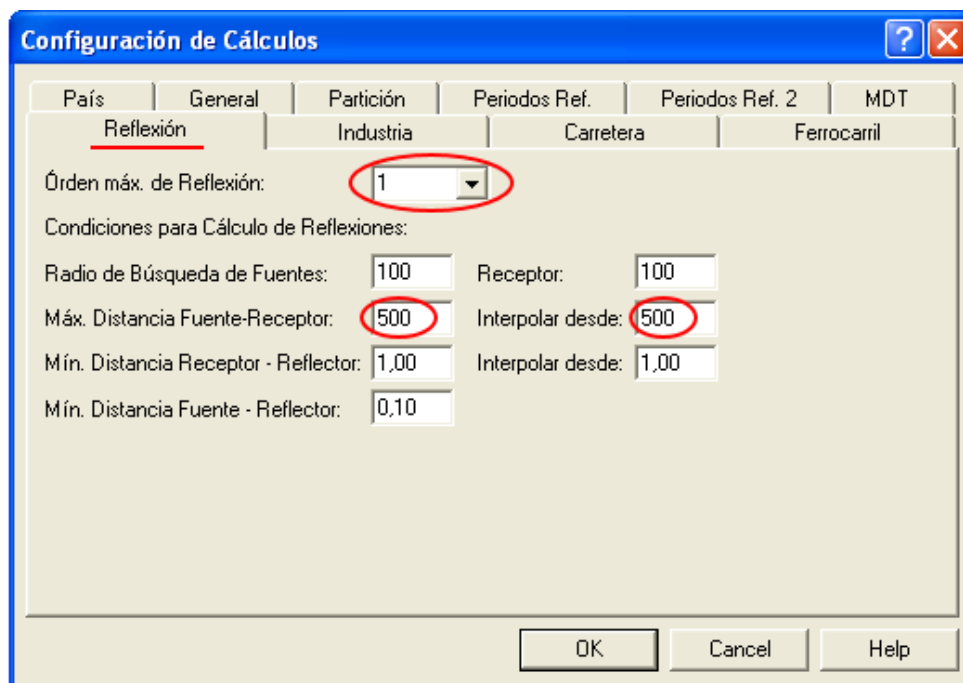


Figura 2.12: Pestaña “Reflexión”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

El “**orden máximo de reflexión**” influye en gran medida en el tiempo de cálculo, ya que, según Arana et al, para reflexiones de orden superior, todas las fuentes emisoras han de ser reflejadas de nuevo en todos los objetos reflectantes existentes a fin de probar la validez de cada reflexión y calcular las correspondientes trayectorias de cada rayo (Miguel Arana, Pérez, Nagore, & San Martín, 2009). En este caso se utiliza un

orden máximo de 1, ya que según el manual del software, en la mayoría de los casos se recomienda tener en cuenta las reflexiones de primer orden.

El valor predeterminado de la “**máxima distancia Fuente-Receptor**” es de 1000 m, pero en este caso se utiliza una distancia de 500 m, ya que el área de estudio es reducida.

#### 2.4.4.8. Carretera

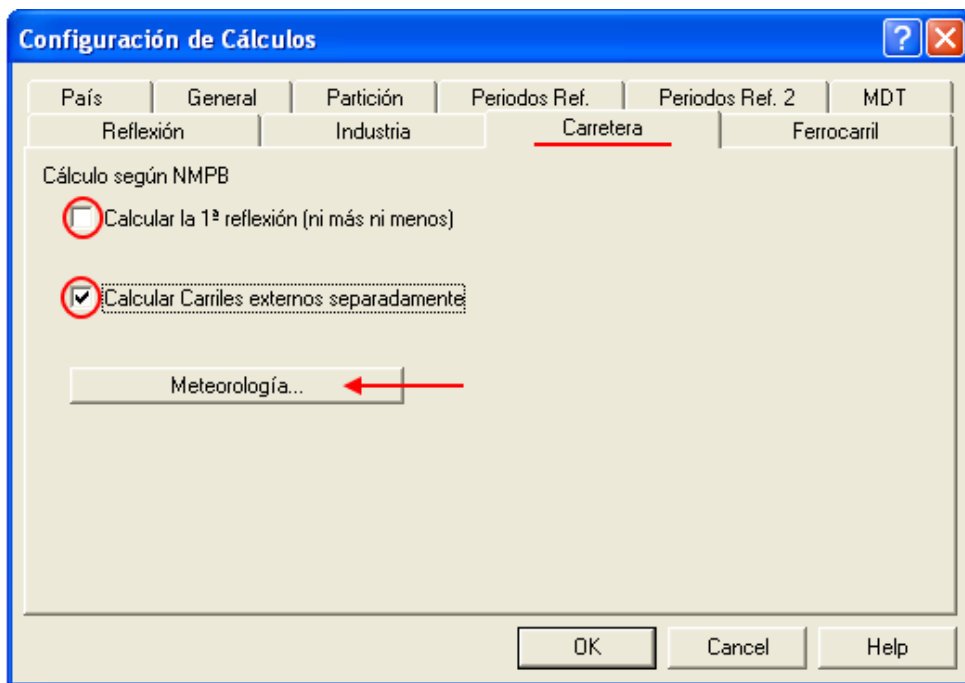


Figura 2.13: Pestaña “Carretera”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

En este apartado, al marcar la casilla “**Calcular la 1ª reflexión**”, únicamente se realizan los cálculos considerando la primera reflexión, sin importar el orden seleccionado en el punto 4.4.4.7. En este caso no se marca dicha casilla debido a que en la pestaña “Reflexión” se está considerando un orden máximo igual a 1.

La casilla de “**calcular carriles externos separadamente**” tiene que estar activada, ya que la vía de estudio cuenta con dos carriles. Por otro lado, en el apartado de “**meteorología**” que se muestra en la Figura 2.14, en los cuadros de entrada se debe ingresar el valor del parámetro “**p**”, el cual expresa la relación del porcentaje de condiciones favorables homogéneas de temperatura del aire y humedad relativa. Este

parámetro debe ser calculado a partir de los promedios de varios años de observaciones meteorológicas y debido a que no se tiene dicha información, se utilizan los valores por defecto que son:  $p = 50\%$  para el día,  $p = 75\%$  para la tarde y  $p = 100\%$  para la noche (Rudno–Rudzińska, Malec, & Sawa, 2008).


Figura 2.14: Meteorología.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Luego de finalizar con la configuración de cálculos, se procede a configurar los edificios importados, para lo cual se debe dar doble clic sobre el edificio a configurar y proceder como se explica a continuación.

#### 2.4.5. Configuración de edificios

Figura 2.15: Configuración de edificios.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

En este cuadro se puede activar sólo una de las tres opciones para especificar la reflectividad de las superficies de obstáculos, como se muestra a continuación:

- **Sin reflexión:** El cálculo se realiza sin reflexión para este objeto.
- **Pérdidas reflexión:** Introducir el valor de pérdida por reflexión (dB), o hacer clic en el icono de la tarjeta índice “” y seleccionar el tipo de fachada a partir de la lista desplegada que se indica en el Anexo 12.
- **Coefficiente de absorción alfa:** Introducir el valor de un solo número, una fórmula, o la referencia a un espectro de coeficiente de absorción. Este coeficiente varía dependiendo del tipo de material o recubrimiento de una fachada, lo cual hace que ésta absorba más o menos el sonido. (Miraya, 1999)

En este caso, debido a que en la lista de fachadas no existe alguna compatible con las edificaciones de la zona de estudio, se realizó un levantamiento del nivel de absorción para cada construcción, asignando únicamente un coeficiente de absorción como se indica a continuación.

- Coeficiente Alfa Alto (A01): Fachadas con muy poca superficie de construcción, como por ejemplo muros bajos, o estructuras metálicas de protección.
- Coeficiente Alfa Medio (A02): Fachadas de edificaciones con locales comerciales que cuentan con grandes entradas y ventanas abiertas, es decir fachadas que permitan el ingreso del ruido en gran cantidad.
- Coeficiente Alfa Bajo (A03): Fachadas que no cuentan con grandes entradas, ni locales comerciales, es decir que la mayor parte de la misma sean paredes o vidrio.

Estos coeficientes de absorción son asignados a cada edificación de la zona de estudio, a partir de la librería global de absorciones que se indica en la Figura 2.16.

Absorciones (global)													
OK	Cancelar	-> Local Lib.		Copiar...	Imprimir...	Fuente...	Ayuda						
Nombre		ID	Espectro de Octava (dB)									Fuente	
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Aw	
Coeficiente Alfa alto		A01	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
Coeficiente Alfa medio		A02	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Coeficiente Alfa bajo		A03	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	

Figura 2.16: Librería global, absorciones.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Al hacer clic en “**geometría**” se abre el cuadro mostrado en la Figura 2.17, en donde se pueden observar los valores ingresados en la tabla de atributos del archivo en formato shapefile previamente importado.

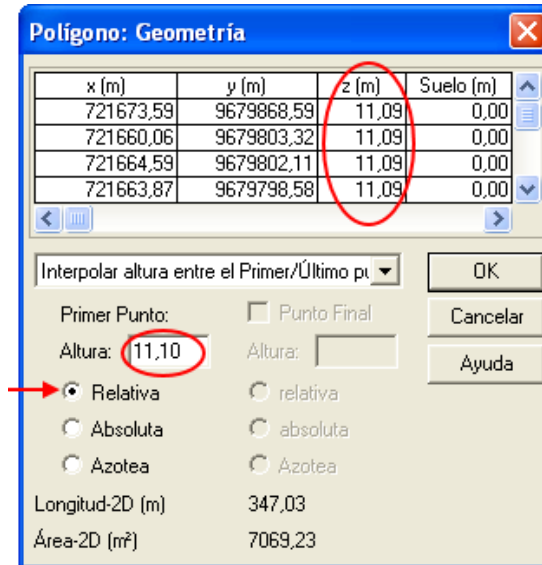


Figura 2.17: Geometría de edificios.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Además, en este apartado se puede seleccionar el tipo de altura, en donde:


- **Relativa:** Es la altura en metros (m), sobre el nivel del suelo.
- **Absoluta:** Es la altura por encima de un plano de referencia, por lo general en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- **Azotea:** Esta opción permite introducir directamente la altura por encima del techo de un edificio con el fin de facilitar la especificación de la altura para fuentes de sonido externas sobre el techo del edificio.

Para los demás apartados de la Figura 2.15, se consideran los valores predeterminados.

Luego se debe configurar las vías, para lo cual, de la misma manera que con los edificios, se debe ingresar al cuadro de diálogo dando doble clic sobre éstas e ingresar los datos según se explica en el siguiente punto.

### 2.4.6. Configuración de carretera (NMPB)

Figura 2.18: Pestaña “Configuración de carretera”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Para el ancho de vía “STE/Dist (m)” cuando se hace clic en el icono de la tarjeta índice “”, se muestran tres opciones, las cuales se describen a continuación:

- **Distancia de las líneas centrales de los carriles exteriores:** El ancho de la vía representado en la pantalla corresponde al ancho ingresado. Los bordes de la vía son las líneas centrales de los carriles exteriores. Esta opción se escoge para ingresar el ancho de la vía, considerando que la distancia que se ingresa es la distancia entre las fuentes sonoras, es decir por donde circula el vehículo, siendo ésta de 2,75 metros.
- **Anchura de arcén a arcén:** El ancho de vía ingresado no corresponde al representado en la pantalla, debido a una distancia predeterminada de 1,75 metros desde los carriles exteriores hacia la acera. Esta opción se utiliza únicamente para carreteras y no para vías locales.
- **Sección transversal según RAS-Q-82+96:** En esta opción hay una lista desplegable para seleccionar una sección estandarizada para las vías de acuerdo a normas alemanas.

En cuanto al límite de velocidad, se ingresa una velocidad de 30 Km/h que es la máxima permitida en la zona de estudio, sin diferenciar la velocidad para vehículos pesados.

Para el apartado de “**Emisión LmE, dB(A)**”, hay tres opciones para ingresar el aforo vehicular, las cuales son:

- **Conteo IMD:** Es el promedio diario de densidad de vehículos en 24 horas que pasan por un tramo de la vía, como promedio durante todos los días del año. Al seleccionar esta opción se debe seleccionar adicionalmente el “**Tipo Carretera**” que determina el porcentaje de vehículos pesados mediante una lista desplegable con cuatro tipos de vía que son: autopista, carretera principal, carretera comarca y vía local. Esta opción se utiliza para obtener los mapas de ruido con el parámetro global “ $L_{dn}$ ”.
- **Datos Exactos de Conteo:** Se puede ingresar la densidad de tráfico horario Q (vehículos/hora) para el día, tarde y noche con el respectivo porcentaje de pesados para cada horario. Esta opción se utiliza para obtener los mapas por hora en base a las horas en las que se realizó la medición de ruido in situ y así poder comparar los resultados obtenidos con las mediciones del sonómetro.
- **Emisión Law’dB(A):** Se debe ingresar los datos levantados con el sonómetro para cada tramo horario en el que se realizó la medición. Los mapas obtenidos con esta configuración serán comparados con los mapas obtenidos de la configuración anterior.

En la opción de “**Superficie de Carretera**”, mediante una lista desplegable se muestran los tipos de superficie, en donde se selecciona la opción “**Empedrado (población)**” siendo esta la superficie de la vía de este estudio.

El apartado “**Flujo de**” es un parámetro complementario al de la velocidad. Según el Diario Oficial de la Union Europea, se debe elegir entre las siguientes opciones:

- **Tráfico fluido:** El flujo es estable en tiempo y espacio, en períodos de 10 minutos. Este tipo de flujo se aplica en autopistas, autovías, carreteras interurbanas y vías rápidas urbanas.
- **Tráfico Intermitente:** Flujo de vehículos en transición, es decir tienen variaciones bruscas del flujo en períodos de tiempo cortos. Este tipo de flujo se aplica para calles de centros urbanos, vías importantes próximas a saturación, vías con numerosas intersecciones, etc.  
Esta opción es la que se escoge para este trabajo, debido a que la vía es urbana.
- **Aceleración:** Es un flujo en pulsos, es decir que una proporción significativa de vehículos está acelerando. Este tipo de flujo se observa en vías rápidas después de una intersección o al salir de peajes.
- **Desaceleración:** Es el flujo contrario al anterior, una proporción importante de vehículos está desacelerando. Este tipo de flujo se observa en grandes intersecciones urbanas, en salidas de autopistas y en vías rápidas en aproximaciones a peajes (Diario Oficial de la Union Europea, 2003).

En la pendiente de carretera se ingresa el valor obtenido del perfil vertical de las vías facilitado por el GAD Municipal de Cuenca.

Al hacer clic en “**Geometría**” aparece un cuadro de diálogo como se muestra en la Figura 2.19, que se configura igual que el de los edificios, mencionado anteriormente, con los valores predeterminados.



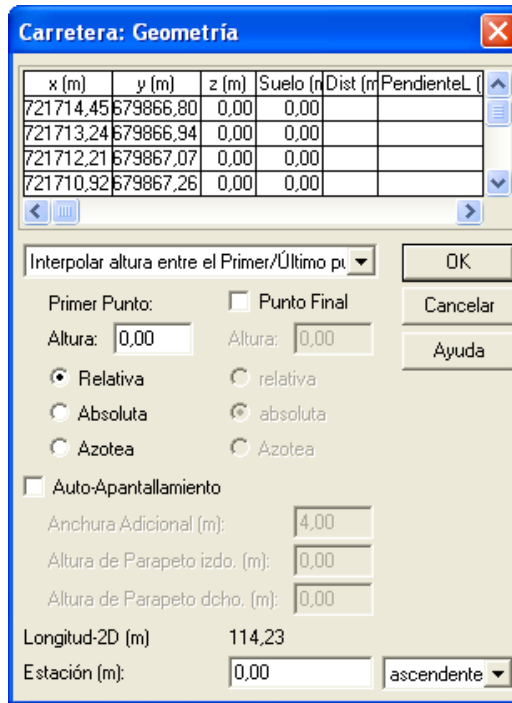


Figura 2.19: Geometría de carretera.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

A continuación se debe realizar la configuración en el cuadro de dialogo de los receptores, al cual se ingresa dando doble clic sobre éstos, en donde se realizan las modificaciones indicadas en el siguiente punto.

### 2.4.7. Configuración de receptores

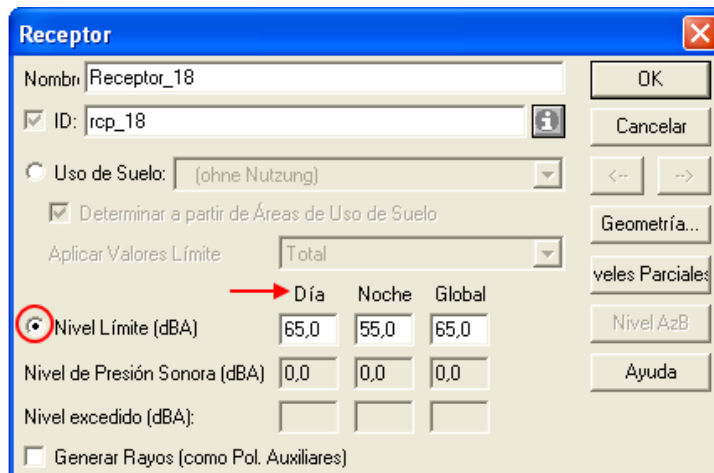


Figura 2.20: Pestaña “Configuración de receptores”.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Hay dos opciones para configurar el receptor, como se menciona a continuación:

- **Uso del suelo:** Se especifica un nivel de limitación o nivel estándar en el receptor, mediante opciones de una lista desplegable de acuerdo a normas alemanas de usos del suelo. Al seleccionar esta opción se habilita la casilla “**Determinar a partir de Áreas de Uso de Suelo**”, que al activarla, los niveles de limitación resultan del tipo de suelo y el tipo de ruido seleccionado.
- **Nivel límite (dBA):** Aquí se pueden ingresar los valores límite para cada período del día.

En esta configuración se utiliza la opción “Nivel Límite (dBA)”, para ingresar los valores establecidos en el TULSMA para el día, noche y global.

Al hacer clic en “**Geometría**” aparece un cuadro de diálogo como se muestra en la Figura 2.21, en el que se ingresa una altura de 1,20 metros con la opción “**Relativa**”. El resto de valores serán los predeterminados.

Figura 2.21: Geometría de receptores.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Adicionalmente se debe generar una etiqueta para cada receptor, como se ve en la Figura 2.22, la cual se debe configurar con los atributos LP1 a LP4 (alias), como se mencionó en la pestaña de “**Períodos de referencia 2**”, dependiendo del parámetro de evaluación que se desea observar.

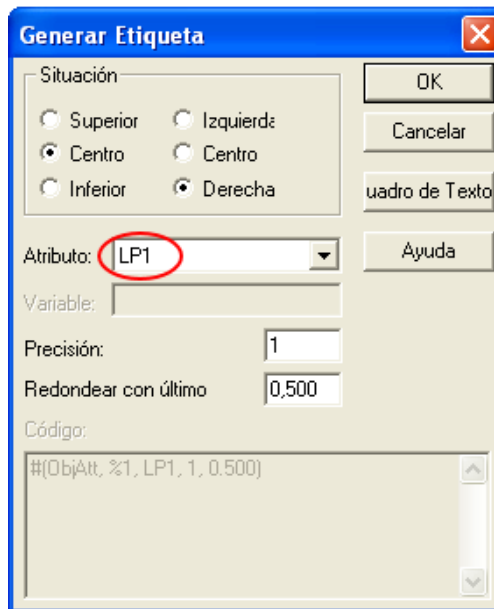


Figura 2.22: Generación de etiqueta para receptores.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Luego, se debe configurar la “malla de receptores”, para lo cual se debe ingresar en la opción “Red” ubicada en la barra de menú y seleccionar los parámetros a modificar, como se indica a continuación.

## 2.4.8. Configuración de malla de receptores

### 2.4.8.1. Propiedades

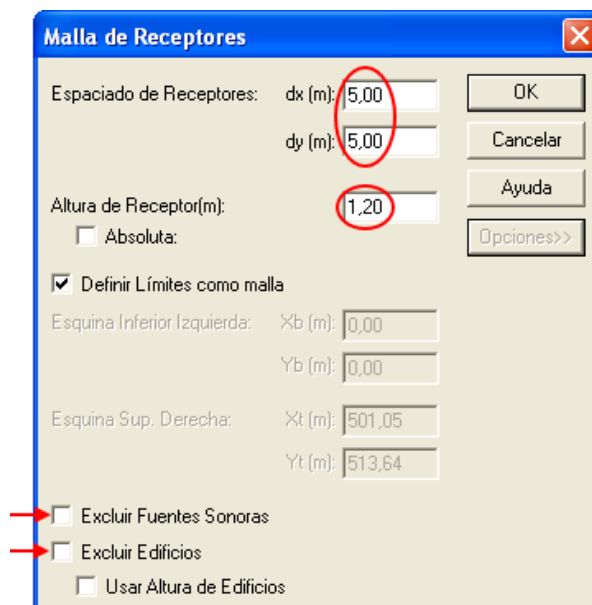


Figura 2.23: Propiedades de malla de receptores.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

En “**espaciado de receptores**” se puede definir el espaciado de la malla de receptores de interpolación. Mientras la malla es más fina, da lugar a una mayor densidad de puntos receptores de interpolación, por lo que se necesita mayor tiempo de cálculo. En este caso, el espaciado que se utiliza es de 5x5 ya que el área de estudio no tiene gran extensión, mientras que para realizar el cálculo en proyectos que abarcan grandes áreas, se recomienda utilizar un espaciado de 10x10, para minimizar el tiempo de cálculo requerido.

En “**altura de receptor**” se debe ingresar la altura de la malla. En este caso se ingresa una altura de 1,2 metros para efectos de comparación con los datos obtenidos en campo, mientras que para calcular un mapa según el Diario Oficial de las Comunidades Europeas, se debe utilizar una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002).

Además se desmarcan las casillas de “**excluir fuentes sonoras y edificios**”, ya que se va a tomar en cuenta los mismos para el cálculo.

#### 2.4.8.2. Apariencia

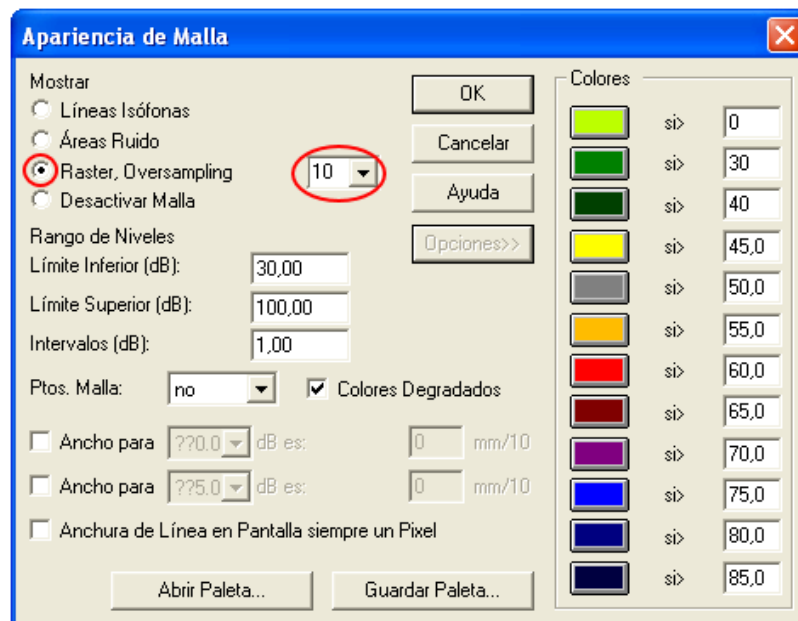


Figura 2.24: Apariencia de malla.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Las modificaciones realizadas en este apartado alteran únicamente la manera en la que se visualiza el mapa de ruido, más no los valores obtenidos en el mismo. En este caso, el mapa se muestra con la opción **“Raster, Oversampling”**, que es una forma de presentar el mapa de ruido, como se observa en la Figura 2.25. Además se selecciona el número 10 en la lista desplegable para mejor nitidez de la imagen. Por otra parte se carga una paleta de colores definida por los autores para representar los resultados.

La opción **“Raster, Oversampling”** lo que hace es que el raster suavice los bordes entre las superficies de color individuales. Esto es sin embargo una interpolación entre los puntos calculados y por lo tanto puede conducir a una desviación entre puntos fijos y los valores de nivel indicado por el mapa de color (Datakustik GmbH, n.d.).

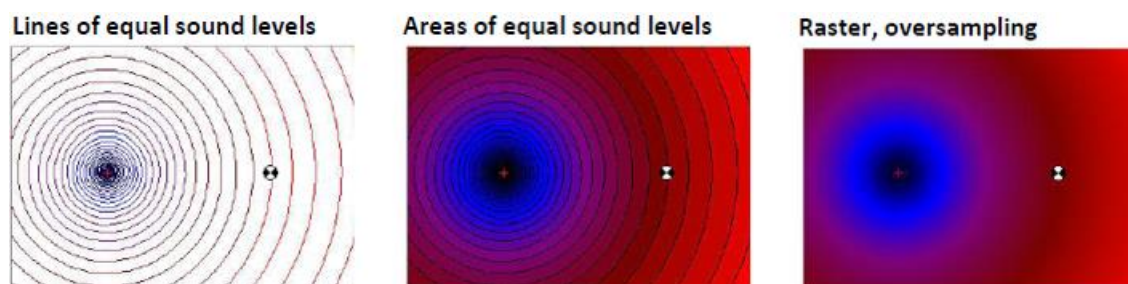


Figura 2.25: Apariencia de malla. Modos visualización disponible (Datakustik GmbH, n.d.).

Finalmente, luego de importar todos los archivos necesarios y realizar las configuraciones de manera correspondiente, se puede proceder a realizar los cálculos, en primer lugar, dando clic sobre el ícono **“cálculos”** ubicado en la barra de iconos, para que se muestren los valores en las etiquetas de los receptores georreferenciados, y luego dando clic en **“calcular malla”** dentro de la pestaña **“red”** como se muestra en la Figura 2.26.

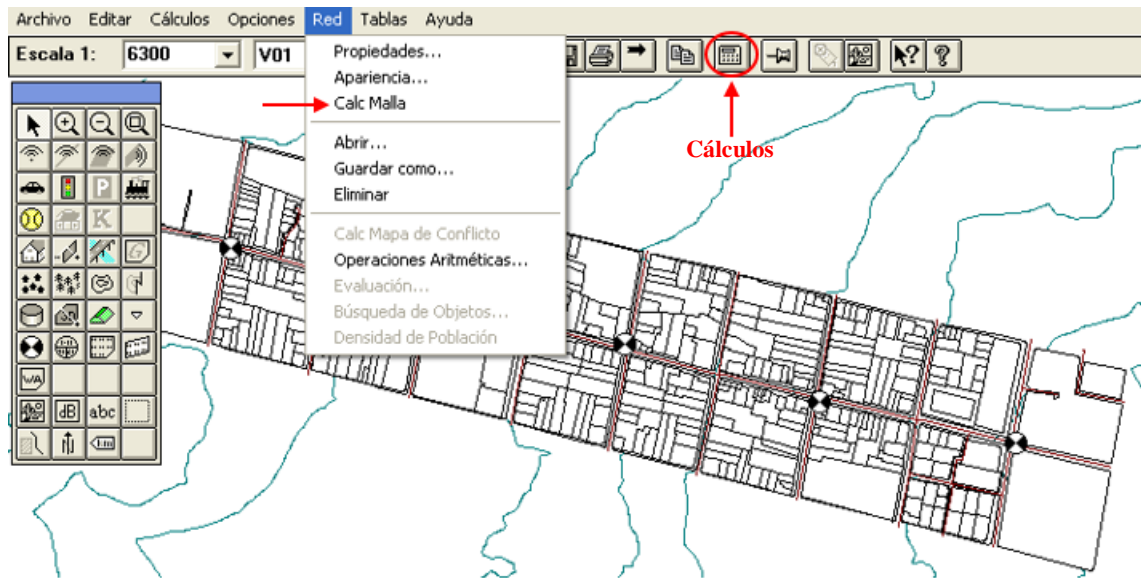


Figura 2.26: Iniciar cálculo en receptores georreferenciados y malla raster.  
Fuente: DataKustik GmbH. (2005).

Adicionalmente, el software ofrece dos funciones importantes, las cuales son:

- Evaluación de edificios: Con esta opción se puede generar una distribución de receptores en las fachadas de los edificios, dichos receptores pueden emplearse para generar un mapa global de ruido en los mismos, así como ejecutar evaluaciones de población expuesta.
- Cálculo de mallas verticales: Estas mallas pueden definirse en cualquier lugar del proyecto y son adecuados para observar el comportamiento del ruido de manera vertical sobre los edificios, o para documentar la eficacia de una barrera de ruido.

Estas funciones no se utilizaron en este proyecto debido a que no es objetivo fundamental de esta tesis realizar dichas acciones, pero son herramientas muy importantes las cuales se deberían aplicar en proyectos futuros.

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

Tomando en cuenta que los datos obtenidos mediante el sonómetro en la zona de estudio corresponden a los horarios de 07h00, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h00, se procedió a realizar los mapas de ruido utilizando tres métodos: “IMD”, “Datos Exactos de Conteo” y “Registros del Sonómetro”. Además en cada caso se analizaron los diferentes tipos de absorción de ruido de las fachadas, que se nombran: sin reflexión, absorción alta, absorción baja y absorción real.

Se han elaborado tablas y cuadros en los que se presentan los niveles de presión sonora equivalente ( $NPS_{eq}$ ) para cada una de las configuraciones, así también se muestra la diferencia que existe entre los  $NPS_{eq}$ , con los datos obtenidos mediante el sonómetro en la zona de estudio. Dichos datos se presentan en la Tabla 3.1, los cuales sirven para realizar la comparación con cada uno de los métodos utilizados para generar los mapas de ruido.

Tabla 3.1: Mediciones del sonómetro.

Mediciones del Sonómetro (dBA)				
R-17	R-18	R-19	R-20	R-21
75,6	73	74,4	75,6	69,4

Fuente: IERSE, 2015.

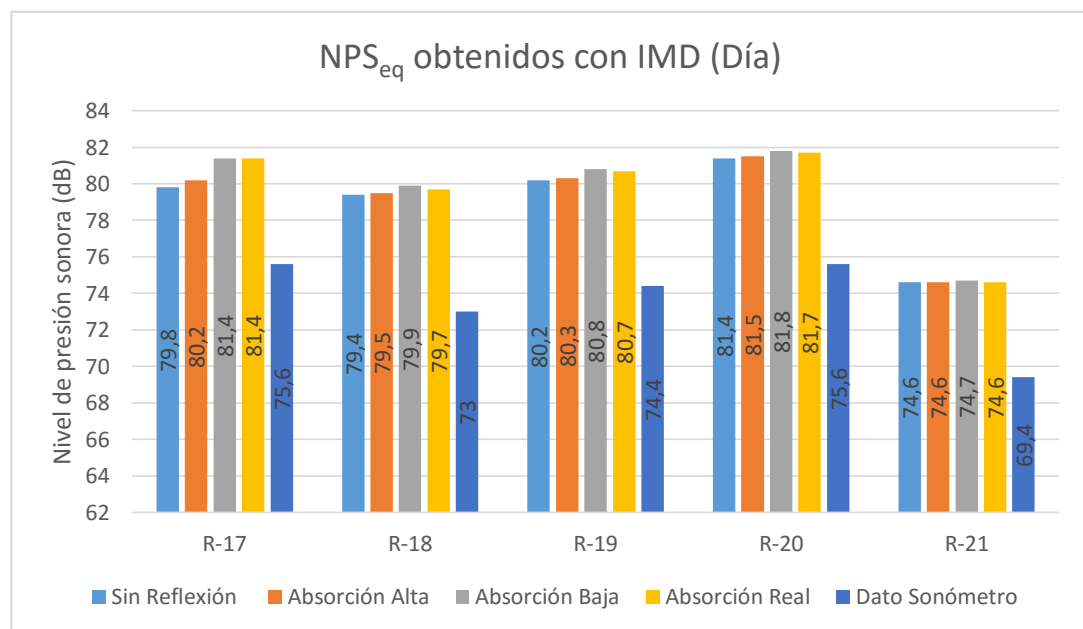
En un primer caso se utilizó el método IMD, para lo cual se definieron los parámetros de evaluación para determinar los  $NPS_{eq}$ ; en el día ( $L_d$ ), noche ( $L_n$ ) y global ( $L_{dn}$ ). De esta manera se obtuvieron resultados para el día (06h00 - 20h00); la noche (20h00 - 06h00) y un resultado global que abarca las 24 horas del día, de acuerdo a los intervalos establecidos por el TULSMA, antes de la actualización del mes de Noviembre del año 2015, el cual define los períodos que deben ser monitoreados.

Para el caso de IMD en el día se obtuvieron los  $NPS_{eq}$  que se muestran en la Tabla 3.2, en donde se puede observar que la configuración de las fachadas con la opción sin reflexión es la que presenta los  $NPS_{eq}$  más bajos, además, al obtener la diferencia de éstos con respecto a los valores de la Tabla 3.1, claramente se observa que son los  $NPS_{eq}$  más cercanos a las mediciones del sonómetro. En el Figura 3.1, se puede apreciar a través de barras, la diferencia de niveles entre todas las configuraciones simuladas y los datos del sonómetro.

Tabla 3.2: Resultados de los mapas generados con el IMD para el día.

IMD (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
DÍA	R-17	79,8	80,2	81,4	81,4
	R-18	79,4	79,5	79,9	79,7
	R-19	80,2	80,3	80,8	80,7
	R-20	81,4	81,5	81,8	81,7
	R-21	74,6	74,6	74,7	74,6

IMD (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
DÍA	R-17	<u>4,2</u>	4,6	5,8	5,8
	R-18	<u>6,4</u>	6,5	6,9	6,7
	R-19	<u>5,8</u>	5,9	6,4	6,3
	R-20	<u>5,8</u>	5,9	6,2	6,1
	R-21	<u>5,2</u>	<u>5,2</u>	5,3	<u>5,2</u>

Figura 3.1:  $NPS_{eq}$  obtenidos con IMD (Día).



En cuanto a los mapas con IMD para la noche no se realizó el análisis comparativo debido a que los  $NPS_{eq}$  del día y de la noche no son comparables por la diferencia de horario, mientras que para el caso de IMD global al ser de todo el día, si se realizó la comparación, dando los resultados que se muestran en la Tabla 3.3 y Figura 3.2, en donde se puede ver que se repite el mismo patrón de distribución de ruido que el caso anterior, siendo la configuración con fachadas sin reflexión la que presenta los  $NPS_{eq}$  más bajos. Según dichos resultados en el receptor R-21 existe una mínima variación en los valores, lo cual se debe a que al ser el último punto del mapa no tiene otra referencia para interpolar los niveles, presentando así solo la propagación lineal del ruido.

Tabla 3.3: Resultados de los mapas generados con el IMD Global.

IMD (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
GLOBAL	R-17	79,5	79,9	81,1	81,0
	R-18	79,1	79,2	79,6	79,4
	R-19	79,9	80,1	80,5	80,5
	R-20	81,1	81,2	81,6	81,4
	R-21	74,4	74,4	74,4	74,4
IMD (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
GLOBAL	R-17	<u>3,9</u>	4,3	5,5	5,4
	R-18	<u>6,1</u>	6,2	6,6	6,4
	R-19	<u>5,5</u>	5,7	6,1	6,1
	R-20	<u>5,5</u>	5,6	6,0	5,8
	R-21	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>

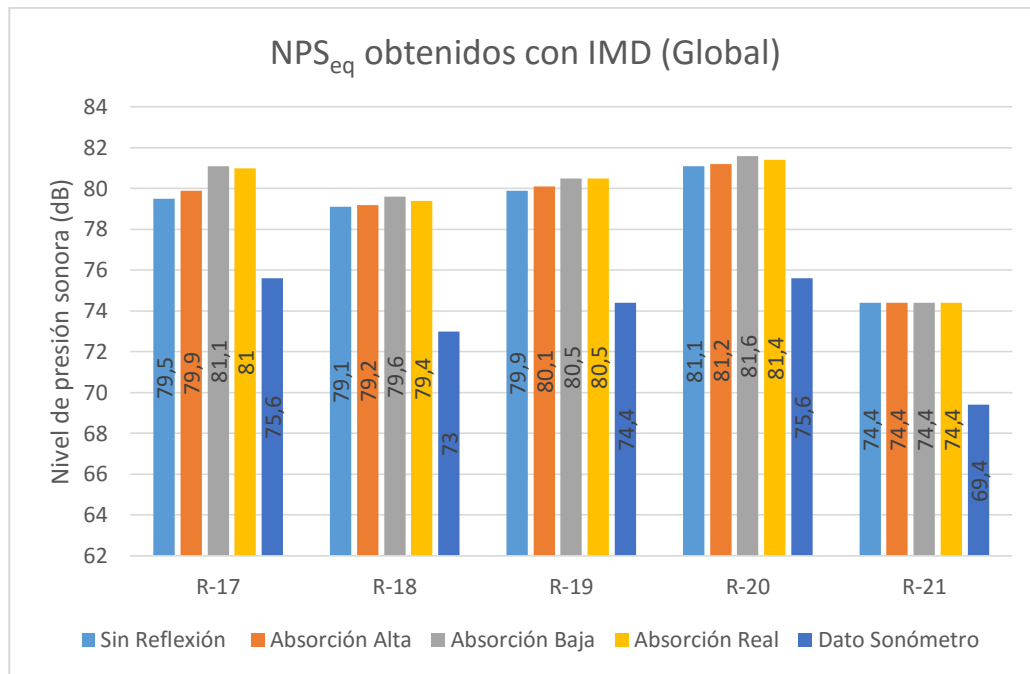


Figura 3.2: NPS<sub>eq</sub> obtenidos con IMD (Global).

El segundo método que se utilizó fue a través de “Datos Exactos de Conteo”. Para efectos de comparación se ha seleccionado el horario de las 07h00, puesto que según la matriz de datos generada, éste es el horario crítico, es decir que es el horario que mayor número de vehículos registra, como se puede observar en la matriz general Anexo 7. Para este caso se ingresó el número de vehículos con el respectivo porcentaje de pesados para cada tramo de vía.

En la Tabla 3.4 y Figura 3.3 se muestra que al igual que en los casos anteriores los NPS<sub>eq</sub> obtenidos con el método sin reflexión, son los más equiparables con los datos obtenidos con el sonómetro, pero esta vez las diferencias respecto a las mediciones del sonómetro son menores que en los métodos anteriores, siendo esta opción la que más se ajusta a la realidad de la zona de estudio, puesto que tanto los datos medidos como los modelados se realizaron en el mismo horario.

Tabla 3.4: Resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo”.

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
07h00	R-17	78,9	79,3	80,5	80,4
	R-18	78,3	78,5	78,8	78,7
	R-19	78,2	78,3	78,7	78,7
	R-20	79,7	79,8	80,1	79,9
	R-21	70,2	70,3	70,4	70,3

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
07h00	R-17	<u>3,3</u>	3,7	4,9	4,8
	R-18	<u>5,3</u>	5,5	5,8	5,7
	R-19	<u>3,8</u>	3,9	4,3	4,3
	R-20	<u>4,1</u>	4,2	4,5	4,3
	R-21	<u>0,8</u>	0,9	1	0,9

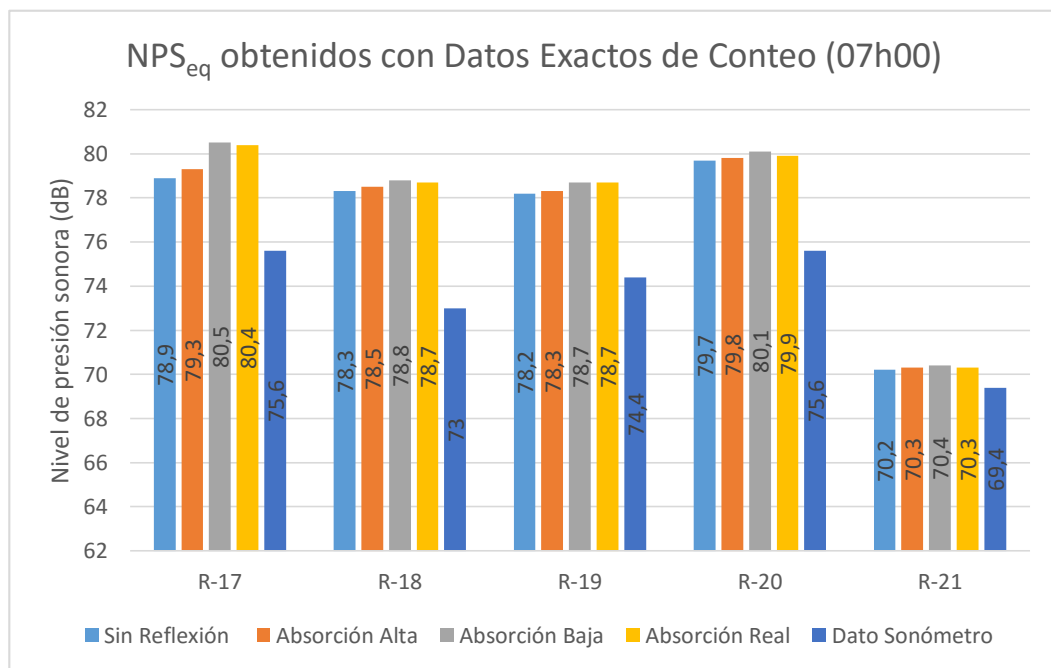


Figura 3.3: NPS<sub>eq</sub> obtenidos con “Datos Exactos de Conteo” (07h00).

El tercer método de modelación que se utilizó es el realizado a través de los “Registros del Sonómetro”, para lo cual se ingresaron las mediciones registradas por el sonómetro a las 07h00, en cada tramo de vía. Este método presentó los NPS<sub>eq</sub> más bajos, como se muestra en la Tabla 3.5 y Figura 3.4, esto es debido a que los datos ingresados (capturados por el sonómetro en campo) representan una fuente puntual de ruido, mientras que en la modelación la fuente utilizada es la vía, la cual es una fuente lineal de ruido que además tiene un comportamiento de propagación lineal.

Este método es el único que presenta los  $NPS_{eq}$  más bajos que los valores de la Tabla 3.1, por lo que en este caso, la configuración de las fachadas con absorción baja, es la que más se aproxima a los datos obtenidos mediante el sonómetro, siendo este comportamiento el esperado, ya que al tener niveles inferiores a los medidos, se requiere que las fachadas absorban la menor cantidad de ruido posible.

Tabla 3.5: Resultados de los mapas generados con los “Registros del Sonómetro”.

REGISTROS DEL SONÓMETRO (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
07h00	R-17	66,6	67,1	68,2	68,2
	R-18	62,6	62,8	63,1	63
	R-19	64,4	64,6	65	64,9
	R-20	66,1	66,2	66,5	66,4
	R-21	53,2	53,3	53,5	53,4

REGISTROS DEL SONÓMETRO (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción Alta	Absorción Baja	Absorción Real
07h00	R-17	-9	-8,5	<u>-7,4</u>	<u>-7,4</u>
	R-18	-10,4	-10,2	<u>-9,9</u>	-10
	R-19	-10	-9,8	<u>-9,4</u>	-9,5
	R-20	-9,5	-9,4	<u>-9,1</u>	-9,2
	R-21	-16,2	-16,1	<u>-15,9</u>	-16

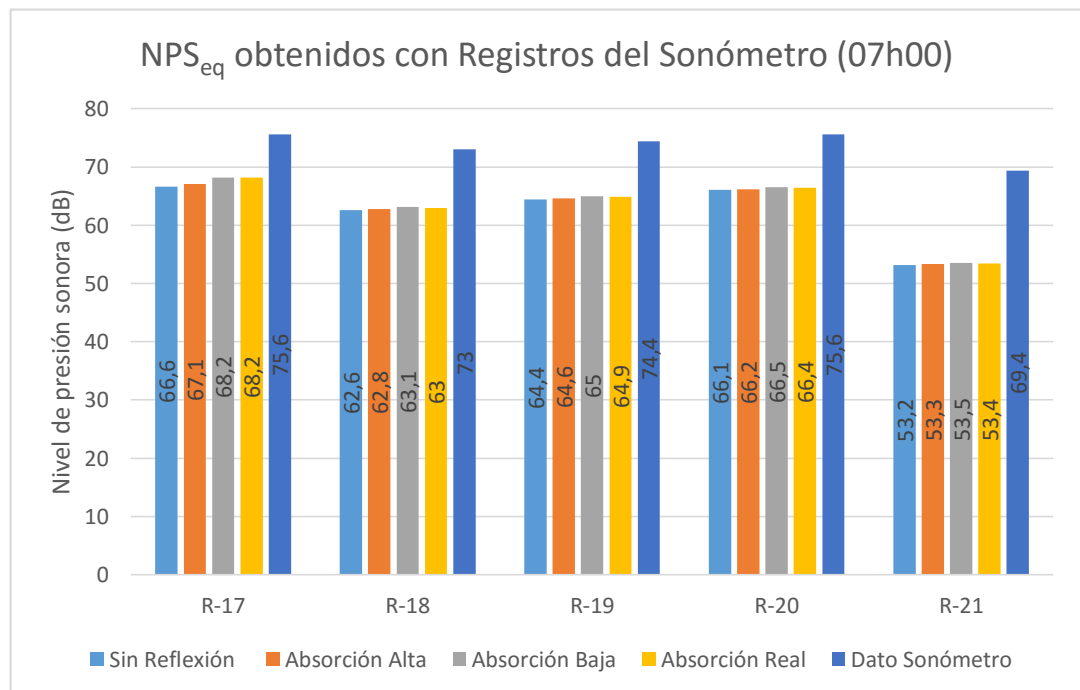


Figura 3.4:  $NPS_{eq}$  obtenidos con “Registros del Sonómetro” (07h00).

En el Figura 3.5 se muestra la comparación entre la mejor configuración de cada método, con lo cual se determinó que la configuración que más se ajusta a los datos del sonómetro medidos en campo, es el que corresponde al método de “Datos Exactos de Conteo” con las fachadas sin reflexión.

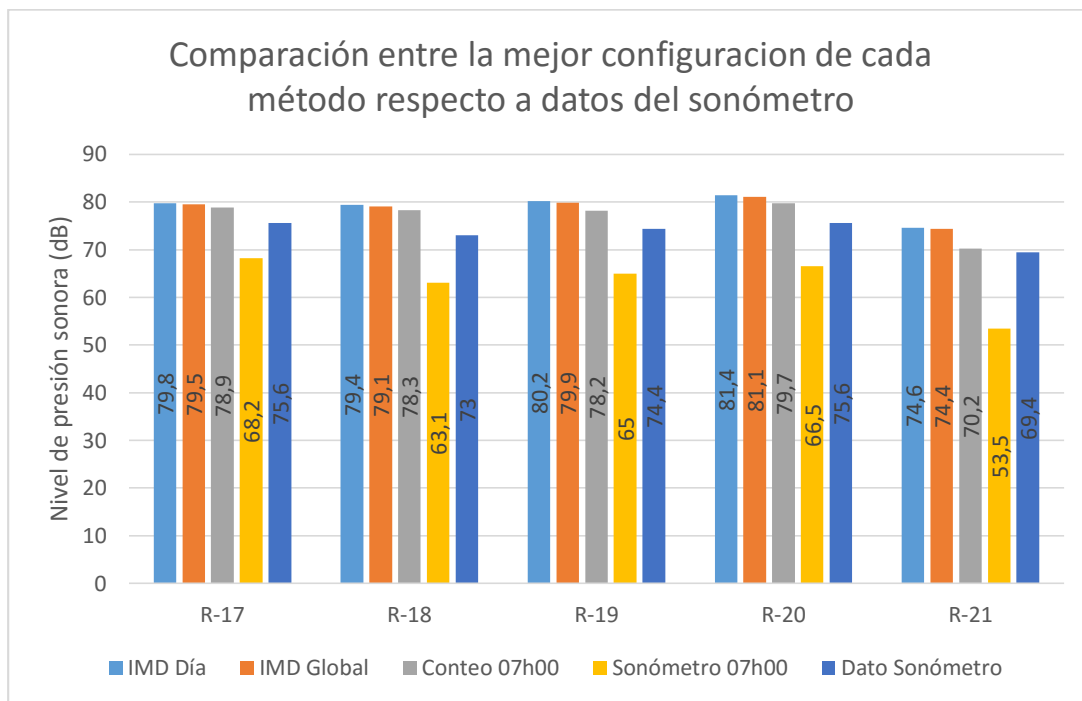


Figura 3.5: Comparación entre la mejor configuración de cada método.

A continuación se muestran los mapas de ruido utilizados para realizar su respectiva comparación, con el fin de contrastar cual es el modelo que mejor se ajustó a las mediciones del sonómetro. Mientras que la totalidad de los mapas realizados en este estudio, se pueden observar en los Anexos 13 y 14, en mayor escala, con los respectivos datos ingresados y los resultados obtenidos para cada una de las modelaciones.

En la Figura 3.6, se puede apreciar los mapas de IMD que representan la modelación del ruido en el día, en donde se observa que el patrón de distribución de ruido cambia según el tipo de absorción que tengan las fachadas.

El mapa que presenta los más altos niveles de presión sonora equivalente es el de fachadas con absorción baja y muy similar a éste el de absorción real; por otro lado el

que presenta los niveles más bajos es el de fachadas sin reflexión, teniendo también cierta similitud con el de fachadas con absorción alta.

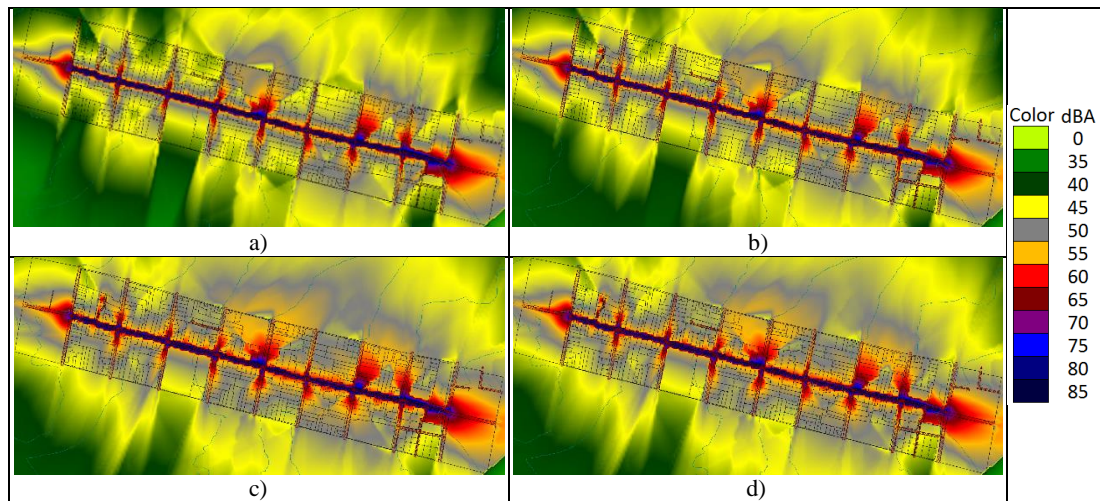


Figura 3.6: Mapas con el método de IMD para el día: a) Sin reflexión; b) Absorción alta; c) Absorción baja; d) Absorción real.

En la Figura 3.7 se muestran los mapas de IMD que representan la modelación del ruido en la noche. Claramente se puede observar que los  $NPS_{eq}$  son mucho más bajos que en del día pero tiene el mismo patrón de distribución de ruido respecto al mapa anterior, esto se debe a que tienen la misma topología, lo único que varía es el flujo vehicular, el cual disminuye drásticamente en el período nocturno.

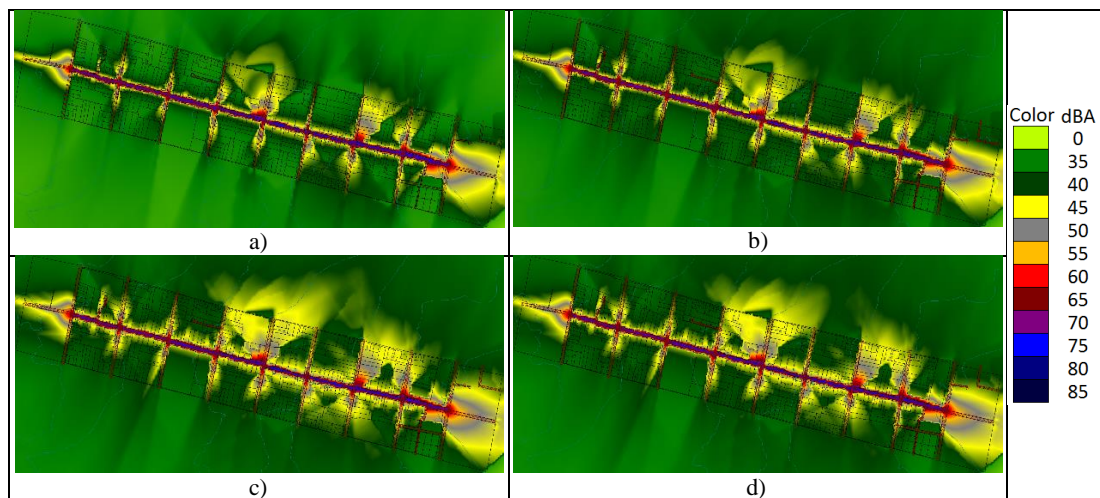


Figura 3.7: Mapas con el método de IMD para la noche: a) Sin reflexión; b) Absorción alta; c) Absorción baja; d) Absorción real.



Los mapas de IMD Global, se indican en la Figura 3.8. En éstos se puede observar que los  $NPS_{eq}$  son inferiores a los de la Figura 3.6. Este comportamiento es el esperado, debido a que este mapa representa la proyección del día y la noche y al ser tan inferiores los niveles nocturnos, disminuyen los niveles globales.

Modelando los mapas de acuerdo al método de IMD para el día y la noche, la configuración de fachadas sin reflexión presenta los  $NPS_{eq}$  más bajos, mientras que la configuración de fachadas con absorción baja, los niveles más altos.

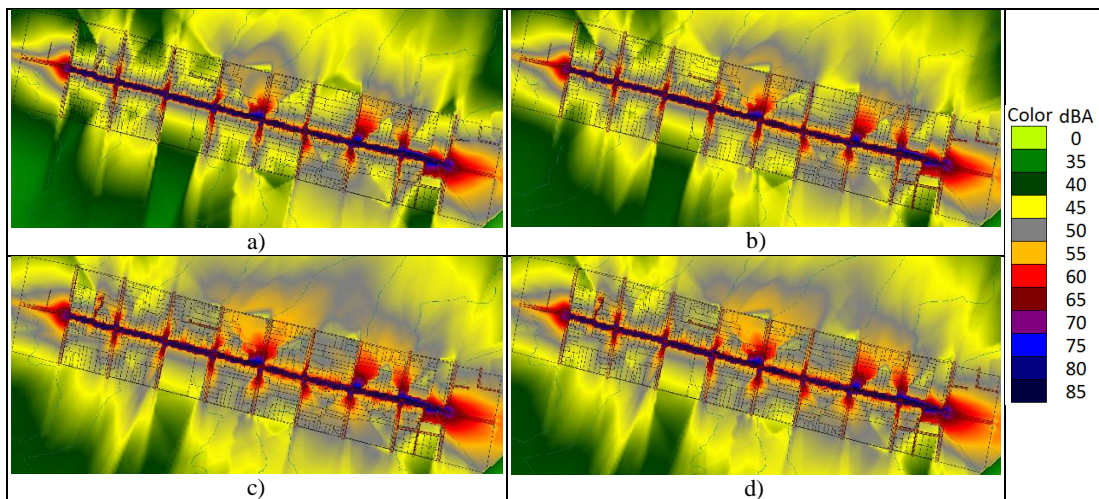


Figura 3.8: Mapas con el método de IMD global: a) Sin reflexión; b) Absorción alta; c) Absorción baja; d) Absorción real.

Modelando los mapas utilizando los Datos de Exactos de Conteo, se puede observar en la Figura 3.9 que tienen el mismo comportamiento respecto a los mapas de IMD, es decir que la opción de fachadas sin reflexión presenta los  $NPS_{eq}$  más bajos y la opción de con fachadas con absorción baja, los  $NPS_{eq}$  más altos.

Se puede apreciar que estos mapas registran niveles inferiores a los mapas de IMD, debido a que estos representan una sola hora y los otros representan todo el día.

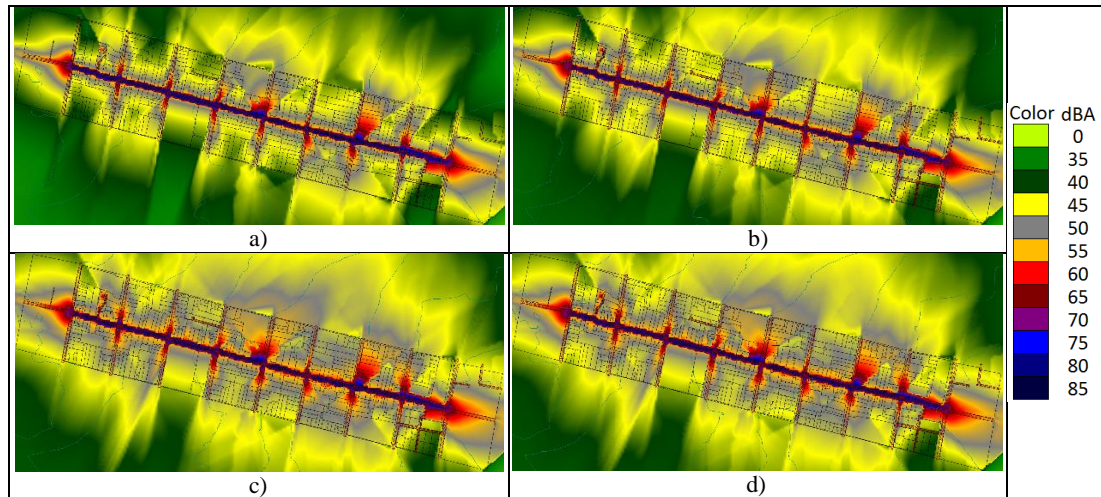


Figura 3.9: Mapas con el método de “Datos Exactos de Conteo” (07h00): a) Sin reflexión; b) Absorción alta; c) Absorción baja; d) Absorción real.

En la Figura 3.10 se muestran los mapas generados a través de los “Registros del Sonómetro”, los cuales presentan los  $NPS_{eq}$  más bajos debido al tipo de fuente emisora. Este método tiene el mismo patrón de distribución de ruido que los métodos anteriores, pero con una intensidad mucho menor.

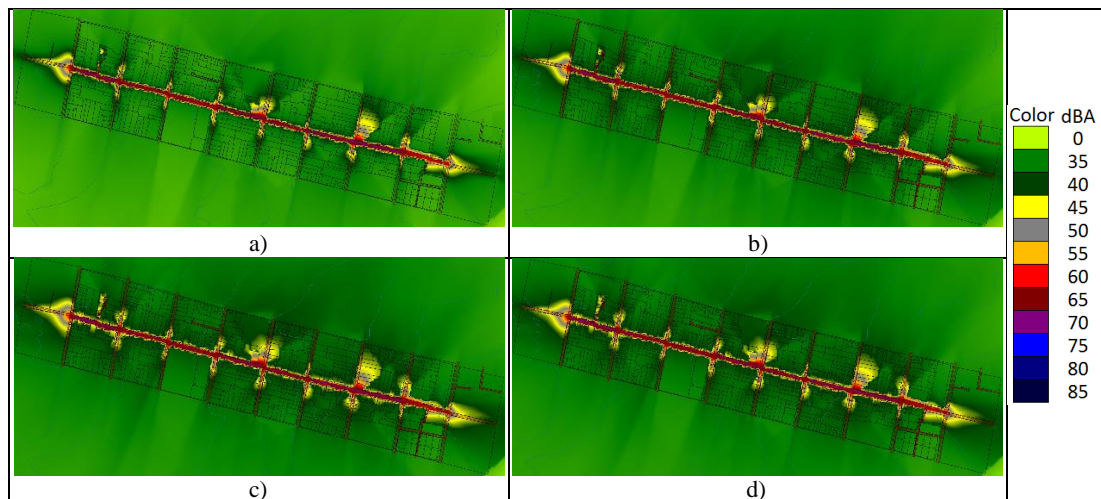


Figura 3.10: Mapas con el método de “Registros del Sonómetro” (07h00): a) Sin reflexión; b) Absorción alta; c) Absorción baja; d) Absorción real.

El estudio determinó que el método de “Datos Exactos de Conteo” con la opción de fachadas sin reflexión, es el que mejor se ajusta a los datos obtenidos mediante el sonómetro en campo, esto se debe a que tanto las mediciones del sonómetro en campo como los datos de conteo vehicular fueron captados en el mismo período de tiempo, es decir, para las 07h00 horas. Además como las fachadas sin reflexión son las que tienen la absorción más alta posible, disminuyen los niveles de presión sonora equivalente y por ello son la mejor opción.



Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, en el trazado comprendido sobre la calle Mariscal Lamar entre las calles Mariano Cueva y Juan Montalvo, al aplicar el método de “Datos Exactos de Conteo” con fachadas sin reflexión, el mapa base obtenido es el que se puede apreciar en la Figura 3.9 (a) y Anexo 14a, en el cual la diferencia entre los valores obtenidos con el sonómetro y los valores proyectados es menor, como se puede ver en la Tabla 3.4; estableciendo así una línea base (Anexo 14) de información previo a la ruta del “Tranvía 4 Ríos de Cuenca”.

### 3.2. Discusión

De los mapas obtenidos se puede observar que los niveles de presión sonora equivalente ( $NPS_{eq}$ ) que registra el receptor R-21, son los que presentan menor variación entre sí, según el nivel de absorción de ruido que se asigne a las fachadas, ya que al ser el último punto en el área de estudio no tiene otra referencia para interpolar los niveles, realizando únicamente una propagación lineal del ruido; otra razón es que el área de estudio en ese punto tiene plazas a ambos lados de la vía y al no existir edificaciones no se puede realizar la diferenciación de los tipos de fachadas.

Por otro lado se puede observar que los mapas obtenidos mediante el método en el que se ingresan los “Registros del Sonómetro”, presentan  $NPS_{eq}$  mucho más bajos que en los otros dos métodos, esta disminución se debe a que los datos levantados con el sonómetro representan una fuente puntual y cuando se ingresan dichos datos en las vías de la zona de estudio, el software los considera como una fuente lineal, por lo que estos  $NPS_{eq}$  se propagan basándose en diferentes puntos del tramo de la vía. Además el modelo de propagación que se utiliza es lineal y lo que hace es disminuir los  $NPS_{eq}$  entre tiempo y distancia, es decir, mientras más cerca de la fuente se ubica un receptor, mayores serán los  $NPS_{eq}$ .

Al obtener los resultados utilizando el método de “Datos Exactos de Conteo”, se puede establecer una línea base de información previo al funcionamiento del “Tranvía 4 Ríos de Cuenca”, con el objetivo de, a futuro, realizar una comparación y determinar la diferencia entre los  $NPS_{eq}$ , estableciendo un escenario del antes y después, esto una vez que se encuentre en funcionamiento el nuevo sistema de transporte masivo, que si bien es cierto, está enfocado en mejorar la movilidad de la ciudad, también sería un

aspecto importante que se reduzcan dichos niveles sonoros. Por otro lado al haber demostrado que las tablas y mapas generados con la configuración idónea si representan la realidad de la zona de estudio, se podría replicar este modelo para toda la ruta del tranvía, e incluso extrapolar a toda la ciudad, con el fin de poder modelar el ruido y así proponer alternativas para mitigar en lo posible la contaminación acústica que proviene de los vehículos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- En función de la información obtenida y los mapas generados con los diferentes métodos y configuraciones, se concluye que el método que mejor se ajusta a los datos obtenidos a través del sonómetro en campo, es el método de “Datos Exactos de Conteo” con la configuración de las fachadas con la opción sin reflexión. Esto se debe a que la información que se ingresó en el método mencionado corresponde al número de vehículos por hora y su respectivo porcentaje de pesados para cada punto de monitoreo, lo cual permitió comparar de mejor manera los resultados obtenidos con los datos capturados a través del sonómetro.
- Las diferencias entre los  $NPS_{eq}$  de este método respecto a los datos del sonómetro en cada uno de los puntos de monitoreo son: R-17 = 3,3dBA; R-18 = 5,3dBA; R-19 = 3,8dBA; R-20 = 4,1dBA; y R-21 = 0,8dBA dando como resultado una variación de entre 3 y 5 dBA en relación con los datos tomados en campo, siendo esta diferencia un valor aceptable para que la modelación de ruido sea representativa. Se puede verificar que existe una variación de alrededor del 5% entre los datos simulados y los datos capturados por el sonómetro.
- Para consolidar y verificar los resultados obtenidos en esta tesis se ha realizado una comparación en otros dos horarios (10h00 y 13h00), para lo cual se obtuvo el promedio de las diferencias entre los resultados de las distintas configuraciones de cada mapa, respecto a las mediciones del sonómetro. De esta manera para los datos y los mapas de las 10h00, el menor valor obtenido fue de 5,4 dBA para la opción de fachadas sin reflexión, mientras que el mayor valor fue de 6,1 dBA para la opción de fachadas con absorción baja. Este patrón se repite para los datos y los mapas de las 13h00, en el cual el menor valor obtenido fue de 5,1 dBA para la opción de fachadas sin reflexión, mientras que el mayor valor fue de 5,7 dBA para la opción de fachadas con absorción baja. Las tablas y figuras de barras con esta información se pueden observar en los Anexos 15 y 16.

- Se estableció una línea base de información sobre el ruido vehicular para un tramo del proyecto “Tranvía 4 Ríos de Cuenca” previo a su implementación, para en el futuro comparar el efecto que se producirá en los  $NPS_{eq}$  de la ruta de este medio de transporte masivo. Se espera, de acuerdo a información publicitada por el GAD Municipal de Cuenca, que se produzca una importante reducción de la contaminación acústica generada por tráfico vehicular.
- Se estableció una guía detallada de la metodología para elaborar mapas de ruido en la ciudad de Cuenca, donde se menciona cuáles son los datos necesarios de aforo vehicular,  $NPS_{eq}$  e información que se requiere para edificios, carretera y receptores, y se indica la manera en la que se deben estructurar los datos cartográficos según los formatos requeridos por los programas ArcGIS y CadnaA. También se describe la configuración de cálculos, objetos y malla de receptores, la cual se debe realizar en el software CadnaA antes de modelar el ruido.
- Además se determinó que existe alta correlación entre los mapas generados en este estudio y las mediciones del sonómetro en campo, lo cual se debe a que el software CadnaA utiliza un algoritmo de interpolación basado en un modelo de dispersión y distribución lineal espacial entre los puntos vecinos, ajustando los datos producto de la proporción lineal existente entre los segmentos de cada vértice.

**Recomendaciones:**

- Realizar la modelación de ruido de toda la ciudad de Cuenca, para con base en los resultados obtenidos proponer alternativas para mitigar la contaminación acústica por tráfico vehicular.
- Realizar una comparación de los  $NPS_{eq}$  antes y cuando ya se encuentre en funcionamiento el “Tranvía 4 Ríos de Cuenca” en toda el área de influencia directa del tranvía, para determinar si este medio de transporte masivo ayuda a disminuir la contaminación acústica de la ciudad.
- Se recomienda adquirir una versión más actual del software CadnaA, con sus respectivas licencias para disponer de todas las opciones disponibles y los diferentes modelos de emisión de ruido por tráfico vehicular con el objetivo de investigar y determinar cuál es el modelo que mejor se ajusta a la realidad de la ciudad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Cuenca. (2015). Geovisor Municipal de la Ciudad de Cuenca. Retrieved December 20, 2015, from <http://digital.cuenca.gov.ec/geovisor/map/viewer.seam?param=11&mode=0>
- ALLPE Ingeniería y medio ambiente. (2012). *Estudio acústico del plan parcial de Ordenación de la Unidad de Ejecución U.E.-11 "PANRICO" según real decreto 1367/2007*. Madrid. Retrieved from [http://www.paracuellosdejarama.es/media/329108/Memoria\\_estudio\\_acustico.pdf](http://www.paracuellosdejarama.es/media/329108/Memoria_estudio_acustico.pdf)
- Amores Obando, J. (2010). *Elaboración de un mapa de ruido del Distrito Metropolitano de Quito - Zona Sur*. Universidad Internacional SEK. Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/385>
- Arana, M., Pérez, D., Nagore, I., & San Martín, R. (2009). Influencia del orden y profundidad de reflexión en la fiabilidad del mapeado acústico. *TecniAcústica*, 6. Retrieved from <http://www.idacustica.com/docs/200902.pdf>
- Arana, M., San Martín, R., Nagore, I., Pérez, D., & San Martín, M. (2008). *Noise map of Pamplona, Spain. Main results*. Pamplona. Retrieved from <http://www.idacustica.com/docs/200802.pdf>
- Ausejo Prieto, M. (2009). *Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from [http://oa.upm.es/2031/1/MIGUEL\\_AUSEJO\\_PRIETO\\_A.pdf](http://oa.upm.es/2031/1/MIGUEL_AUSEJO_PRIETO_A.pdf)
- Bañón Blázquez, L. (2000). *Manual de carreteras*. Alicante: Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A. Retrieved from [http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_carreteras/01020103.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_carreteras/01020103.pdf)
- Bastián, N. (2015). Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación. *Síntesis Tecnológica*, (Octubre 2015), 14. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/282914265\\_Elaboracion\\_de\\_mapa\\_de\\_ruido\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Valdivia\\_mediante\\_software\\_de\\_modelacion\\_utilizando\\_metodos\\_de\\_simplificacion](https://www.researchgate.net/publication/282914265_Elaboracion_de_mapa_de_ruido_de_la_ciudad_de_Valdivia_mediante_software_de_modelacion_utilizando_metodos_de_simplificacion)
- Casado García, M. E. (n.d.). *Redes de ponderación acústica*. Escuela de Ingenierías, León. Retrieved from <http://mecg.es/archivos/Redes de ponderaci%C3%B3n ac%C3%B3stica.pdf>
- Datakustik. (2005). Manual CadnaA Versión 3.5. Greifenberg. Retrieved from [http://dydaktyka.polsl.pl/ROZ5/mdabrowski/Dokumenty/CadnaA Demo/CadnaA\\_ManualV3\\_5.pdf](http://dydaktyka.polsl.pl/ROZ5/mdabrowski/Dokumenty/CadnaA Demo/CadnaA_ManualV3_5.pdf)
- Datakustik. (2015). CadnaA State-of-the-art noise prediction software. Retrieved from [http://www.datakustik.com/fileadmin/user\\_upload/PDF/CadnaA\\_Especificacion es\\_Tecnicas.pdf](http://www.datakustik.com/fileadmin/user_upload/PDF/CadnaA_Especificacion es_Tecnicas.pdf)

- Datakustik GmbH. (n.d.). Preparation of Environmental Noise Models. Greifenberg. Retrieved from [http://www.noiseproject.gen.tr/uploads/files/Hands-On\\_Training\\_Manual.pdf](http://www.noiseproject.gen.tr/uploads/files/Hands-On_Training_Manual.pdf)
- dBA Ingeniería. (2008). *Levantamiento de Información de Entrada de Modelo de Predicción de Ruido y Aplicación en Caso Piloto*. Retrieved from [http://www.sinia.cl/1292/articles-52653\\_Fase\\_I\\_LevantamientoInformacion.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-52653_Fase_I_LevantamientoInformacion.pdf)
- Delgado del Valle, L. (2008). *Estudio e Implementación del Método Router para la Estimación de Emisiones Acústicas debidas al Tráfico Urbano*. Universidad de Sevilla. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11589/fichero/Proyecto+Fin+de+Carrera.pdf>
- Delgado, O., & Martínez, J. (2015). Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador , empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario. *Ciencias Espaciales*, 8. Retrieved from <http://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/2059/1854>
- Diario Oficial de la Union Europea. (2003). Recomendación de la Comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondi. *Ministerio de La Presidencia de España*. Retrieved from <https://www.boe.es/doue/2003/212/L00049-00064.pdf>
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (2002). Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. *Ministerio de La Presidencia de España*, 25. Retrieved from <https://www.boe.es/doue/2002/189/L00012-00025.pdf>
- Díaz, M. T. (2010). *Manual para la formación en prevención de riesgos laborales*. (LEX NOVA, Ed.). Valladolid.
- Environmental Protection Agency. (2011). Guidance Note for Strategic Noise Mapping. Retrieved from [https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPA\\_Guidance\\_Note\\_for\\_Strategic\\_Noise\\_Mapping\\_\(version\\_2\).pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPA_Guidance_Note_for_Strategic_Noise_Mapping_(version_2).pdf)
- ESRI. (2015). ¿Qué es ArcGIS? | ArcGIS Resource Center. Retrieved January 11, 2016, from <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Fluke. (2015). Medidor láser de distancia Fluke 414D. Retrieved October 26, 2015, from <http://www.fluke.com/fluke/eces/medidores-laser-de-distancia/fluke-414d.htm?pid=74281>
- FULECOL. (2011). *Actualización del mapa de ruido de la zona urbana del Municipio de Itagüí*. Medellín. Retrieved from [http://www.metropol.gov.co/Planeacion/DocumentosAreaPlanificada/Informe\\_final\\_Itag%C3%BC%C3%AD.pdf](http://www.metropol.gov.co/Planeacion/DocumentosAreaPlanificada/Informe_final_Itag%C3%BC%C3%AD.pdf)
- García Boscá, D. (2010). *Estudio acústico generado por el tráfico de la población de*



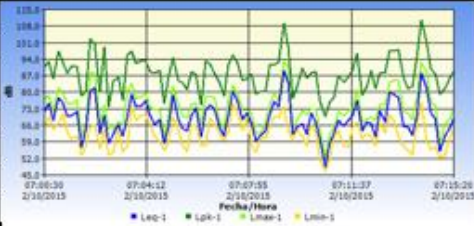

- L'olleria*. Universidad Politécnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11006/PFC.pdf?sequence=1>
- García, N. G. (2014). *Sistema de predicción de ruido urbano mediante redes neuronales*. Universidad de Granada. Retrieved from <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/35111/1/24184639.pdf>
- Happian-Smith, J. (2001). *Introduction to Modern Vehicle Design*. Oxford: Elsevier. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=EMwXaFoUp18C&pgis=1>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN-ISO 1996-1 (2014). Ecuador. Retrieved from [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/JSI/nte\\_inen\\_iso\\_1996\\_1extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_1996_1extracto.pdf)
- Lorente González, I. (2007). *Realización de mapa estratégico de ruido de las carreteras de la red del estado (A-3 Zona campus sur de la U.P.M)*. E.U.I.T. Telecomunicación. Retrieved from [http://oa.upm.es/22043/2/PFC\\_INMACULADA\\_LORENTE\\_GONZALEZ\\_b.pdf](http://oa.upm.es/22043/2/PFC_INMACULADA_LORENTE_GONZALEZ_b.pdf)
- Martínez Sandoval, A. (2005, June). Ruido por tráfico urbano: Conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. *Revista de Economía Y Administración*, 49. Retrieved from [http://www.uao.edu.co/sites/default/files/RUIDO\\_0.PDF](http://www.uao.edu.co/sites/default/files/RUIDO_0.PDF)
- Ministerio del Ambiente. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA), Pub. L. No. Libro VI anexo 5 (2015). Ecuador.
- Miraya, F. (1999). *Acústica y sistemas de sonido*. (Universidad Nacional de Rosario (UNR), Ed.). Rosario.
- Miraya, F. (2002). 5 de Junio , Día Mundial Del Medio Ambiente. In *Laboratorio de Acústica y Electroacústica*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario. Retrieved from <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/05-06-02.pdf>
- Municipalidad de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos*. Cuenca. Retrieved from [http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP\\_CentroHistorico.pdf](http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP_CentroHistorico.pdf)
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía OSMAN. (2009). *Ruido y Salud*. Junta de Andalucía. Sevilla. Retrieved from [http://www.osman.es/contenido/profesionales/ruido\\_salud\\_osman.pdf](http://www.osman.es/contenido/profesionales/ruido_salud_osman.pdf)
- Observatorio salud y medio ambiente. (2014). *Ruido y Salud en Barcelona*. DKV Seguros Médicos. Barcelona. Retrieved from [https://dkvseguros.com/almacen/Publicaciones-corporativas/Observatorio/observatorio\\_5\\_RuidoysaludBarcelona.pdf](https://dkvseguros.com/almacen/Publicaciones-corporativas/Observatorio/observatorio_5_RuidoysaludBarcelona.pdf)
- OECD. (1990). *Environmental Policies for Cities in the 1990s*. Retrieved from <http://www.oecd.org/>



- Organización Mundial de la Salud. (1999). Guías para el ruido urbano.
- Pinto, F., & Moreno, M. D. (2008). Mapa de ruido de barrios densamente poblados – Ejemplo de Copacabana , Río de Janeiro - Brasil. In *VI Congreso Iberoamericano de acústica* (pp. 1–10). Río de Janeiro. Retrieved from <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/BuenosAires08/a-016.pdf>
- Ramírez González, A., & Domínguez Calle, E. A. (2011, December). El ruido vehicular urbano: Problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 35(137), 509–530. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Rudno–Rudzińska, B., Malec, T., & Sawa, Ł. (2008). Influence of Meteorological Conditions on Effectiveness of Acoustic Screens – Measurements and Computations. *Archives of Acoustics*, 33(4(S)), 71–76.
- Ruza, F. (1992). El ruido producido por la circulación. *Revista RUTAS*, 16. Retrieved from [http://www.carreteros.org/planificacion/1992/1992\\_6.pdf](http://www.carreteros.org/planificacion/1992/1992_6.pdf)
- Samaniego, P. A. (2015). *Validación de técnicas de monitoreo para la estimación de contaminación acústica ambiental en la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4640/1/11125.pdf>
- Sanz Vila, C. (2012). *Técnicas para el estudio acústico en vehículos*. Universidad Politécnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18464/memoria.pdf?sequence=1>
- Suárez, E., & et al. (2011). *Elaboración de mapa de ruido del Gran Santiago mediante software de modelación*. Valdivia. Retrieved from [http://www.sinia.cl/1292/articles-52665\\_Fase\\_IVMapaRuidoStgoGeneral.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-52665_Fase_IVMapaRuidoStgoGeneral.pdf)
- Zuluaga Echeverry, C. (2009). *Un aporte a la gestión del ruido urbano en Colombia, caso de estudio: Municipio de Envigado*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/2027/1/32106032.2009.pdf>

ANEXOS

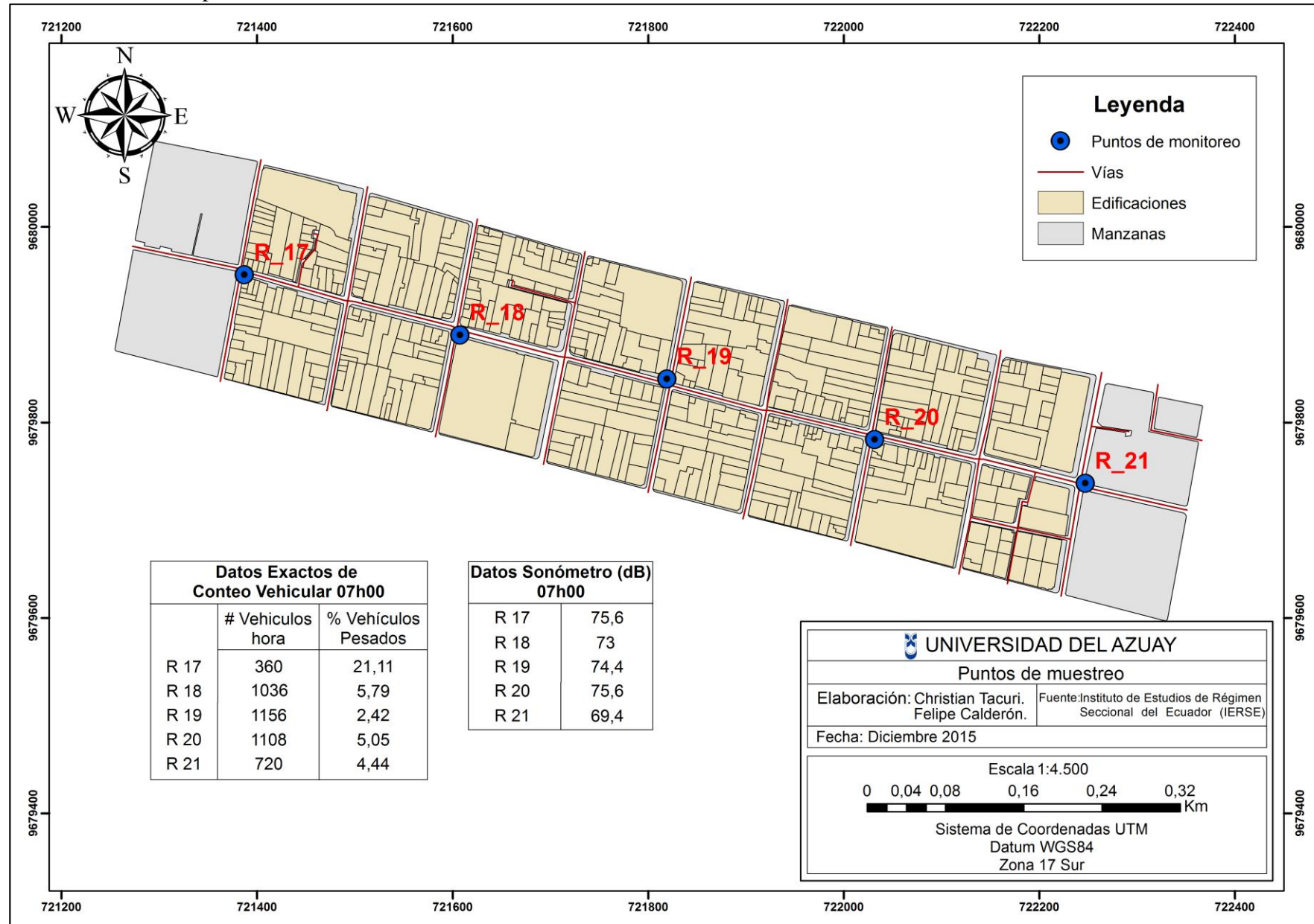
Anexo 1: Modelo de fichas de levantamiento de datos de ruido ambiente.

FICHA					
General					
Código	R_17	Sitio	El Sagrario	Año de monitoreo	2015
Ubicación					
<b>Dirección:</b>					
Calle principal:	Mariscal Lamar				
Calle secundaria:	Juan Montalvo				
<b>Sistema de Coordenada Geográficas:</b>					
Dátum:	WGS84				
Zona UTM:	17M				
x (mE):	721387,108				
y (mN):	9679950,787				
Altura (m.s.n.m):	2557				
<b>Sector:</b>		Área de planeamiento urbano <input type="text" value="CH"/>			
<b>Zonificación Según Ordenanza:</b>		Gestion y administracion,comercio, servicios generales y vivienda.			
<b>Breve descripción del sector:</b>		Zona determinada por domicilios ademas de estar rodeada por oficinas de salud y centros de informacion turistica.			
<b>Zonificación TULAS:</b>		Uso del suelo: <input type="text" value="Comercial Mixta"/>			
<b>Máximo de ruido permisible (dB):</b>		Día (6H00-20H00): <input type="text" value="63,94"/> Noche (20H00 - 6H00): <input type="text" value="60,76"/>			
Medición de Ruido					
<b>Hora: 7h00</b>					
Fecha:	10/2/2015				
Día:	Martes				
Responsable de la medición:	Jorge Romero				
Ruido máximo registrado (dB):	93,2				
Ruido mínimo registrado (dB):	46,6				
Ruido promedio (dB):	75,6				
Observaciones en la medición:	Bus				
<b>Gráfico: Tiempo (min) vs Ruido (dB)</b>					
<b>Hora: 10h00</b>					
Fecha:	10/2/2015				
Día:	Martes				
Responsable de la medición:	Jorge Romero				
Ruido máximo registrado (dB):	89,4				
Ruido mínimo registrado (dB):	53,2				
Ruido promedio (dB):	75,4				
Observaciones en la medición:					
<b>Gráfico: Tiempo (min) vs Ruido (dB)</b>					

**Anexo 2:** Especificaciones del equipo SoundPro 3M.

<b>MEDICIONES:</b>	
<b>PARÁMETROS</b>	SPL, L <sub>Max</sub> , L <sub>Min</sub> , L <sub>Pk</sub> (pico), L <sub>EQ</sub> /L <sub>AVG</sub> , SEL, LN (elegible de L1 a L99), TWA, Taktm, Taktmx, Dose, PDose, Exposición (Pa2H/Pa2S), LDN, CNEL, PTWA, L <sub>C-A</sub>
<b>RANGOS</b>	Rango de medición dinámica total de 120 dB+ (ponderado "A") sobre 8 rangos individuales de 90 dB (ponderado "A") cada uno (con rangos de filtros de - 80 dB); rango de medición general de 0 dB a 140 dB
<b>RANGO PICO</b>	Hasta 143 dB usando un micrófono estándar BK4936; superior con micrófonos y preamplificadores opcionales
<b>PONDERACIONES DE FRECUENCIA</b>	A, C, Z y F (plana)
<b>TIEMPO DE RESPUESTA</b>	Rápido, lento e impulso IEC
<b>TASAS DE INTERCAMBIO</b>	3, 4, 5 y 6 dB
<b>NIVEL DE CRITERIO</b>	40 a 100 dB
<b>REGISTRO DEL LÍMITE SUPERIOR DE TIEMPO</b>	10 a 140 dB elegible
<b>MODOS DE EJECUCIÓN</b>	Ejecución/pausa a partir de un nivel predeterminado, encendido y ejecución accionados a partir de una hora/fecha o duración programadas previamente, ejecución/pausa a partir de una entrada externa o directamente en el mismo teclado con posibilidad de programar la duración.
<b>REFERENCIAS DE MEDICIÓN</b>	Nivel de presión sonora: 114 dB Frecuencia: 1 kHz Dirección: 0 grados usando un micrófono de respuesta de campo libre
<b>FILTROS DE OCTAVA Y TERCIO DE OCTAVA (OPCIONAL):</b>	(bandas de base 10, como recomienda IEC 61260 [2001])
<b>FILTROS DE OCTAVA COMPLETA</b>	11 bandas con frecuencias centrales de 16 Hz a 16 kHz
<b>FILTROS DE TERCIO DE OCTAVA</b>	33 bandas con frecuencias centrales de 12,5 Hz a 20 kHz

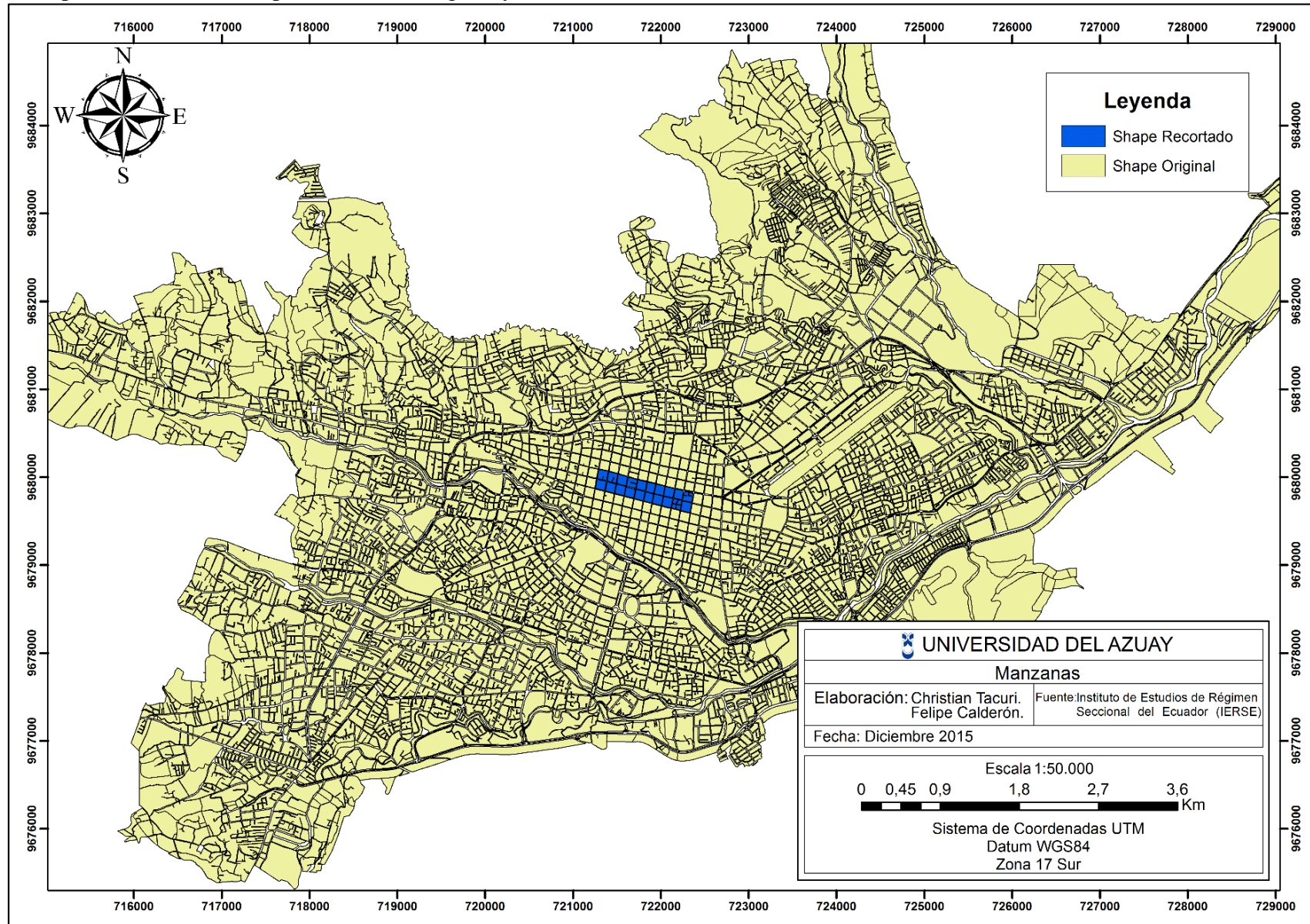
Anexo 3: Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio.



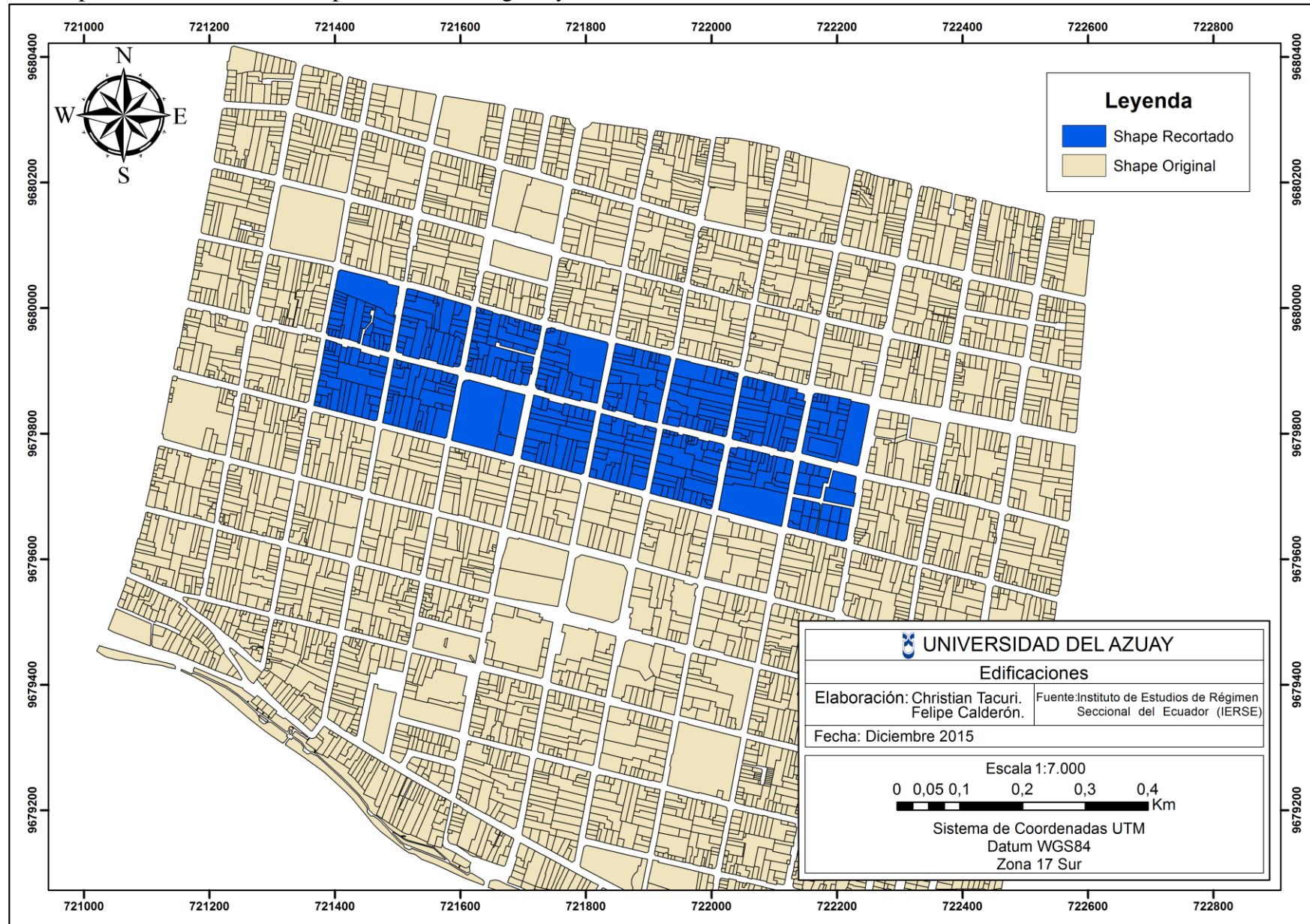


Anexo 4: Archivos en formato shapefile.

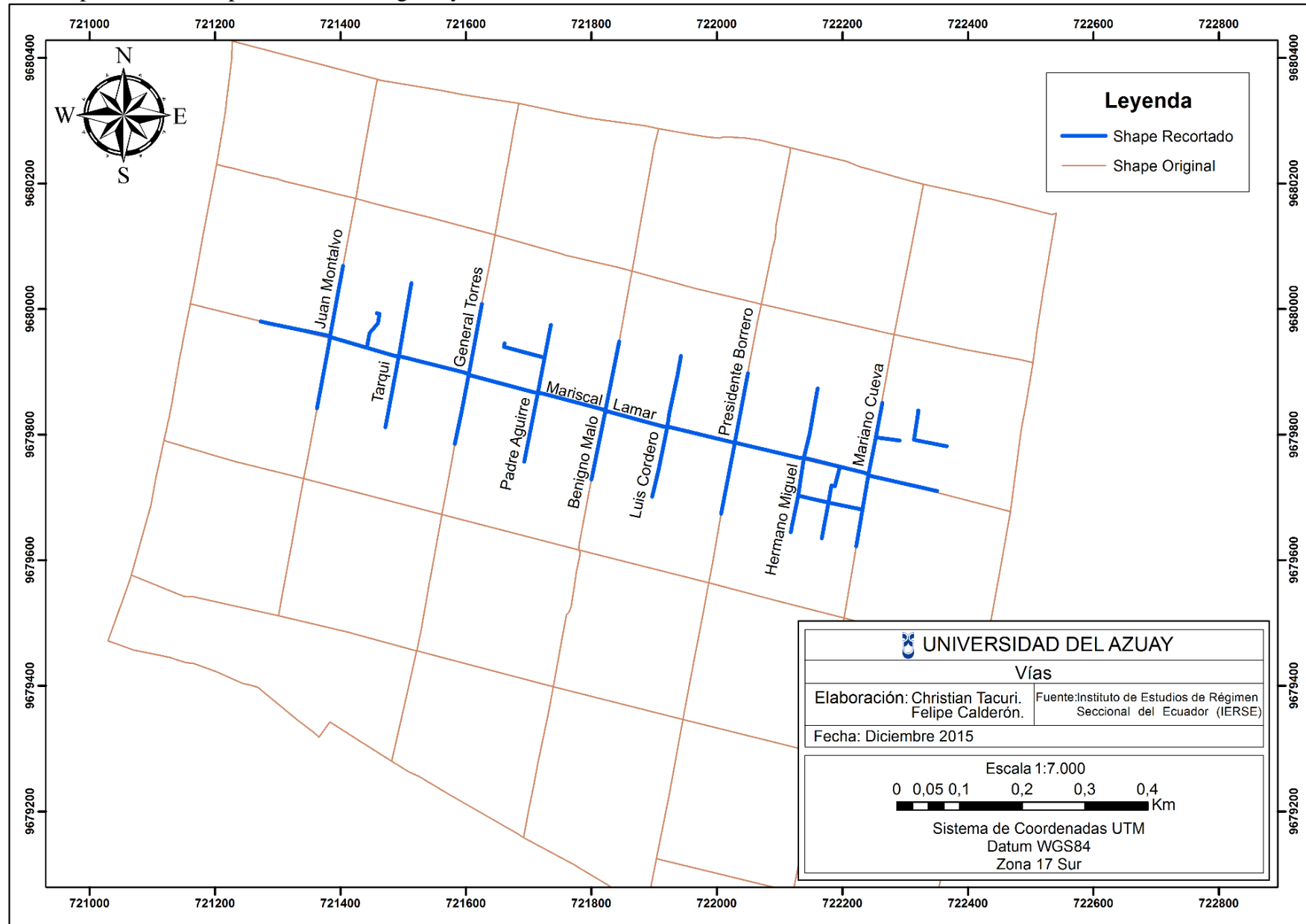
Anexo 4a: Shape de manzanas, comparación entre original y recortado.



Anexo 4b: Shape de construcciones, comparación entre original y recortado.

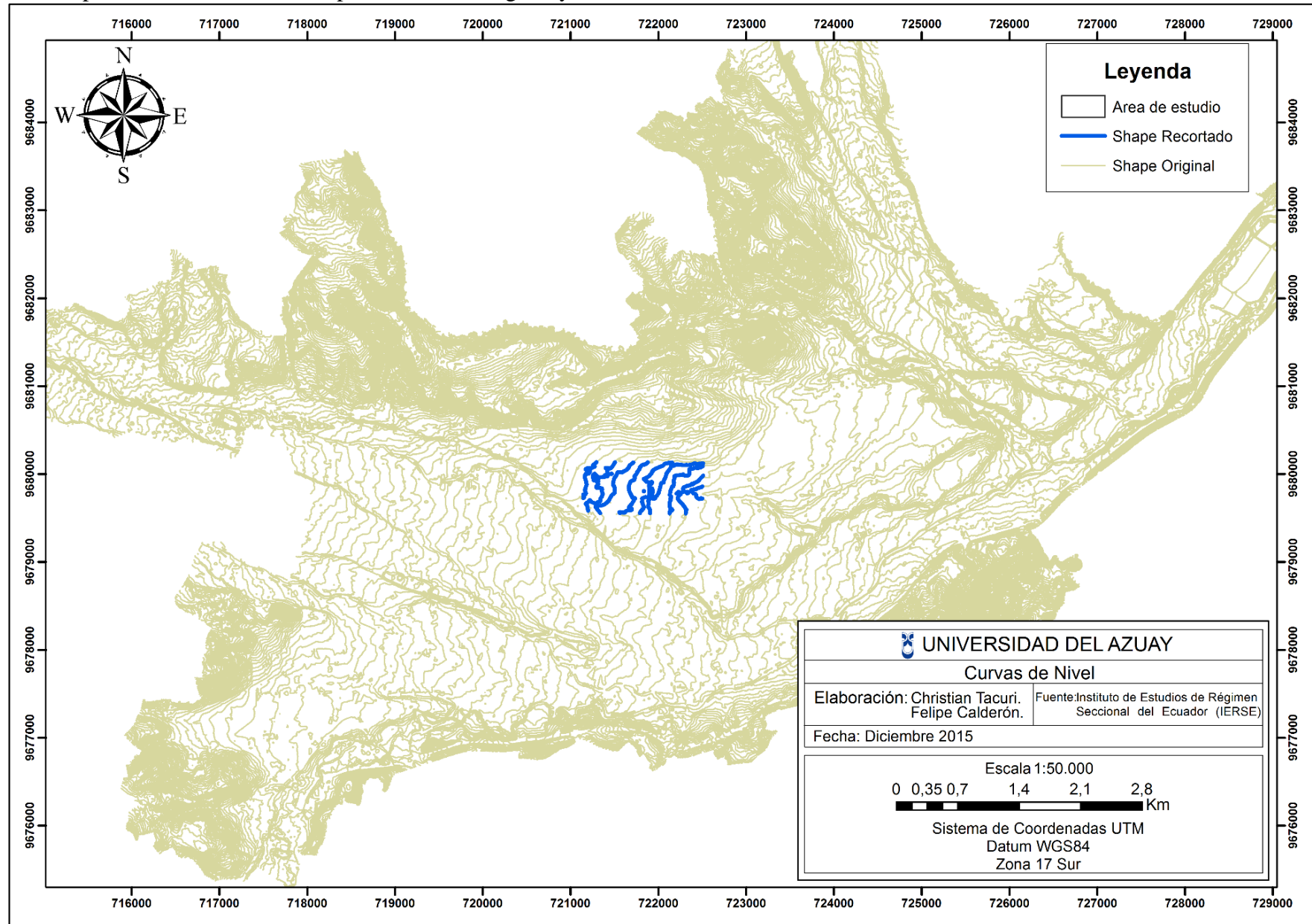


Anexo 4c: Shape de vías, comparación entre original y recortado.



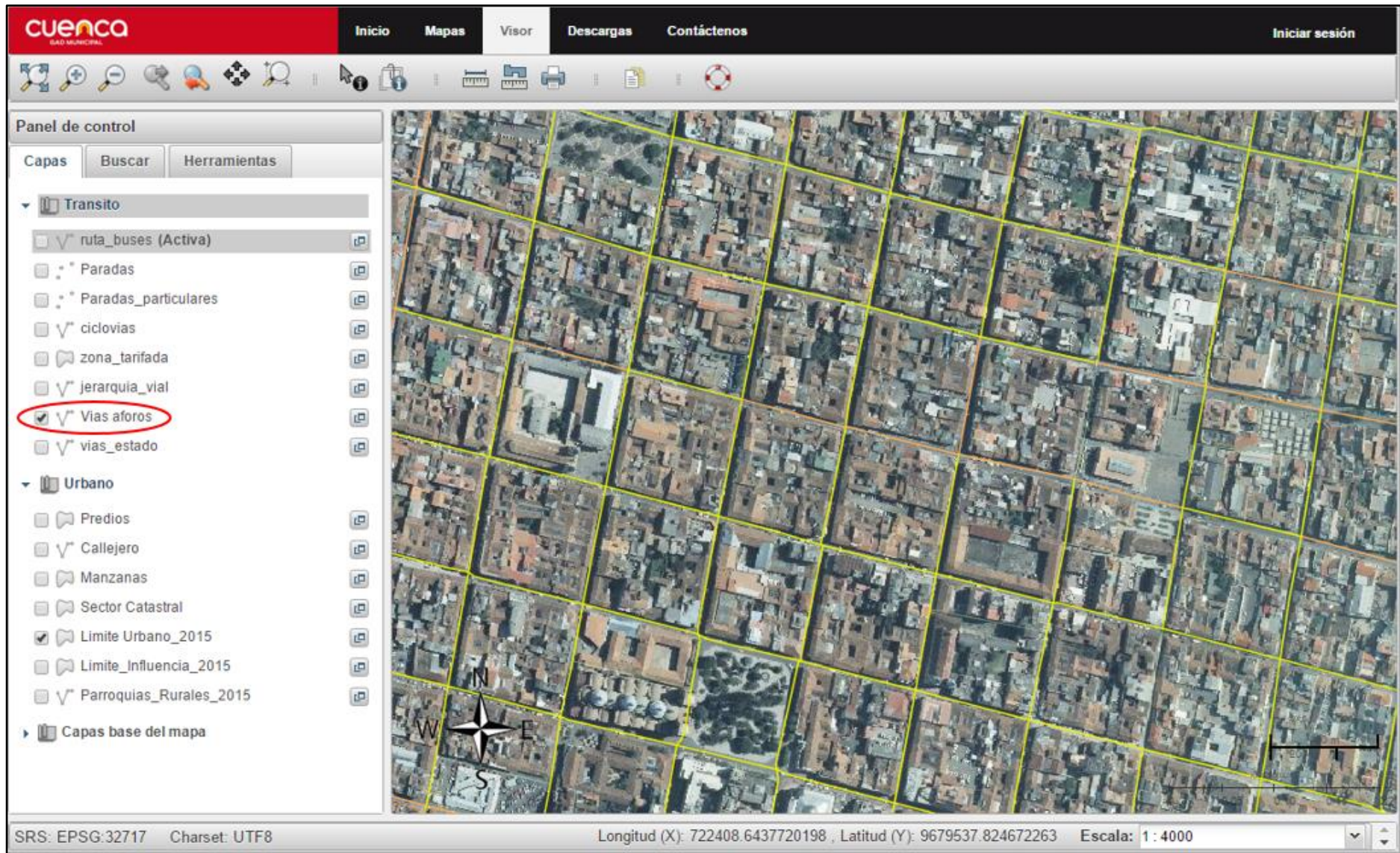


Anexo 4d: Shape de curvas de nivel, comparación entre original y recortado.





Anexo 5: Página web de Cuenca digital, apartado de tránsito.



Fuente: (Alcaldía de Cuenca, 2015)

**Anexo 6:** Oficio dirigido al Arq. Fernando Salazar, Director Municipal de Tránsito.

RECIBIDO  
07-DIC-2015  
RECEPCION DOCUMENTOS

Cuenca, a 07 de Diciembre del 2015

Arquitecto.  
FERNANDO SALAZAR.  
Director Municipal de Tránsito

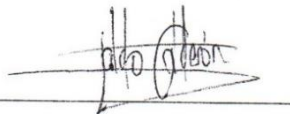
Su despacho.

Saludos Cordiales.

A través del presente oficio nosotros, Felipe Calderón y Christian Tacuri, estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay, comedidamente le solicitamos nos facilite información sobre el IMD y aforo vehicular por horas, para cada uno de los tramos de la calle Mariscal Lamar comprendidos entre las calles Vargas Machuca y Estevez de Toral. Esta información será utilizada para la realización de nuestro trabajo de tesis titulado, MODELACIÓN DEL RUIDO POR TRAFICO VEHICULAR EN LA CALLE MARISCAL LAMAR EN LA CIUDAD DE CUENCA.

Por la favorable acogida, que se digne dar a la presente solicitud, le anticipamos nuestros agradecimientos.

Atentamente:



Felipe Calderón P.



Christian Tacuri O.

Correos: felipesebastian7@hotmail.com  
christian.t.o@hotmail.com

RECEPCION DOCUMENTOS  
07 DIC 2015  
RECIBIDO  
Ext: 36607 - 2015  
Jueva Corralesco



## Anexo 7: Matriz general de datos recopilados.

MATRIZ GENERAL DE DATOS RECOPIRADOS														
Fecha	Horario	Punto	Máx.	Min.	Prom.	Latitud	Longitud	Altura	#vehic/hora	%_pesados/hora	Uso de suelo	Calle principal	Calle secundaria	Tipo_Calzada
10/2/2015	7:00	R_17	93,2	46,6	75,6	9679950,79	721387,11	2557	360	21,11	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
10/2/2015	10:00	R_17	89,4	53,2	75,4	9679950,79	721387,11	2557	780	15,38	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
10/2/2015	13:00	R_17	93	53,6	76,3	9679950,79	721387,11	2557	852	11,74	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
10/2/2015	15:00	R_17	91,6	55	75,1	9679950,79	721387,11	2557	872	9,63	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
10/2/2015	18:00	R_17	94,2	57,3	76,3	9679950,79	721387,11	2557	984	7,72	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
10/2/2015	21:00	R_17	85,4	49,4	69,4	9679950,79	721387,11	2557	404	4,95	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Juan Montalvo	Adoquín
3/2/2015	7:00	R_18	85,4	54,8	73	9679889,36	721607,78	2554	1036	5,79	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
3/2/2015	10:00	R_18	87,3	58,8	70,3	9679889,36	721607,78	2554	804	5,47	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
3/2/2015	13:00	R_18	88,9	58,8	71,1	9679889,36	721607,78	2554	860	5,58	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
3/2/2015	15:00	R_18	82,5	57,5	70,7	9679889,36	721607,78	2554	824	6,80	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
3/2/2015	18:00	R_18	88,5	56,9	72,6	9679889,36	721607,78	2554	840	4,29	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
3/2/2015	21:00	R_18	86,1	52,2	69,1	9679889,36	721607,78	2554	440	5,45	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	General Torres	Adoquín
27/1/2015	7:00	R_19	92,9	53,1	74,4	9679844,43	721819,25	2551	1156	2,42	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
27/1/2015	10:00	R_19	84,9	55,9	71,1	9679844,43	721819,25	2551	884	5,43	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
27/1/2015	13:00	R_19	88	55,4	71,3	9679844,43	721819,25	2551	860	6,51	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
27/1/2015	15:00	R_19	88,1	57,3	72,9	9679844,43	721819,25	2551	712	5,06	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
27/1/2015	18:00	R_19	91,5	56,1	71,8	9679844,43	721819,25	2551	916	3,49	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
27/1/2015	21:00	R_19	80,4	40,1	64,6	9679844,43	721819,25	2551	268	1,49	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Benigno Malo	Adoquín
11/12/2014	7:00	R-20	93,1	55,9	75,6	9679782,34	722031,74	2545	1108	5,05	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
11/12/2014	10:00	R-20	92	62	75,7	9679782,34	722031,74	2545	1056	3,03	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
11/12/2014	13:00	R-20	90,9	60,5	74,7	9679782,34	722031,74	2545	904	5,75	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
11/12/2014	15:00	R-20	91,8	60,5	75,5	9679782,34	722031,74	2545	996	5,22	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
11/12/2014	18:00	R-20	94,2	62,3	77	9679782,34	722031,74	2545	1032	3,49	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
11/12/2014	21:00	R-20	97,1	54,8	75,5	9679782,34	722031,74	2545	572	2,10	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Presidente Borrero	Adoquín
4/12/2014	7:00	R-21	84,9	55,7	69,4	9679737,60	722247,21	2540	720	4,44	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín
4/12/2014	10:00	R-21	83,3	54,2	68	9679737,60	722247,21	2540	1036	5,02	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín
4/12/2014	13:00	R-21	87,5	53	69,3	9679737,60	722247,21	2540	1200	4,67	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín
4/12/2014	15:00	R-21	79	51,9	67,5	9679737,60	722247,21	2540	1308	3,98	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín
4/12/2014	18:00	R-21	85,5	57,8	69,1	9679737,60	722247,21	2540	1292	2,79	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín
4/12/2014	21:00	R-21	87	48,7	70,3	9679737,60	722247,21	2540	392	2,04	Comercial Mixta	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Adoquín

**Anexo 8:** Especificaciones del medidor láser de distancia Fluke 414D.

	414D
<b>Medición de distancias</b>	
Tolerancia de medición típica[1]	± 2,0 mm [3]
Tolerancia máxima de medición[2]	± 3,0 mm [3]
Rango en tablilla de referencia Leica GZM26	50 m (165 pies)
Rango típico[1]	40 m (130 pies)
Rango en condiciones desfavorables[4]	35 m (115 pies)
Unidad más pequeña mostrada	1 mm (1/16 pulg)
Ø punto láser en distancias	6 /30 / 60 mm (10 / 50 / 100 m)
<b>Medición de inclinación</b>	
Medición de tolerancia al haz de láser[5]	No
Medición de tolerancia de la carcaza[5]	No
Rango	No
<b>Datos generales</b>	
Clase de láser	2
Tipo de láser	635 nm, <1 mW
Clase de protección	IP40
Apagado automático del láser	Después de 90 segundos
Apagado automático	Tras 180 segundos
Vida útil de la batería (2 x AAA) 1,5 V NEDA 24A/IEC LR03	Hasta 3.000 mediciones
Tamaño (Al. x An. x L.)	Largo de 116 mm Ancho de 53 mm Profundidad de 33 mm
Peso (con baterías)	113 g
Rango de temperatura: operación de almacenamiento	-25 °C a +70 °C (-13 °F a +158 °F)  0 °C a +40 °C (32 °F a +104 °F)
Ciclo de calibración	No aplicable
Altitud máxima	3000 m
Humedad relativa máxima	85% a 20 °F a 120 °F (-7 °C a 50 °C)

Fuente: (Fluke, 2015).

**Anexo 9:** Tablas de levantamiento de información en la zona de estudio.

DATOS DE VÍA Y VEREDAS								
Tramo	Longitud	Pendiente %	Ancho vereda (Izq) prom.	Ancho vereda (Der) prom.	Altura vereda (Izq) prom.	Altura vereda (Der) prom.	Ancho calle prom.	Ancho Total
M. Cueva / H. Miguel	106,519	1,442	1,41	2,655	0,18	0,18	6,5225	10,5875
H. Miguel / P. Borrero	105,577	2,012	2,315	3,19	0,18	0,18	5,51	11,015
P. Borrero / L. Cordero	112,887	3,013	2,205	3,215	0,18	0,18	5,5	10,92
L. Cordero / B. Malo	111,4716	2,128	2,145	1,98	0,18	0,18	5,5	9,625
B. Malo / P. Aguirre	101,987	1,457	2,035	2,02	0,18	0,18	5,5	9,555
P. Aguirre / G. Torres	111,468	2,014	4,32	2,88	0,18	0,18	5,5	12,7
G. Torres / Tarqui	115,2	1,851	1,41	3,5	0,12	0,11	5,5	10,41
Tarqui / J. Montalvo	113,8333	1,779	1,515	2,04	0,11	0,12	6,91	10,465

DATOS DE EDIFICIOS										
Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
<i>M. Cueva / H. Miguel</i>	1	7,178	6,724	7,131	A02	1	0	0	0,18	A01
	2	9,896	9,587	9,922	A02	2	0,250	1,230	0,920	A03
	3	9,976	9,673	10,005	A02	3	8,102	8,096	8,279	A03
	4	3,601	3,366	3,664	A03					
	5	4,258	4,109	4,364	A03					
<i>H. Miguel / P. Borrero</i>	1	13,203	13,138	13,351	A02	1	11,702	11,523	11,793	A02
	2	8,994	8,679	9,017	A02	2	3,796	3,647	3,902	A03
	3	11,194	9,680	10,617	A02	3	3,647	3,611	3,809	A03
	4	11,387	11,305	11,526	A01	4	10,690	10,647	10,849	A02
	5	4,094	4,026	4,240	A02	5	11,000	10,896	11,128	A02
	6	4,026	3,876	4,131	A02	6	11,088	10,800	11,124	A02
	7	3,876	3,793	4,015	A01	7	8,788	8,470	8,809	A01
	8	8,062	7,906	8,164	A03	8	8,252	8,174	8,393	A03
	9	7,901	7,660	7,961	A02	9	6,374	6,175	6,455	A02
	10	7,660	7,374	7,697	A02	10	12,310	12,108	12,389	A03
	11	9,693	9,648	9,851	A02					

Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
P. Borrero / L. Cordero	1	12,781	12,697	12,919	A02	1	8,604	8,230	8,597	A02
	2	11,530	11,359	11,625	A02	2	11,639	11,291	11,645	A02
	3	11,965	11,737	12,031	A02	3	8,300	8,219	8,440	A02
	4	11,662	11,471	11,747	A02	4	7,278	7,277	7,458	A02
	5	7,120	6,655	7,068	A02	5	7,770	7,612	7,871	A02
	6	6,650	6,536	6,773	A03	6	9,162	8,800	9,161	A02
	7	6,545	6,430	6,668	A02	7	9,407	9,171	9,469	A03
	8	6,423	6,307	6,545	A02	8	10,126	9,733	10,110	A03
	9	4,413	4,173	4,473	A02	9	10,688	10,357	10,703	A03
	10	10,386	10,197	10,472	A02	10	9,926	9,261	9,774	A02
	11	5,043	4,855	5,129	A03	11	7,799	7,554	7,857	A03
	12	7,841	7,691	7,946	A03					
	13	8,229	8,131	8,360	A03					
	14	8,142	7,938	8,220	A03					

Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
L. Cordero / B. Malo	1	9,854	9,383	9,799	A03	1	7,818	7,465	7,822	A03
	2	8,028	7,723	8,056	A03	2	9,034	8,588	8,991	A03
	3	5,955	5,525	5,920	A02	3	11,210	10,860	11,215	A03
	4	8,097	7,746	8,102	A02	4	19,925	19,579	19,932	A03
	5	7,251	7,110	7,361	A03	5	7,300	7,240	7,450	A03
	6	8,052	7,790	8,101	A03	6	4,155	4,124	4,320	A03
						7	8,217	7,930	8,254	A03
B. Malo / P. Aguirre	1	8,762	8,482	8,802	A03	1	0	0	0,18	A01
	2	8,482	8,344	8,593	A03	2	1,556	1,529	1,723	A01
	3	8,344	8,295	8,500	A03	3	11,960	11,761	12,041	A03
	4	8,700	8,553	8,807	A02	4	7,546	7,536	7,721	A03
	5	8,553	8,391	8,652	A02	5	9,149	8,977	9,243	A02
	6	12,055	11,741	12,078	A03	6	3,465	3,326	3,576	A02
	7	8,014	7,893	8,134	A02	7	3,382	3,340	3,541	A02
	8	7,645	7,428	7,717	A03	8	3,345	3,340	3,523	A03
						9	8,530	8,460	8,675	A03
						10	10,614	10,522	10,748	A03



Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
<i>P. Aguirre / G. Torres</i>	1	13,490	13,143	13,497	A03	1	13,080	13,010	13,225	A03
	2	11,128	10,685	11,086	A02	2	4,331	4,161	4,426	A02
						3	8,692	8,563	8,808	A03
						4	8,595	8,356	8,656	A02
						5	8,356	8,111	8,414	A02
						6	8,165	7,991	8,258	A02
						7	3,921	3,748	4,015	A02
						8	7,898	7,775	8,017	A03
						9	10,858	10,738	10,978	A03
						10	11,628	11,487	11,738	A03
						11	7,964	7,894	8,109	A03
<i>G. Torres / Tarqui</i>	1	7,901	7,870	8,066	A03	1	8,866	8,760	8,993	A03
	2	7,950	7,842	8,076	A02	2	3,637	3,580	3,789	A02
	3	7,402	7,228	7,495	A03	3	8,493	8,353	8,603	A03

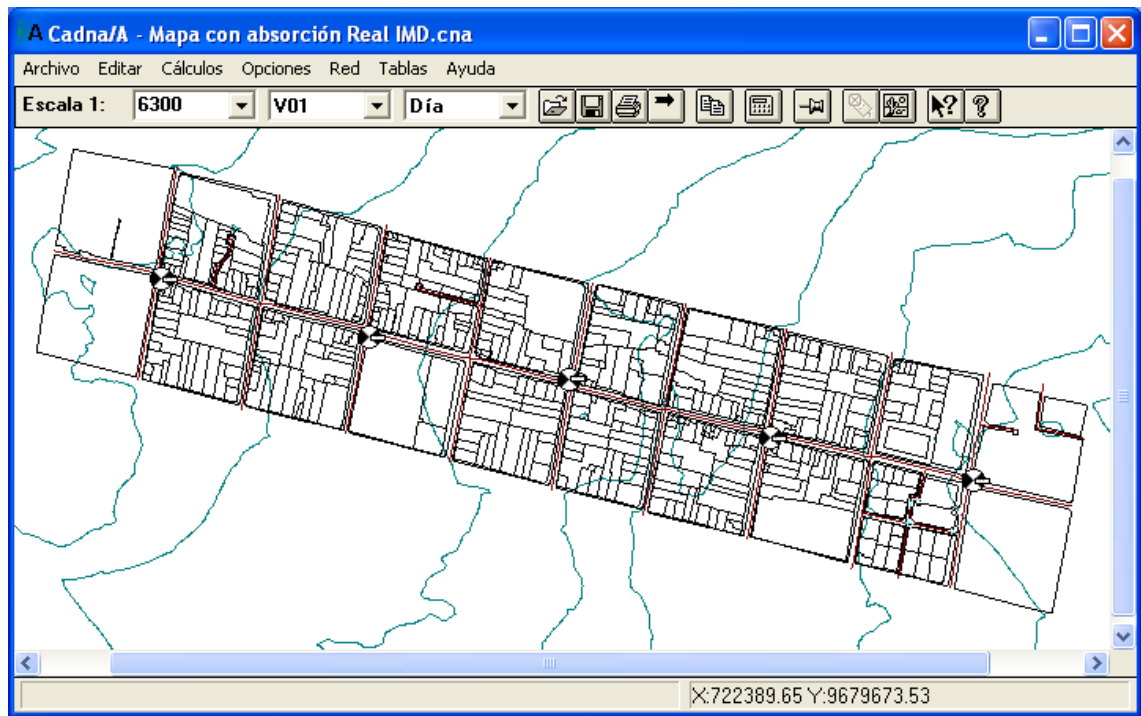
Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
G. Torres / Tarqui	4	7,972	7,840	8,026	A02	4	9,186	9,045	9,226	A02
	5	8,268	8,120	8,314	A02	5	6,854	6,602	6,838	A02
	6	8,088	7,892	8,110	A02	6	9,820	9,683	9,862	A03
	7	7,862	7,542	7,822	A02	7	11,804	11,792	11,908	A03
	8	3,696	3,471	3,704	A03	8	12,279	11,967	12,233	A03
	9	5,595	5,570	5,703	A02	9	4,745	4,608	4,787	A03
	10	3,657	3,567	3,732	A02	10	6,067	6,050	6,169	A03
	11	3,083	3,068	3,196	A03					
Tarqui / J. Montalvo	1	4,420	4,130	4,385	A03	1	11,219	10,974	11,217	A03
	2	6,087	5,851	6,079	A02	2	8,297	8,052	8,295	A03
	3	9,326	8,970	9,258	A03	3	8,127	8,055	8,211	A03
	4	8,143	7,942	8,153	A03	4	7,766	7,566	7,786	A02
	5	4,270	4,129	4,310	A02	5	7,566	7,442	7,624	A02
	6	7,364	7,247	7,416	A02	6	7,571	7,407	7,609	A02
	7	11,432	11,414	11,533	A03	7	8,248	8,246	8,367	A03

Tramo	# Izq.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción	# Der.	Altura ini.	Altura fin.	Altura prom.	Absorción
Tarqui / J. Montalvo	8	6,466	6,376	6,531	A02	8	6,405	6,402	6,524	A03
	9	3,088	3,009	3,159	A03	9	7,143	7,126	7,255	A03
	10	8,038	7,938	8,098	A02	10	3,645	3,645	3,765	A03
	11	3,056	2,715	2,996	A03	11	3,568	3,568	3,688	A03
						12	3,552	3,552	3,672	A03
						13	3,435	3,435	3,555	A03
						14	8,346	8,343	8,465	A03

**Anexo 10:** Tabla de atributos y abreviaciones del software Datakustik CadnaA.

<b>ATRIBUTO</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
ALFAL	Coeficiente de absorción alfa
BEZ	Nombre del objeto
DTV	Intensidad media diaria de tráfico
GRENZN	Valor límite nocturno
GRENZT	Valor límite diurno
HA_ATT	Tipo de altura del objeto (relativa, absoluta, etc...)
ID	Identificación
MN	Densidad de tráfico por hora - noche
MT	Densidad de tráfico por hora - día
PN	Porcentaje de camiones durante la noche
PT	Porcentaje de camiones durante el día
RQ	Ancho de la vía (m)
STEIG	Pendiente de la carretera en porcentaje
STRGATTNR	Tipo de vía
STRONR	Número de superficie de la carretera
VPKM	Velocidad máxima de camiones
VtLKW	Velocidad máxima de vehículos

**Anexo 11:** Imagen de todos los archivos shapefile importados en CadnaA.

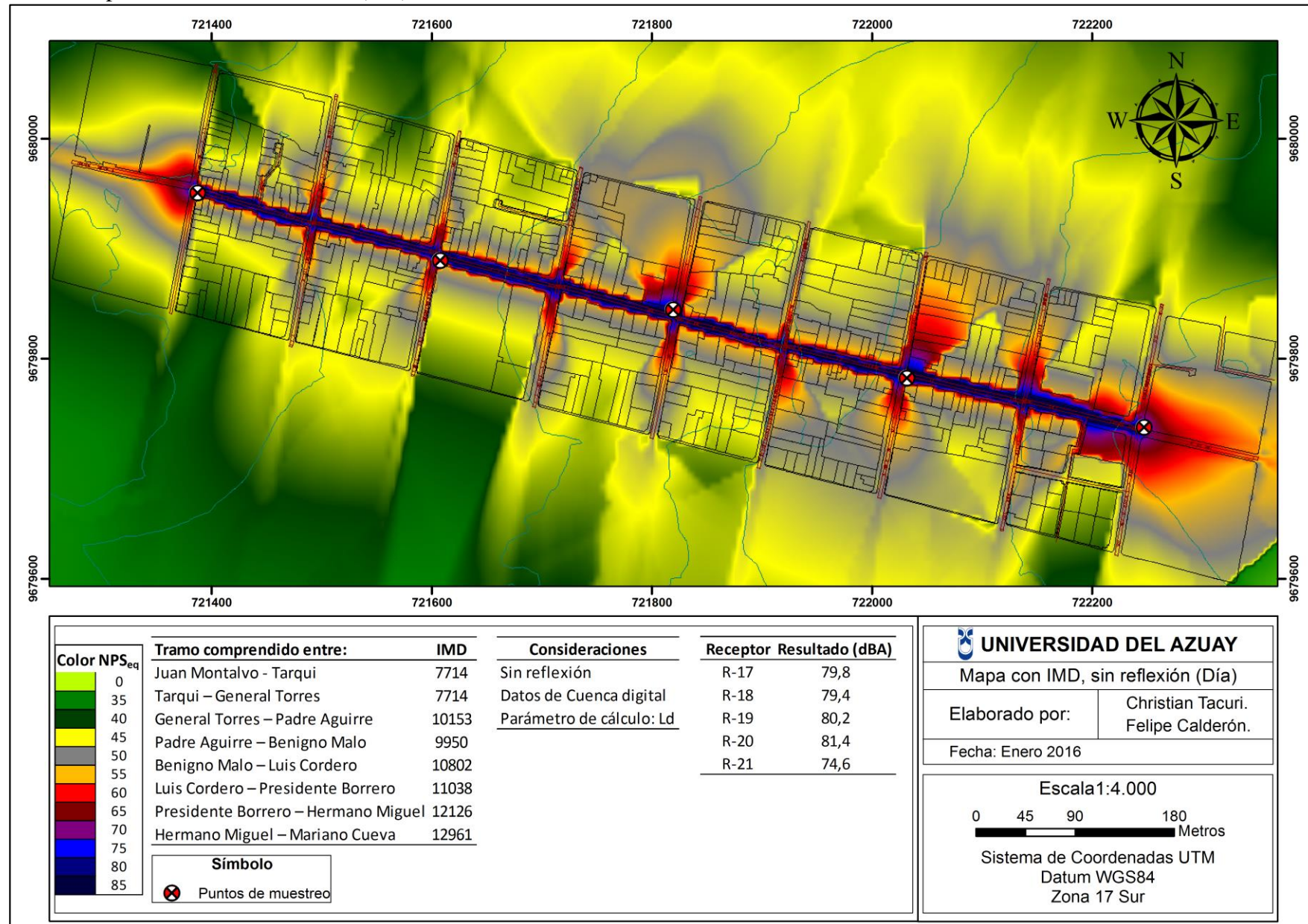


**Anexo 12:** Tabla de superficie de fachada de acuerdo con RLS90.

<b>Tipo de Fachada</b>	<b>Pérdida por Reflexión RL</b>
Fachada Silenciosa	1 dB
Fachada de Construcción	2 dB
Barrera Absorbente	4 dB
Barrera muy Absorbente	8 dB

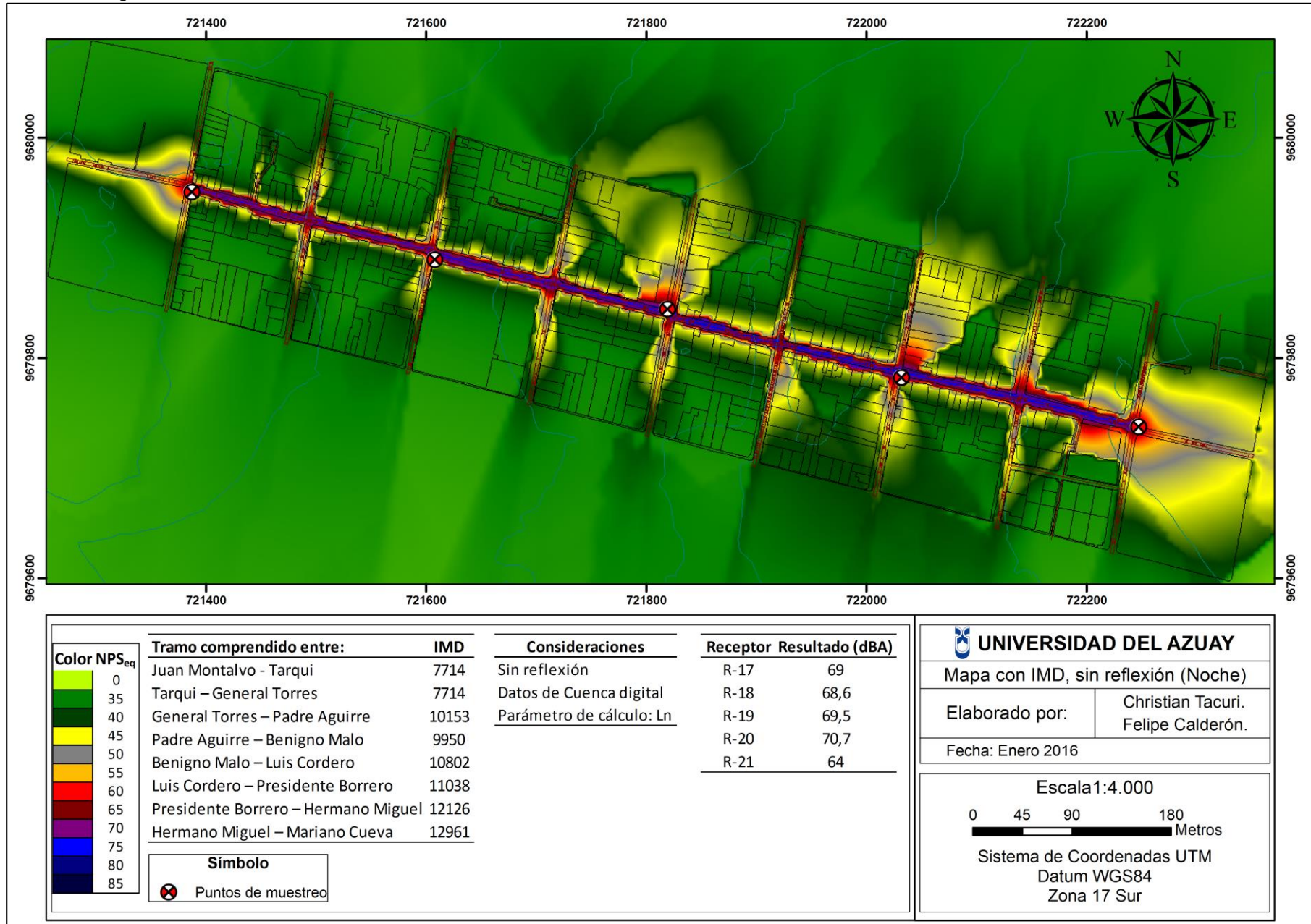
Anexo 13: Mapas de ruido comparados para determinar el modelo que mejor se ajustó a las mediciones del sonómetro.

Anexo 13a: Mapa con IMD, sin reflexión (Día).

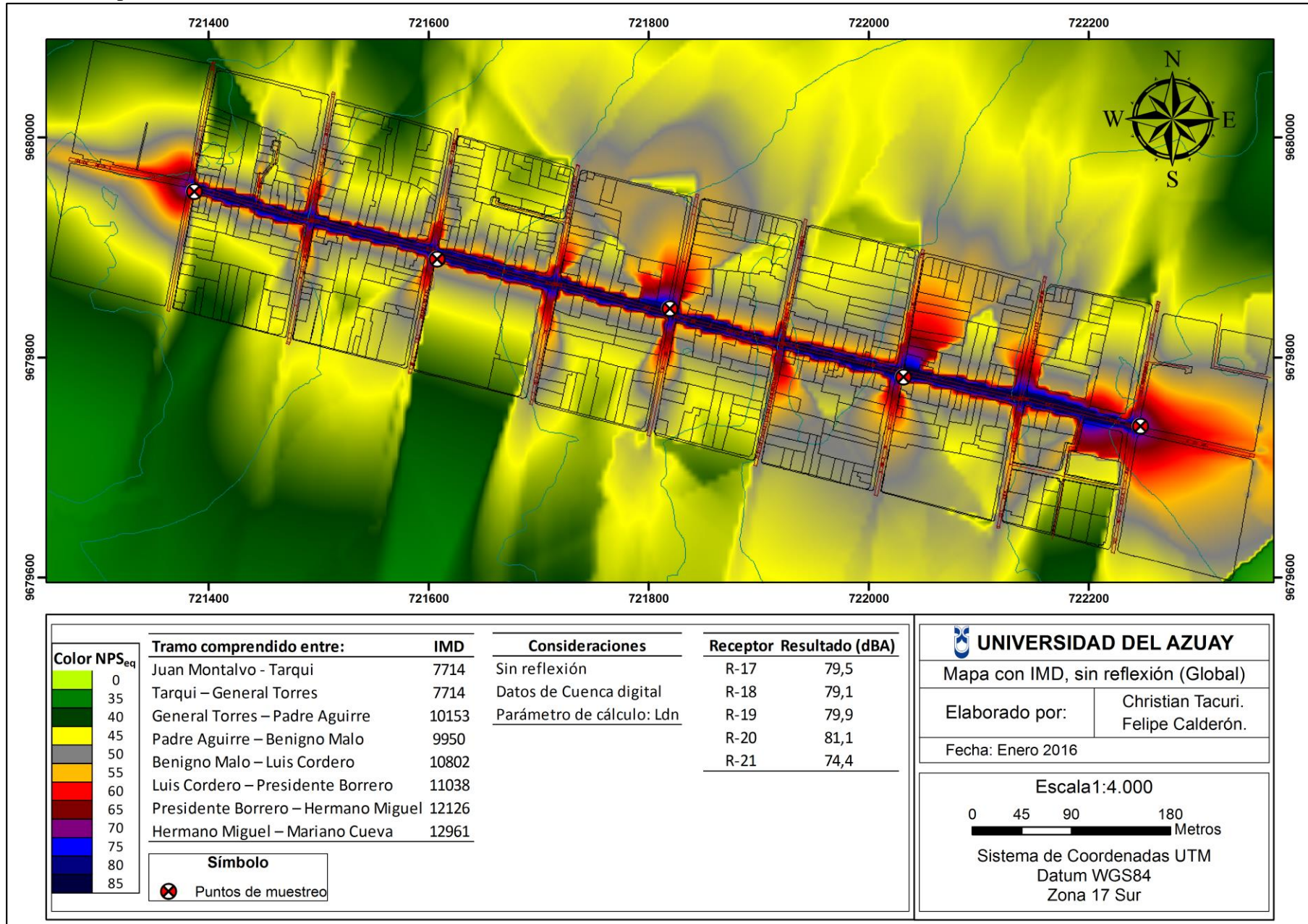




Anexo 13b: Mapa con IMD, sin reflexión (Noche).

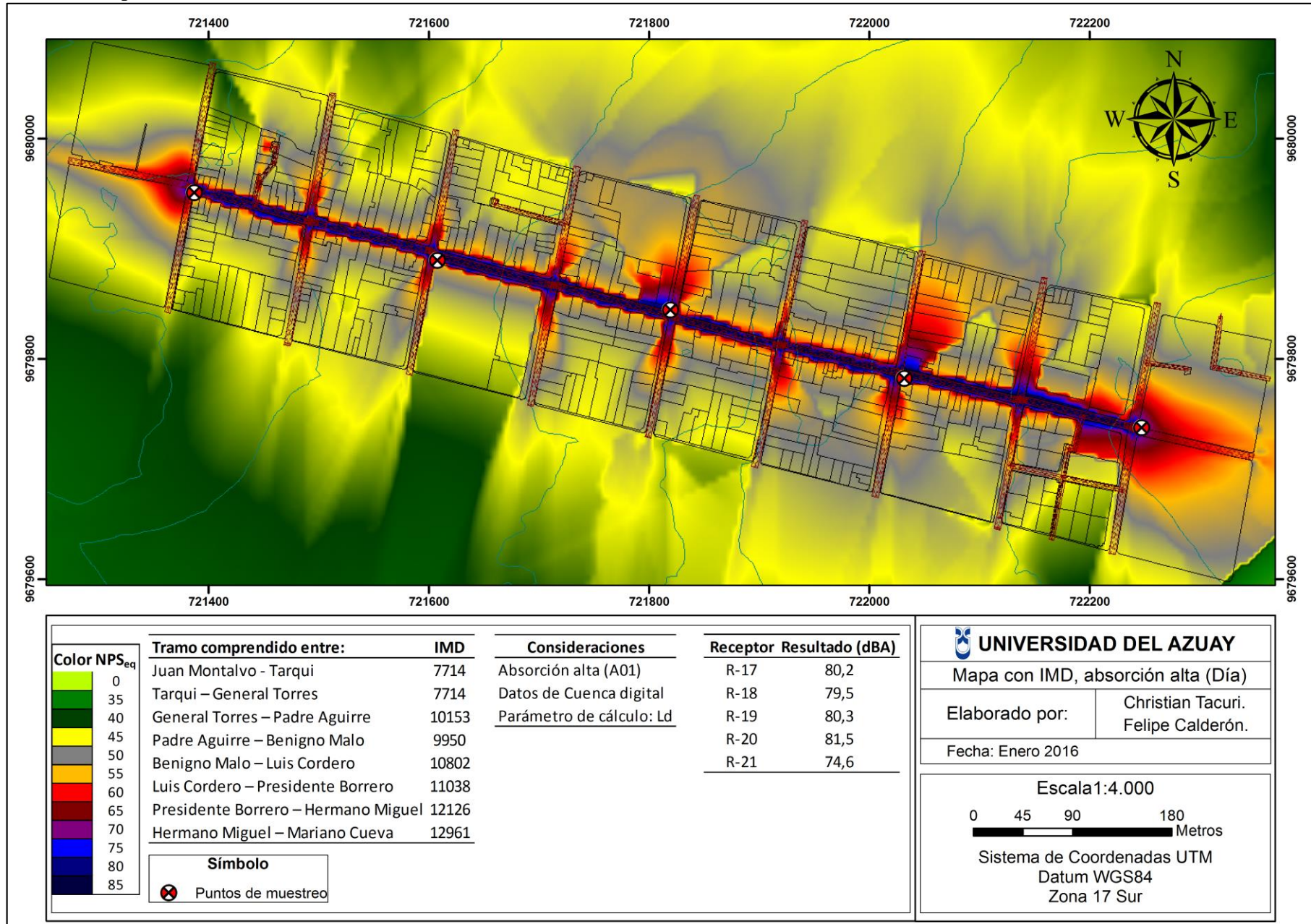


Anexo 13c: Mapa con IMD, sin reflexión (Global).

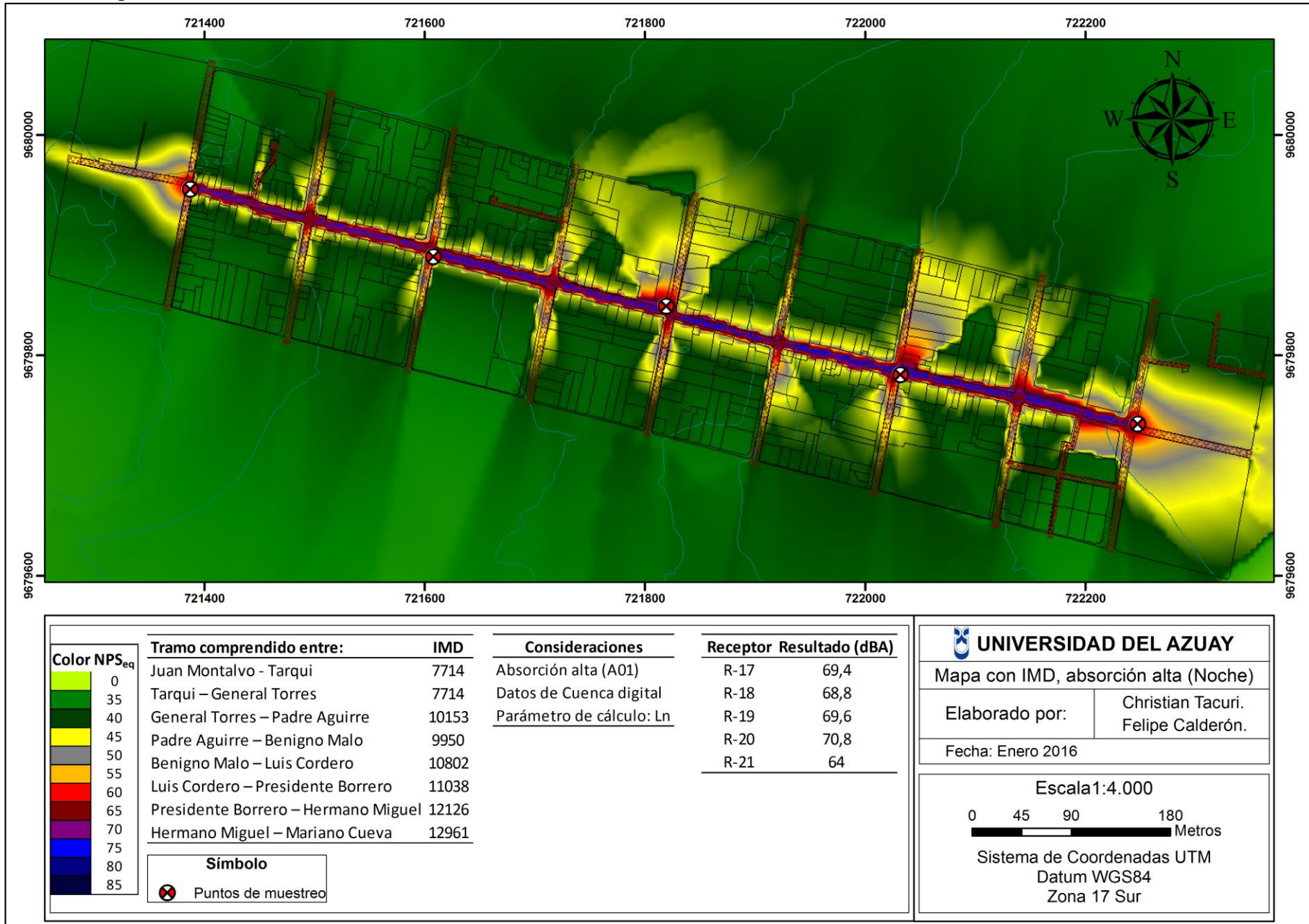




Anexo 13d: Mapa con IMD, absorción alta (Día).

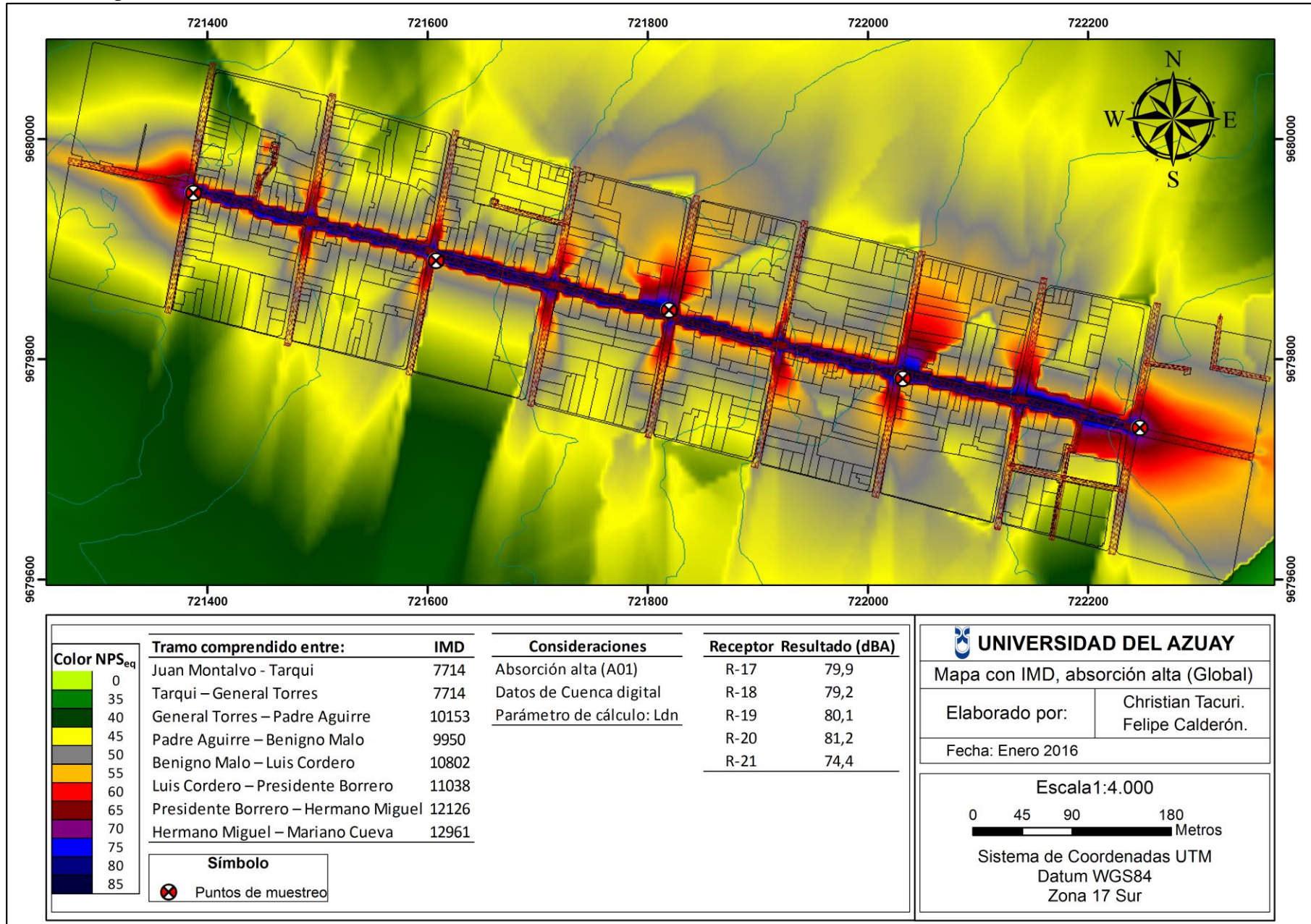


Anexo 13e: Mapa con IMD, absorción alta (Noche).



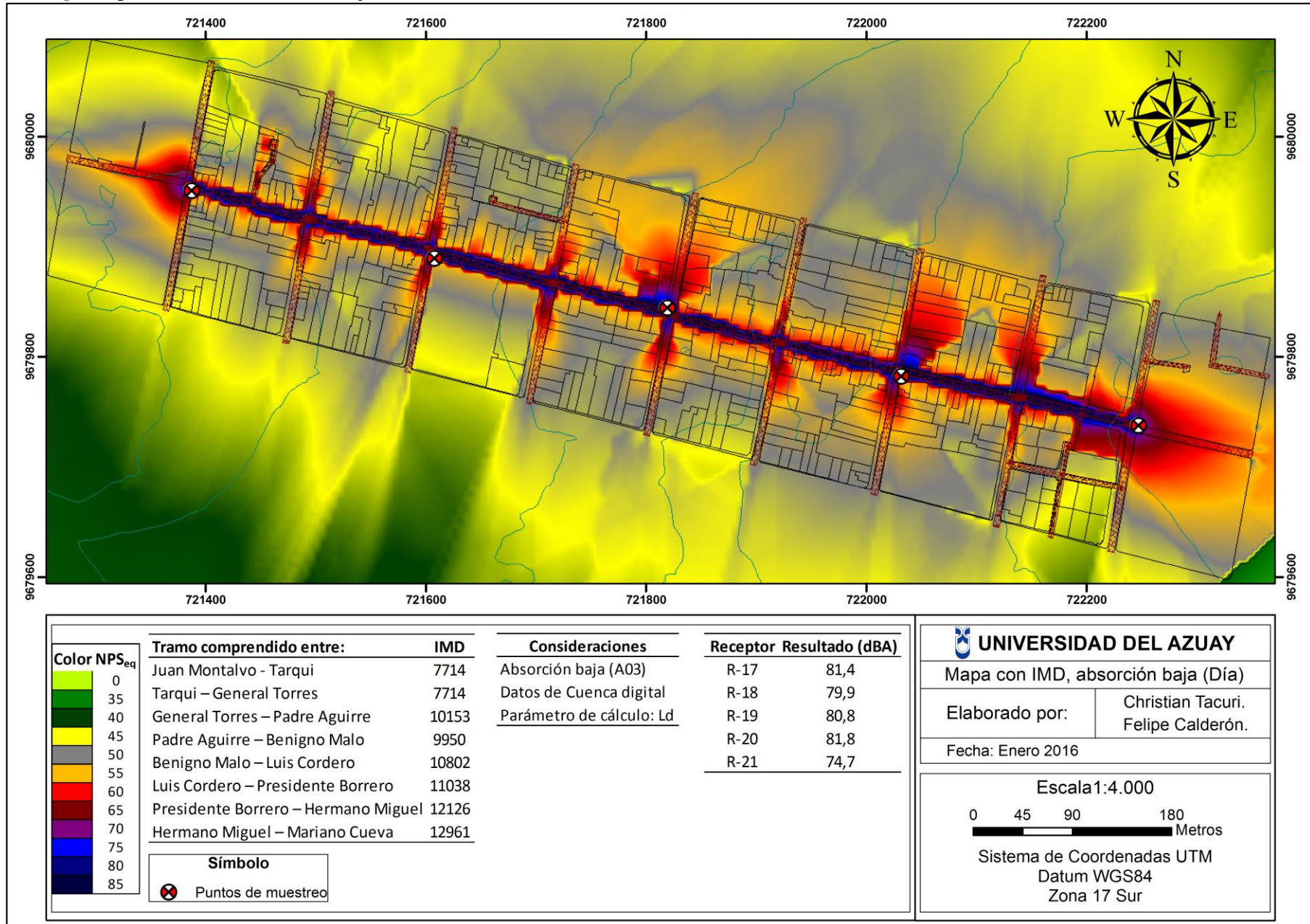


Anexo 13f: Mapa con IMD, absorción alta (Global).

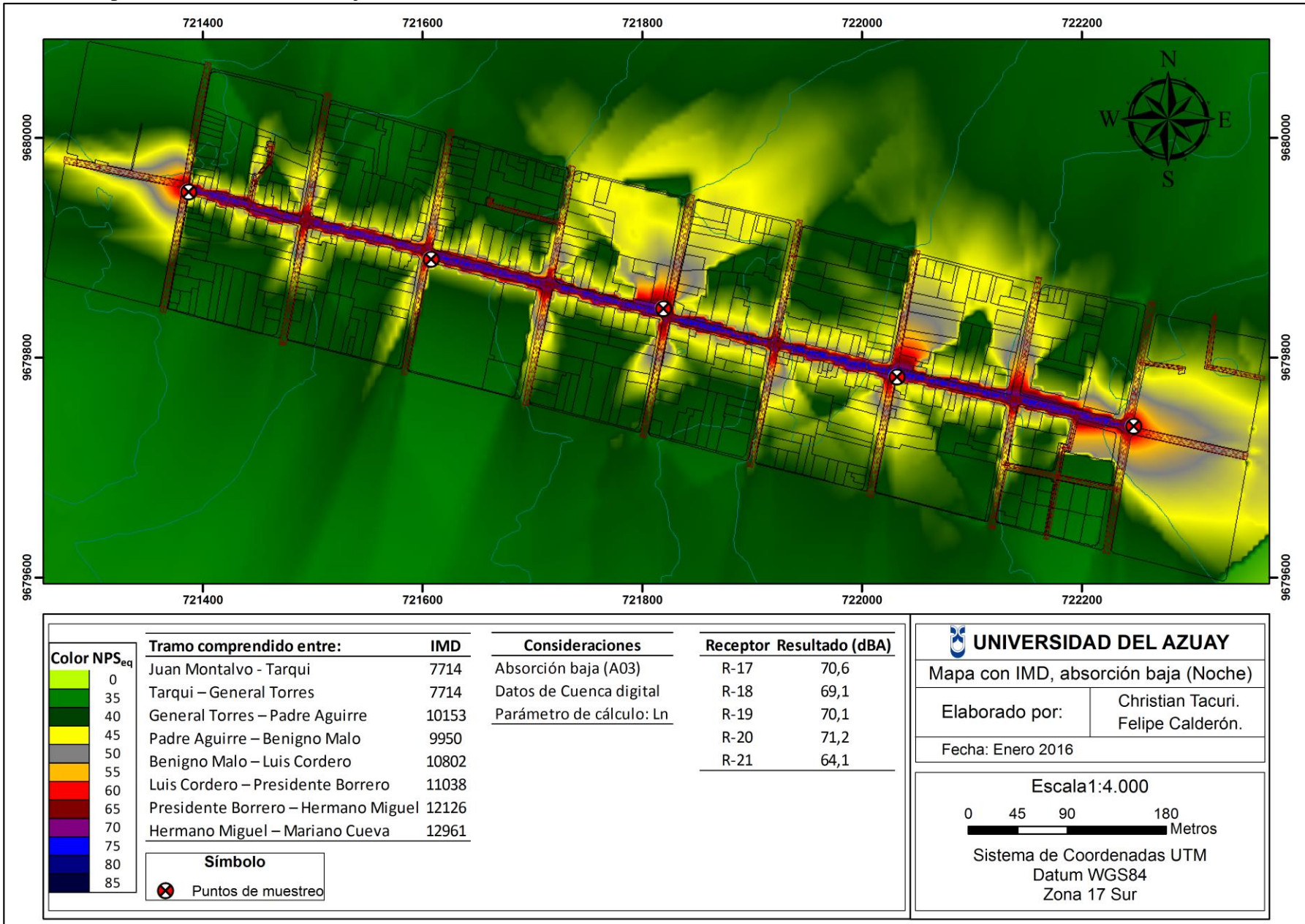




Anexo 13g: Mapa con IMD, absorción baja (Día).

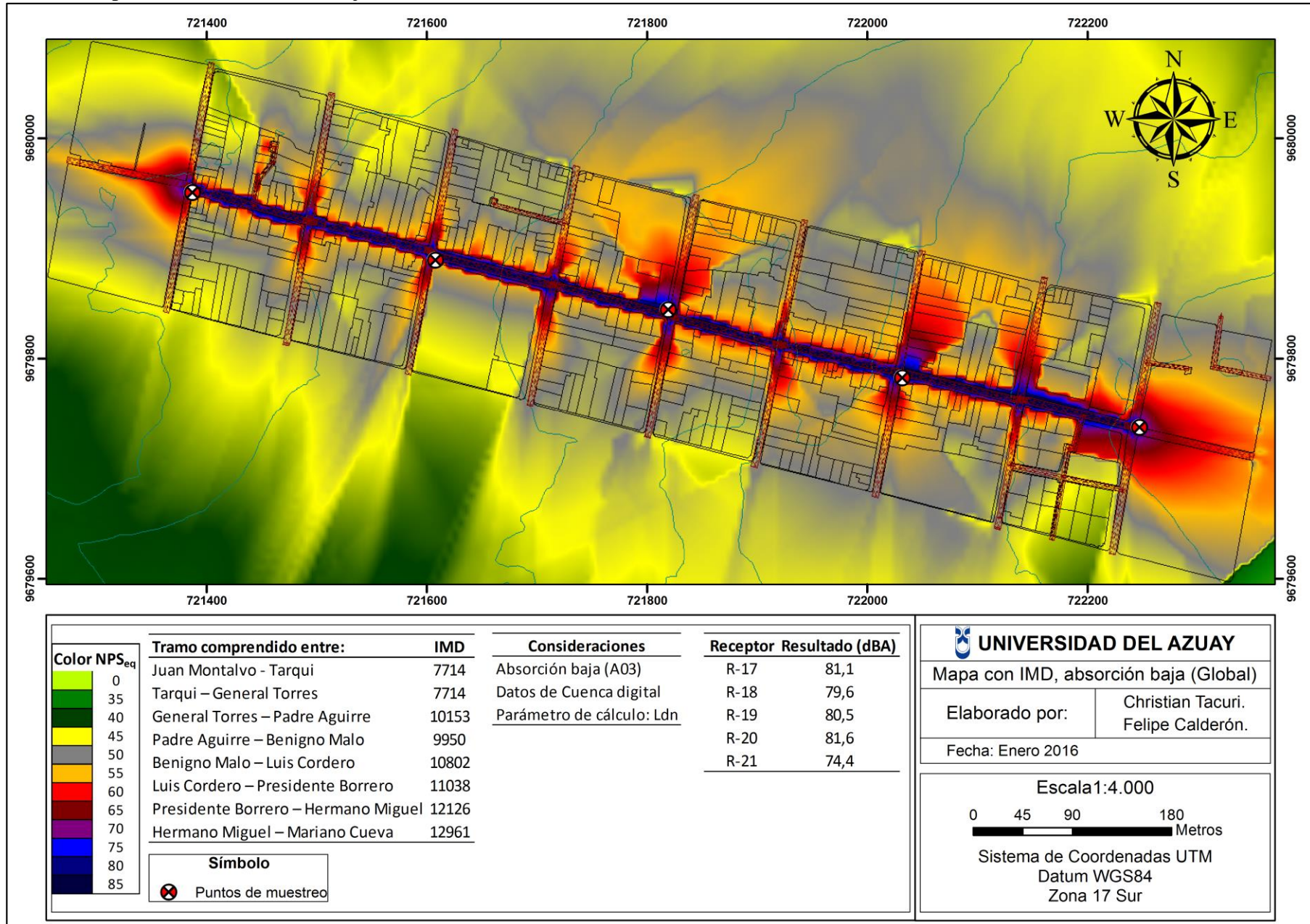


Anexo 13h: Mapa con IMD, absorción baja (Noche).



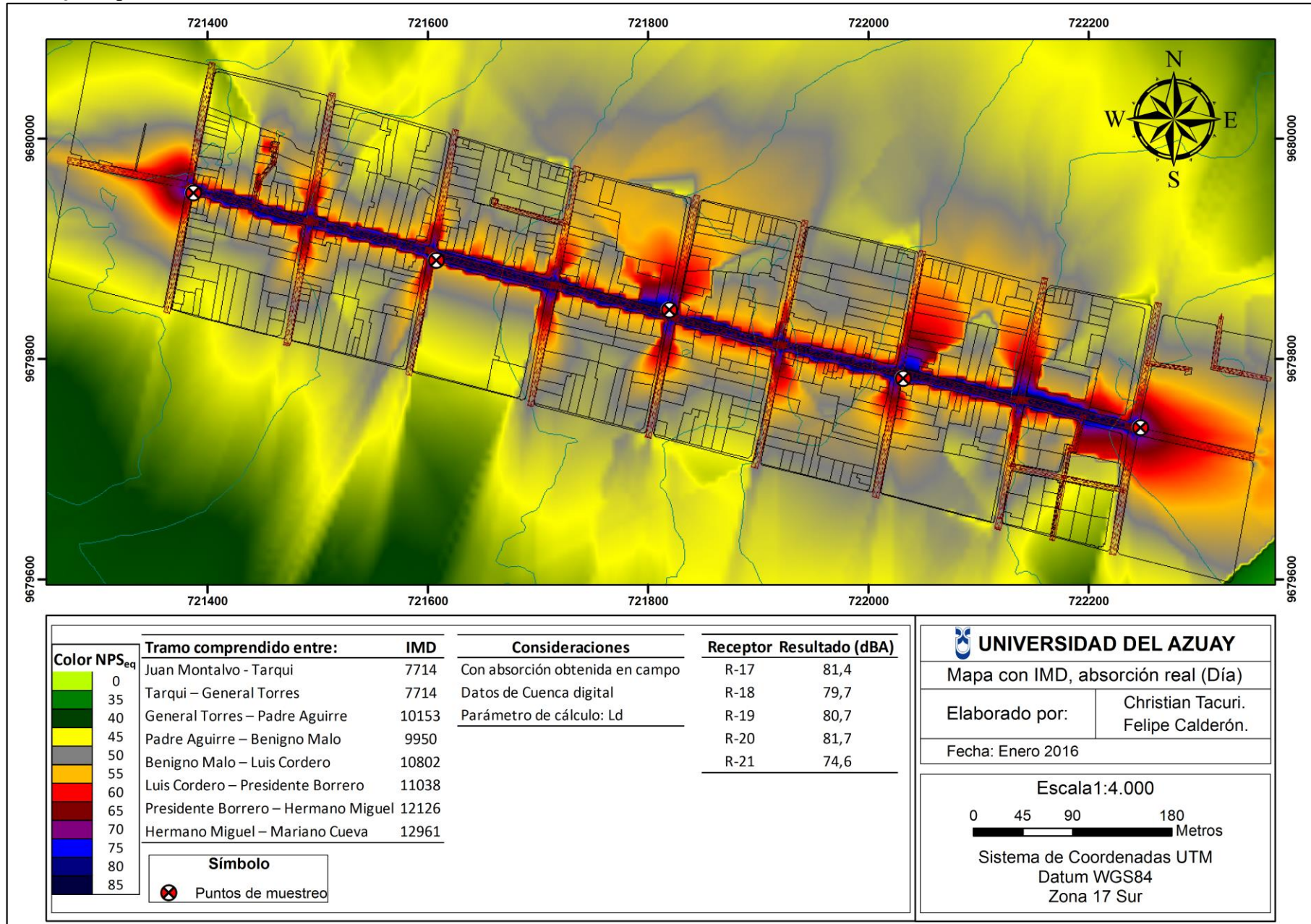


Anexo 13i: Mapa con IMD, absorción baja (Global).

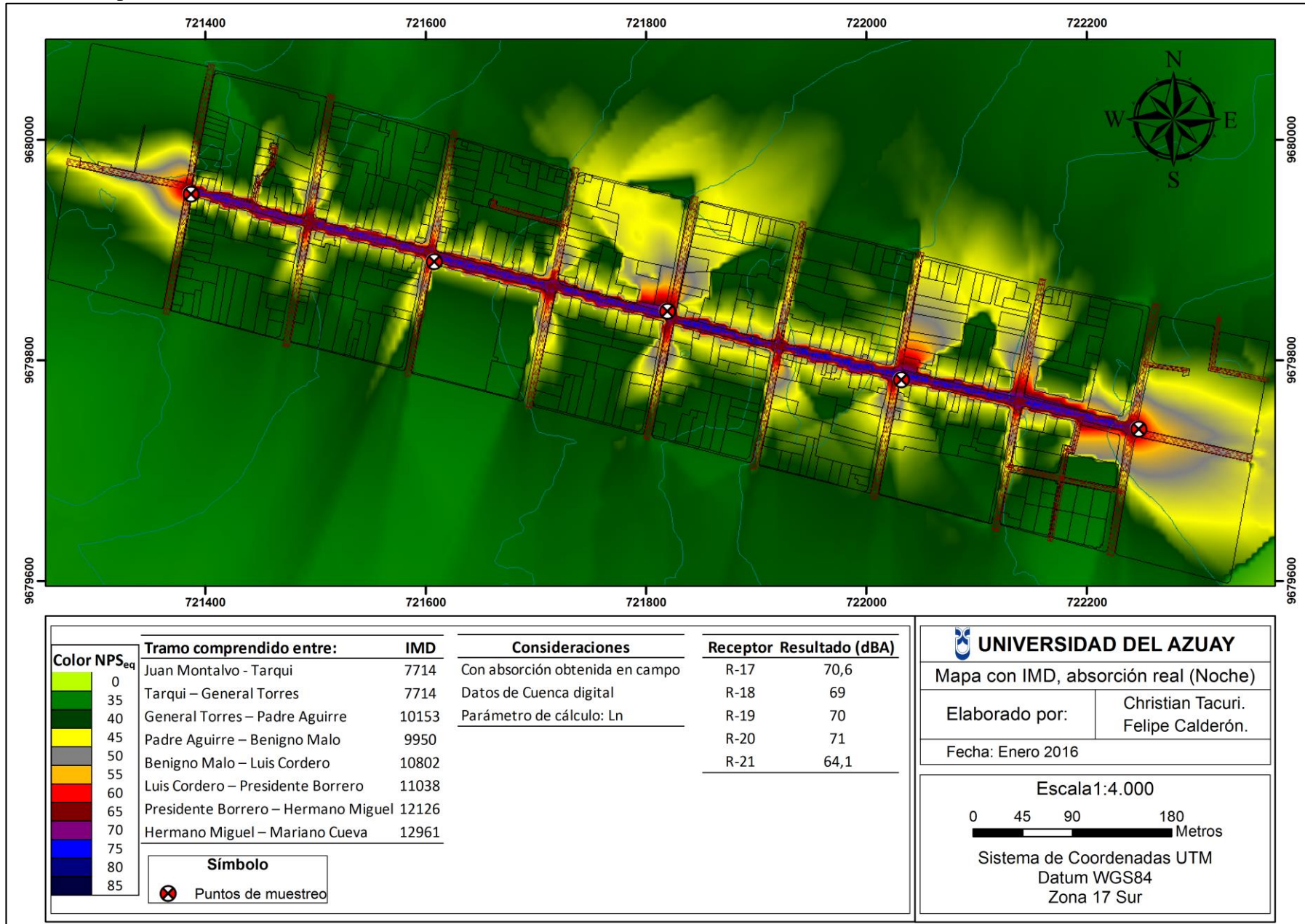




Anexo 13j: Mapa con IMD, absorción real (Día).

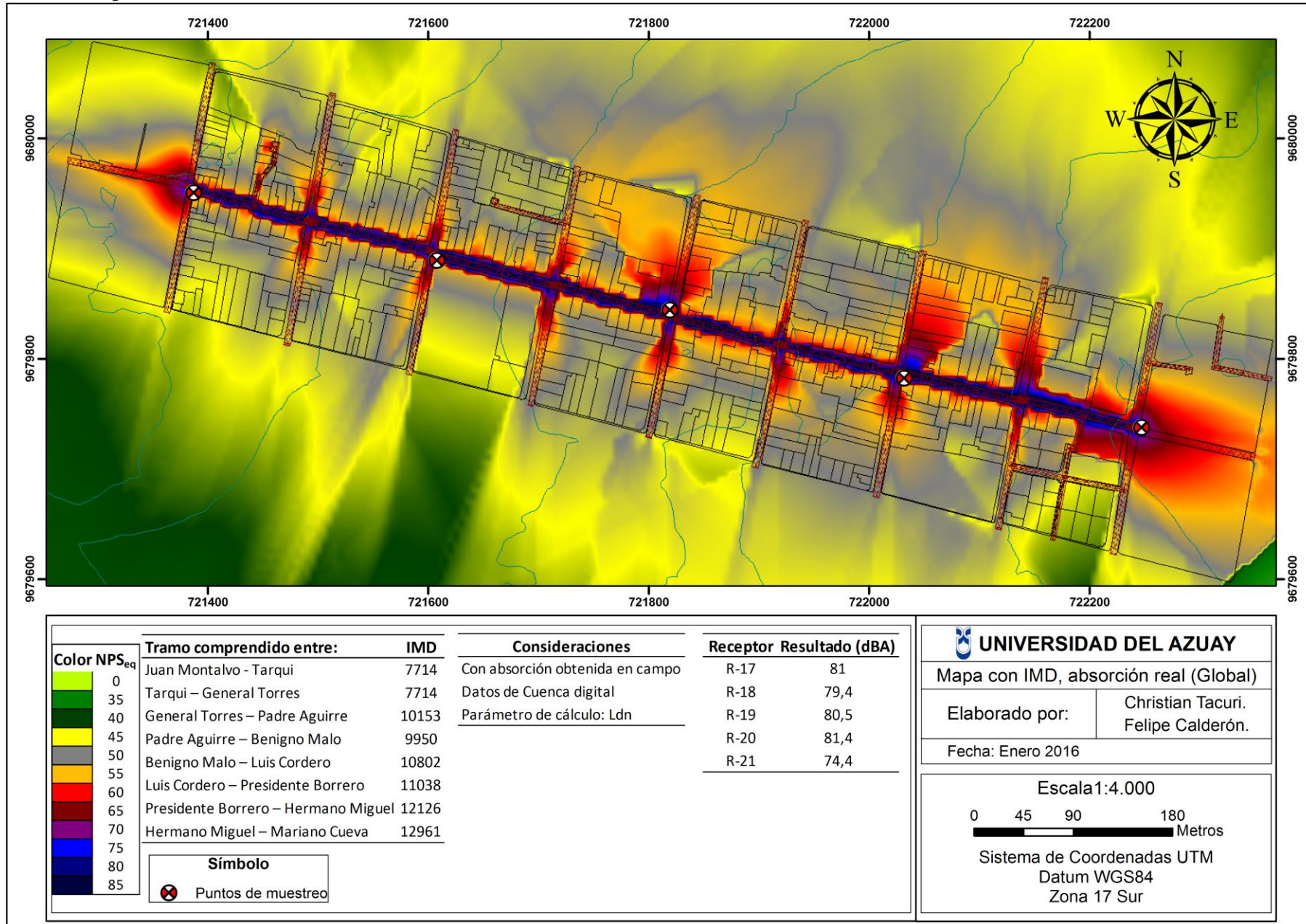


Anexo 13k: Mapa con IMD, absorción real (Noche).



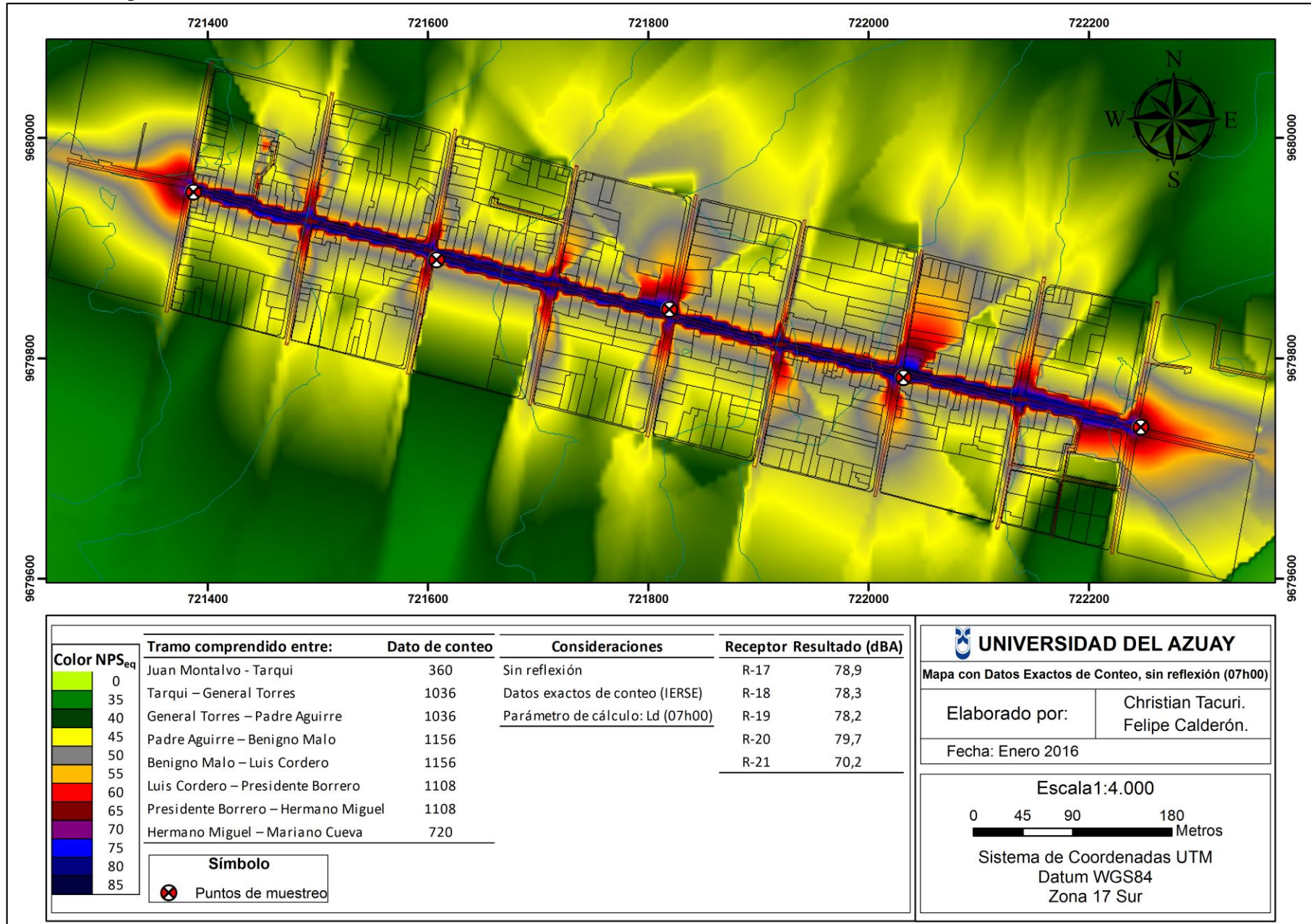


Anexo 13l: Mapa con IMD, absorción real (Global).



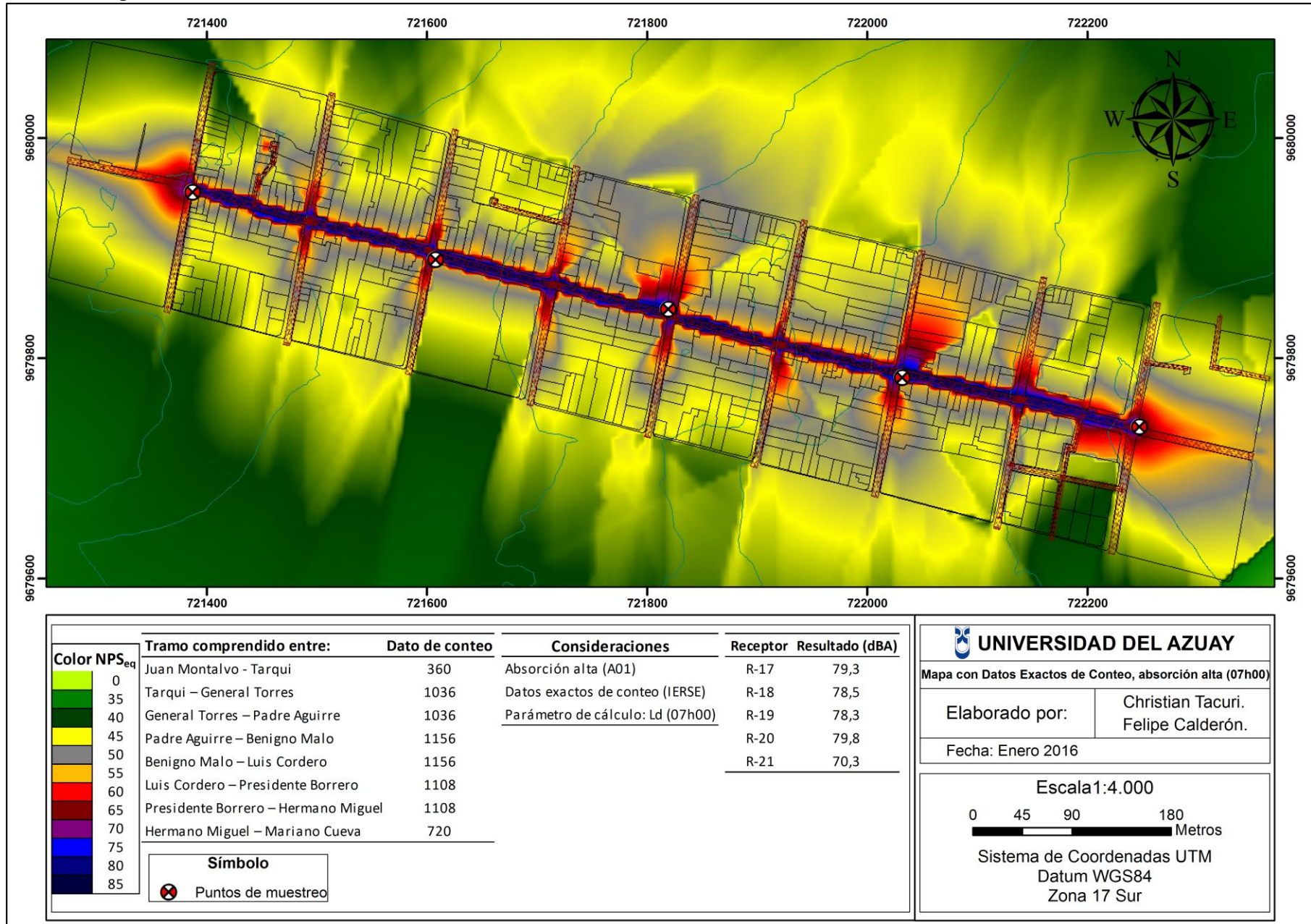


Anexo 13m: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (07h00).



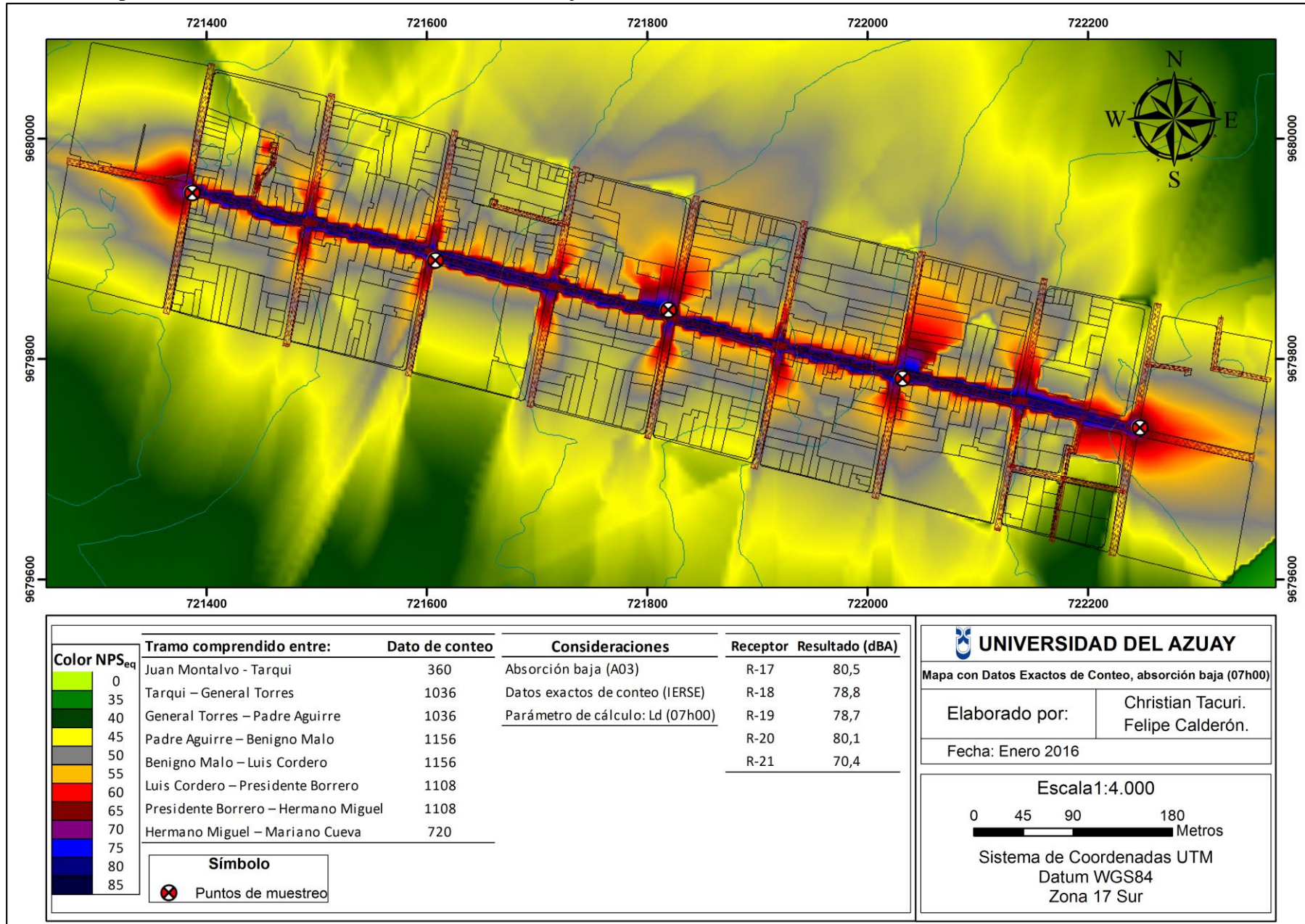


Anexo 13n: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, absorción alta (07h00).



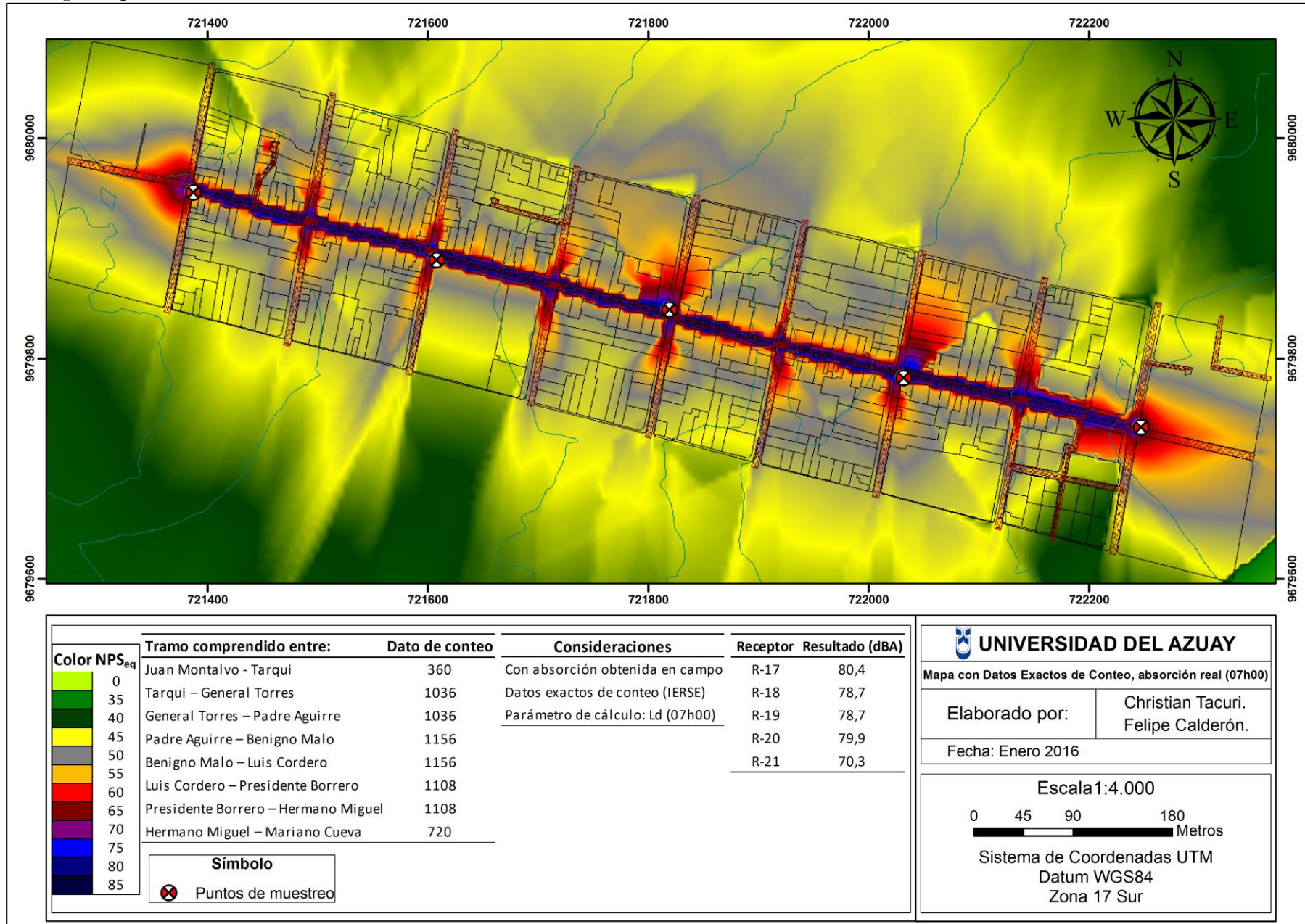


Anexo 13o: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, absorción baja (07h00).

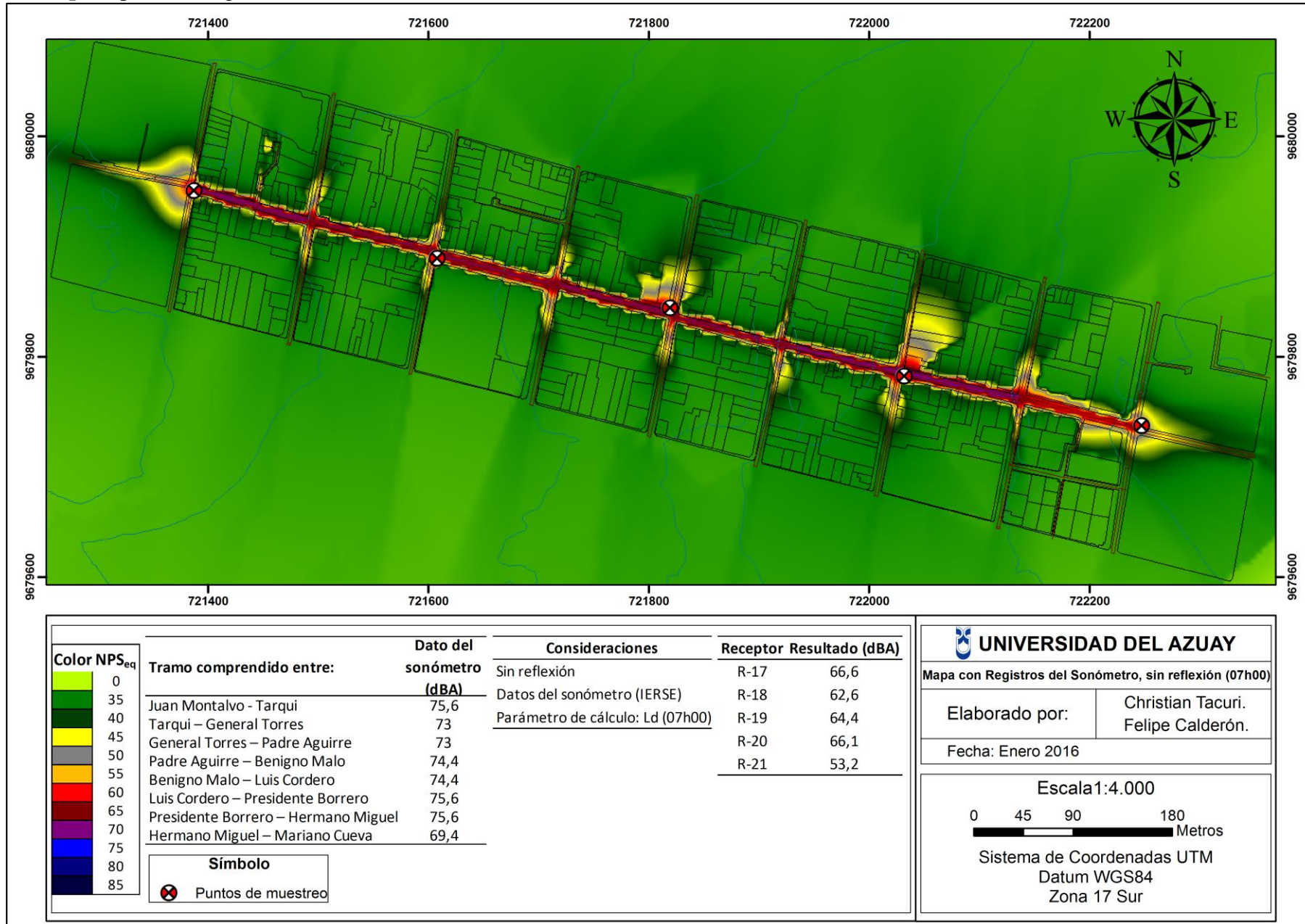




Anexo 13p: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, absorción real (07h00).

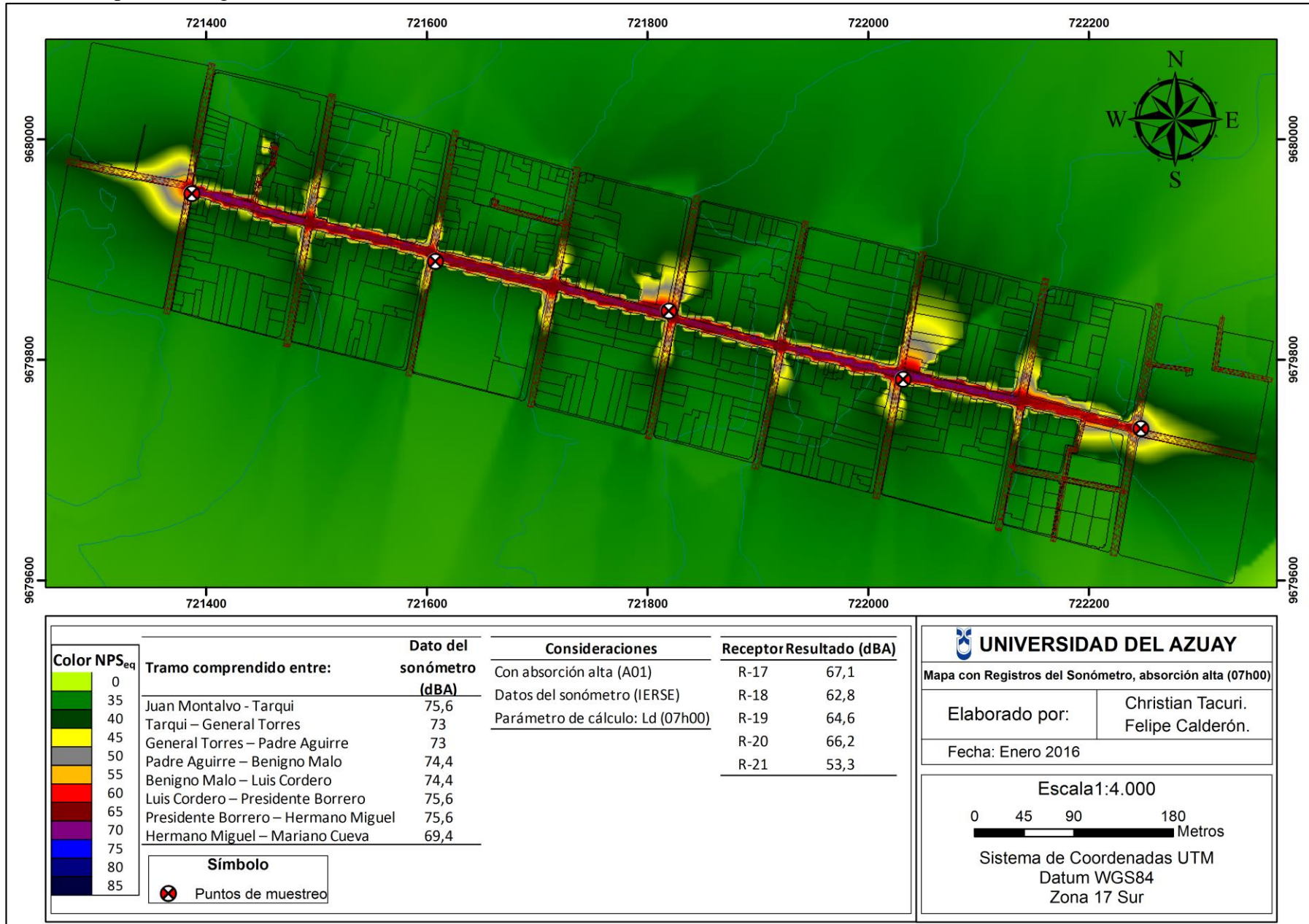


Anexo 13q: Mapa con “Registros del Sonómetro”, sin reflexión (07h00).

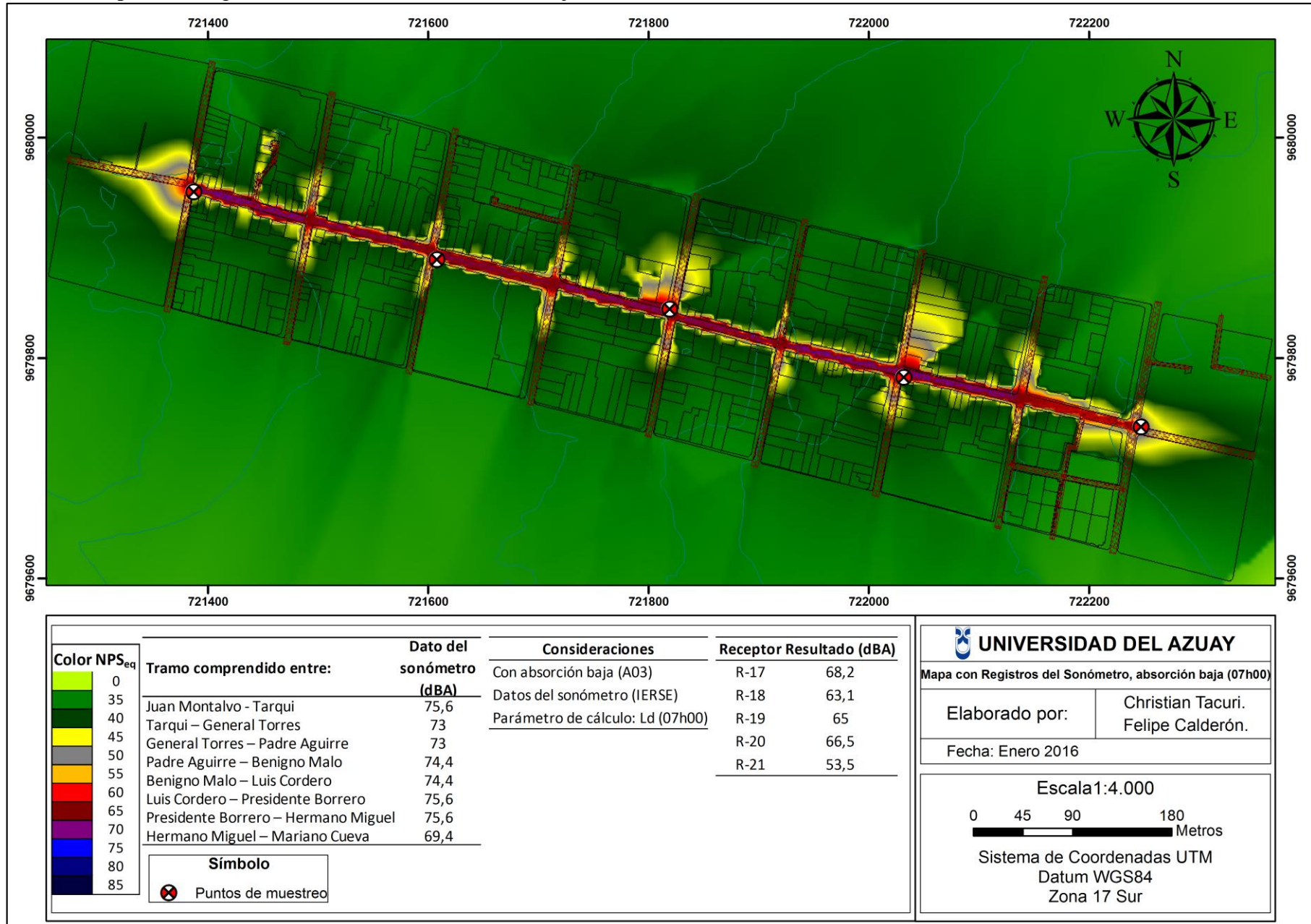




Anexo 13r: Mapa con “Registros del Sonómetro”, absorción alta (07h00).

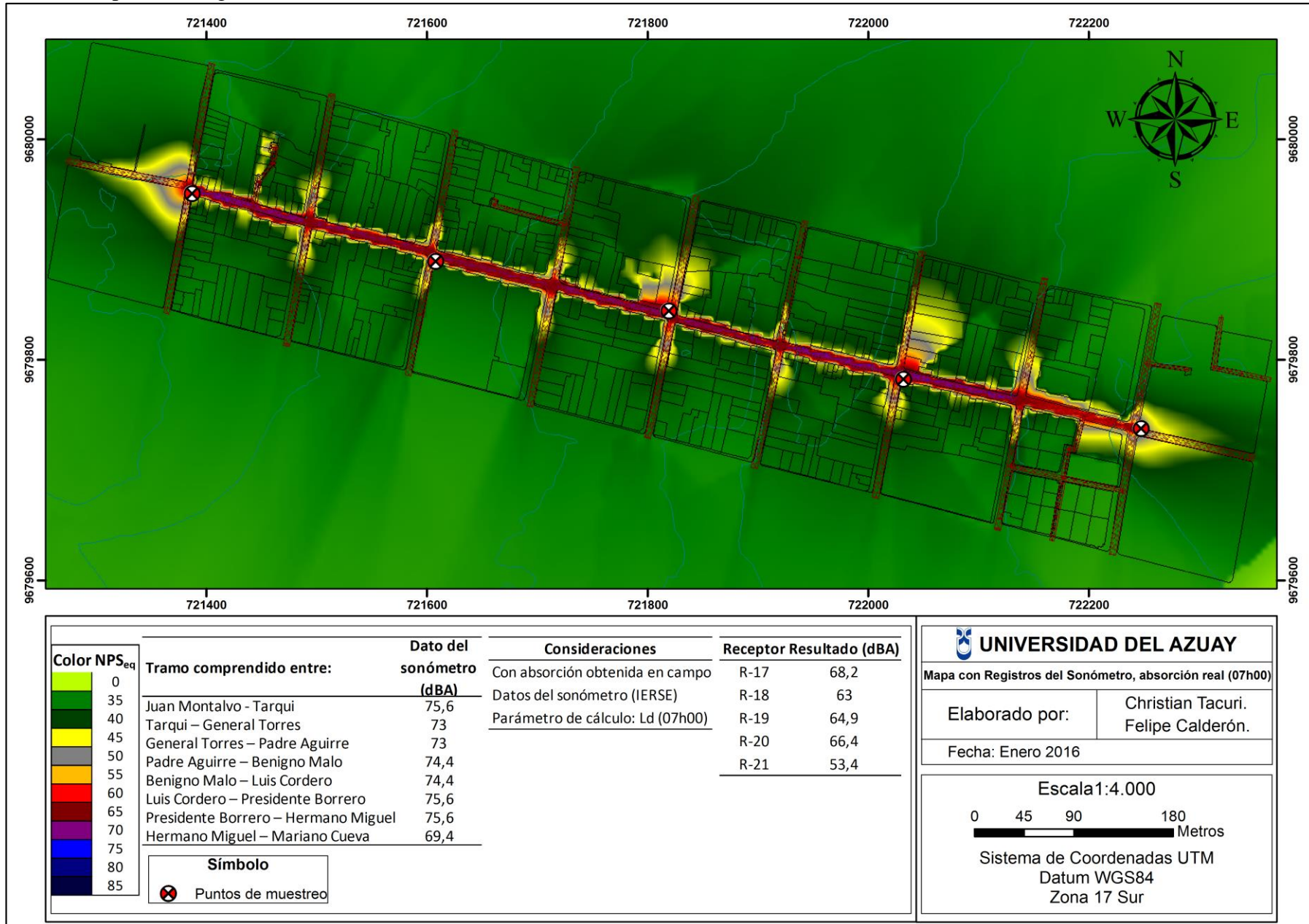


Anexo 13s: Mapa con “Registros del Sonómetro”, absorción baja (07h00).



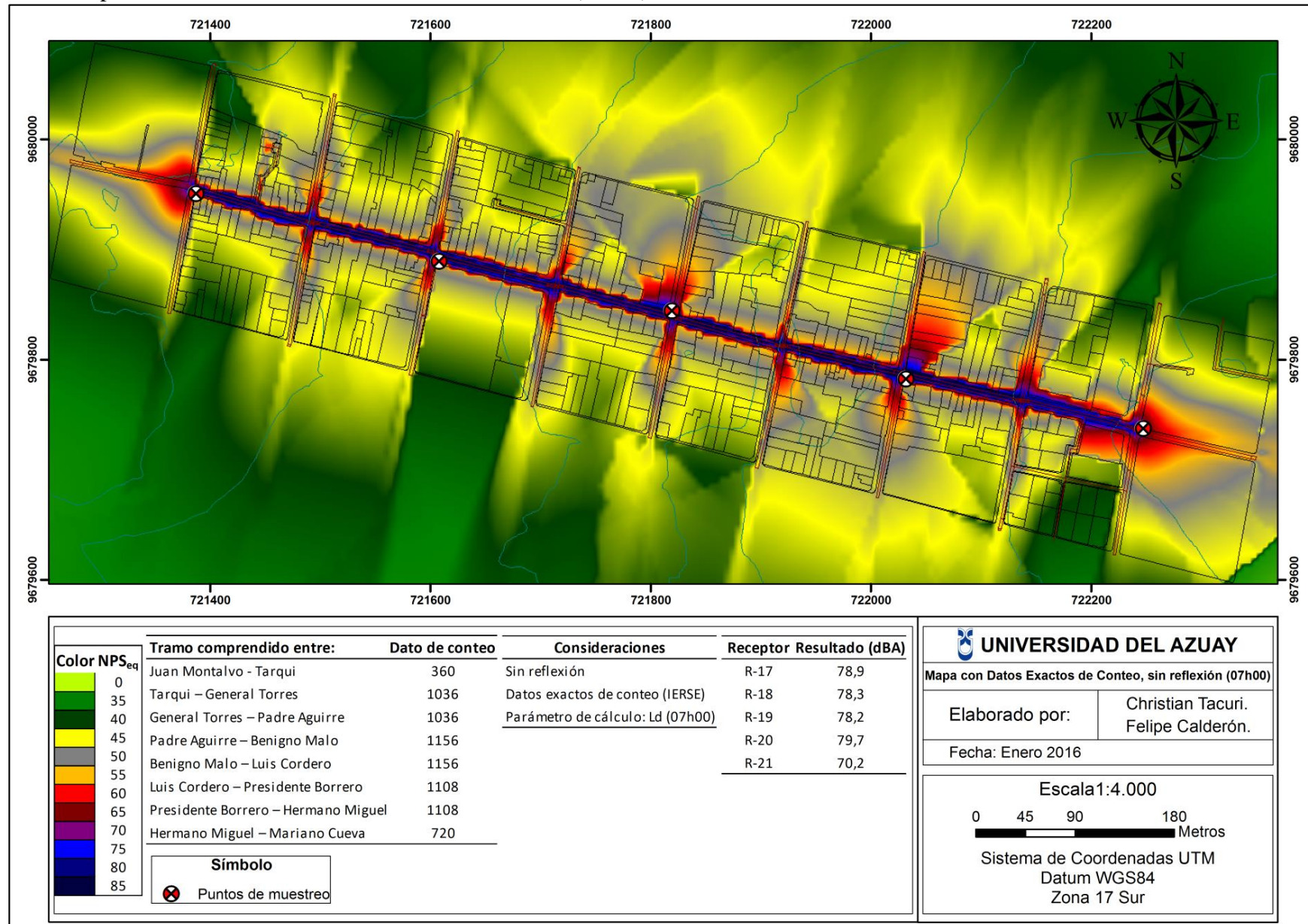


Anexo 13t: Mapa con “Registros del Sonómetro”, absorción real (07h00).



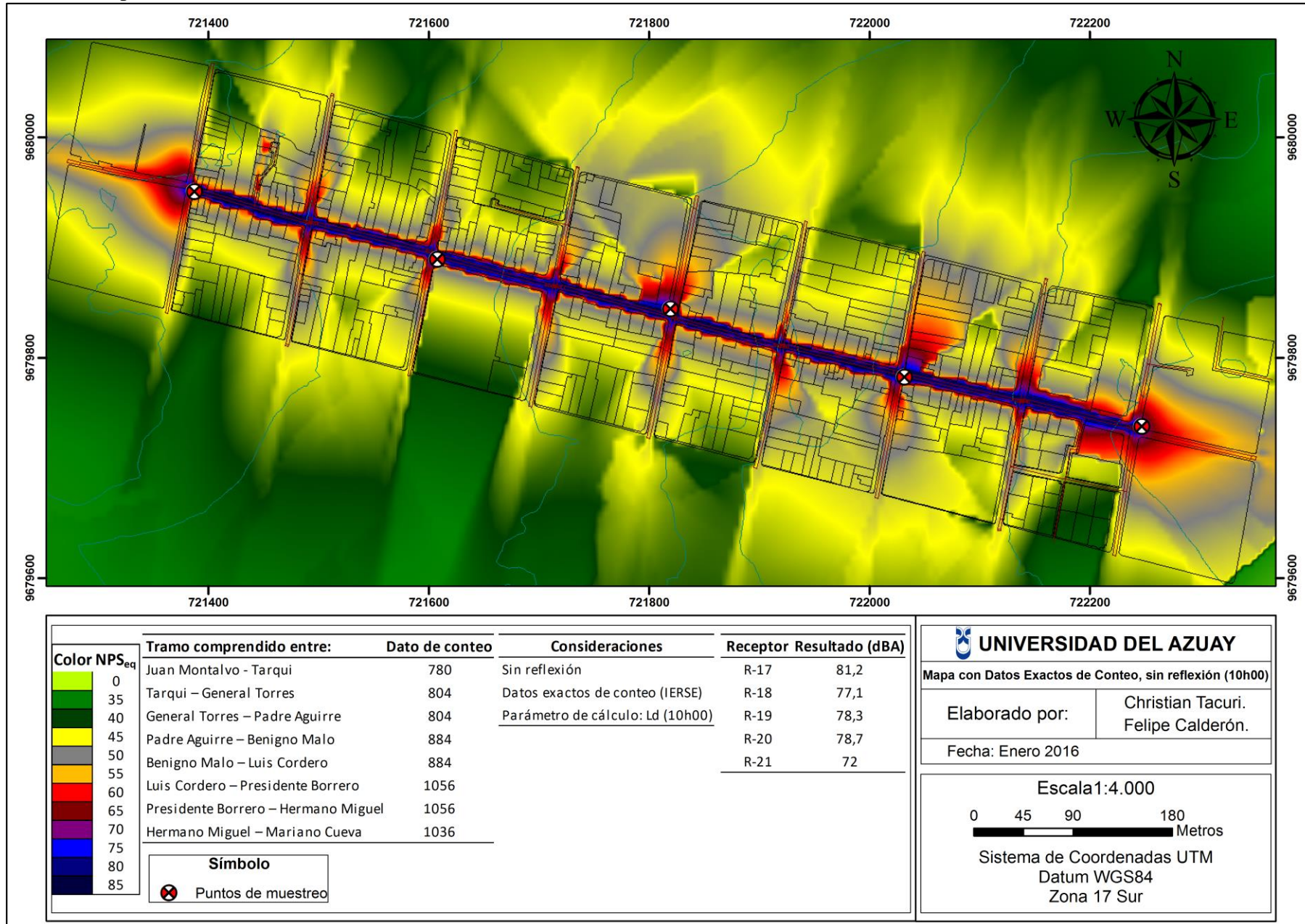
**Anexo 14:** Mapas de ruido. Línea base, según el método de “Datos Exactos de Conteo” con las fachadas sin reflexión.

**Anexo 14a:** Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (07h00).



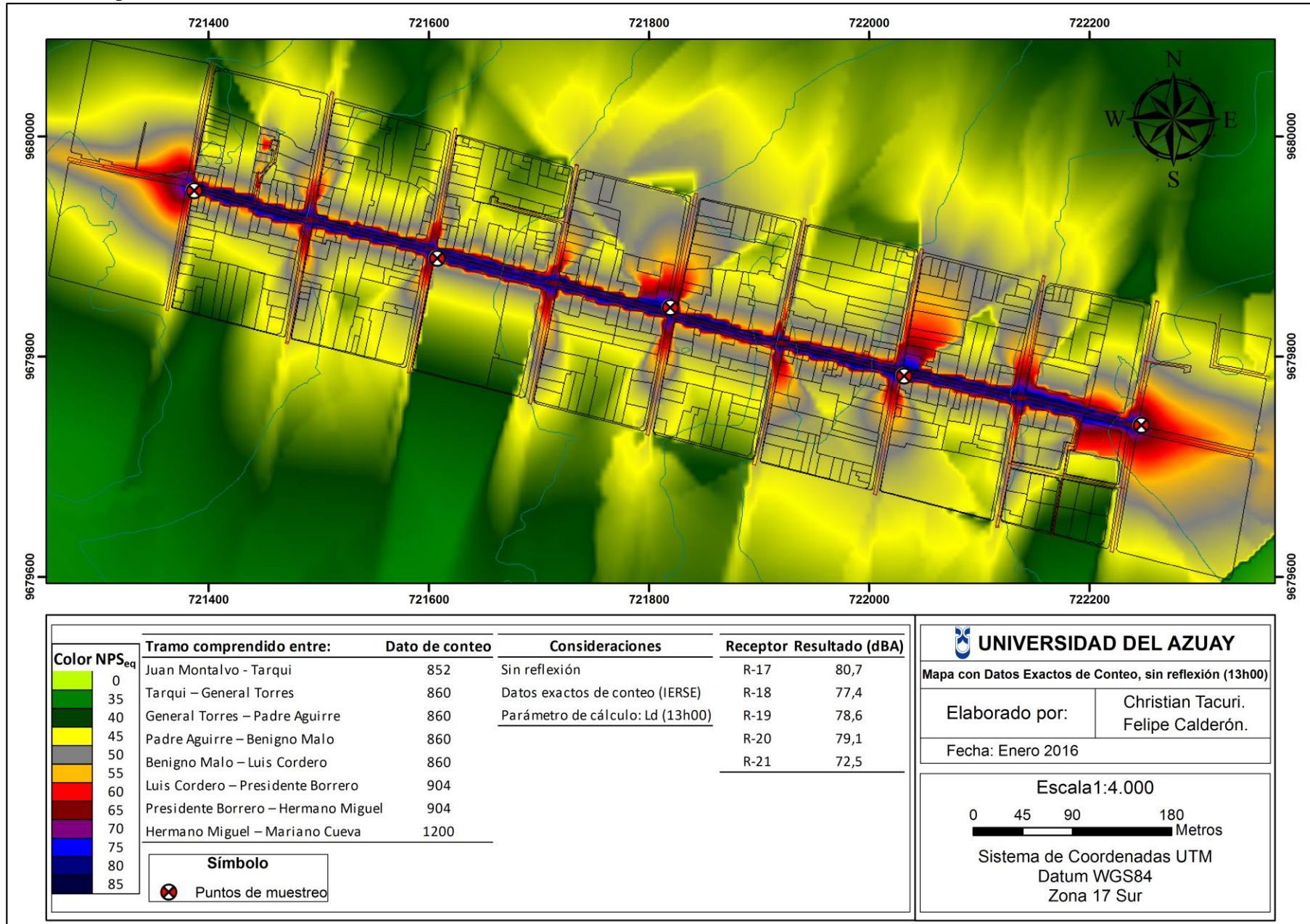


Anexo 14b: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (10h00).



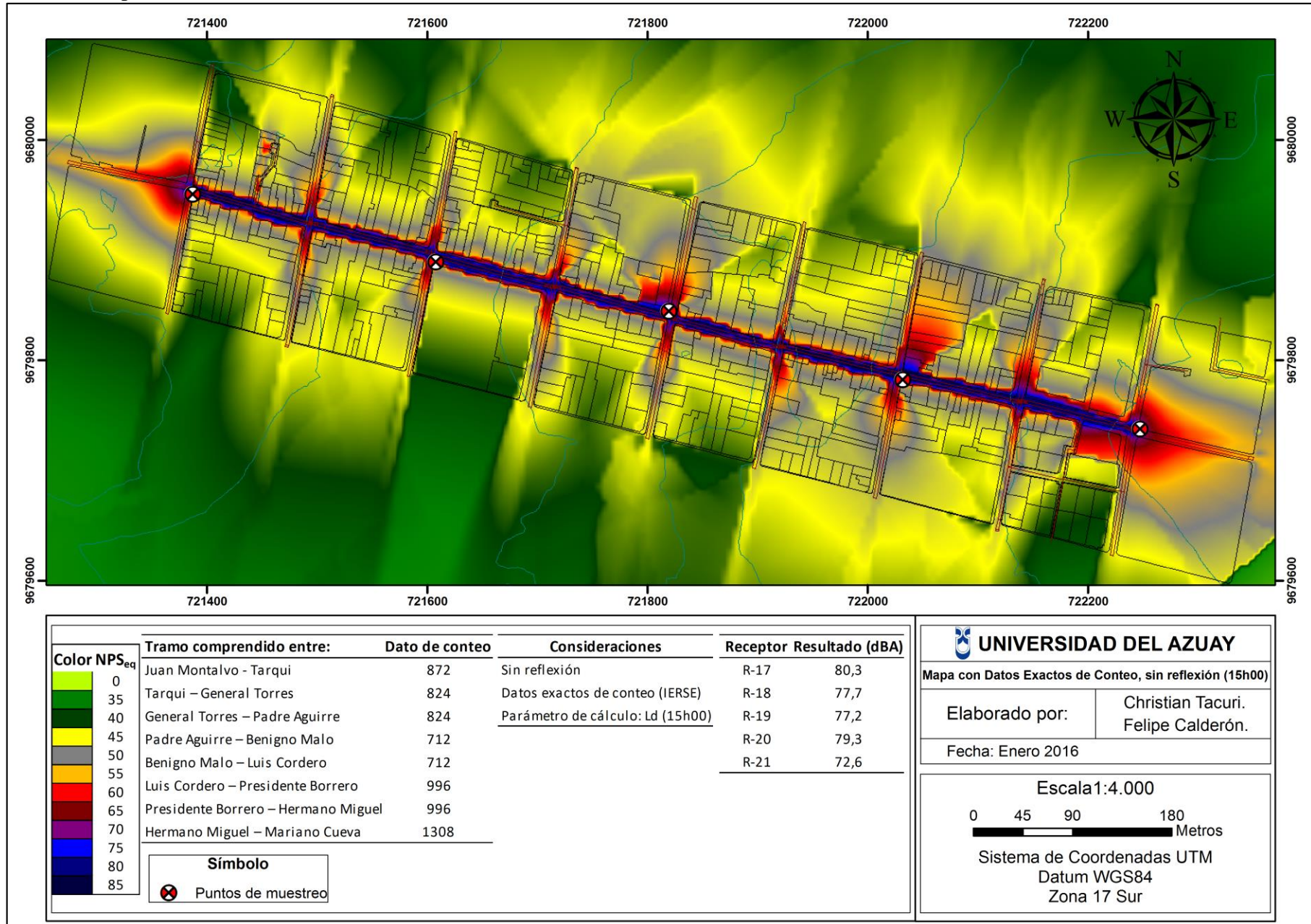


Anexo 14c: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (13h00).

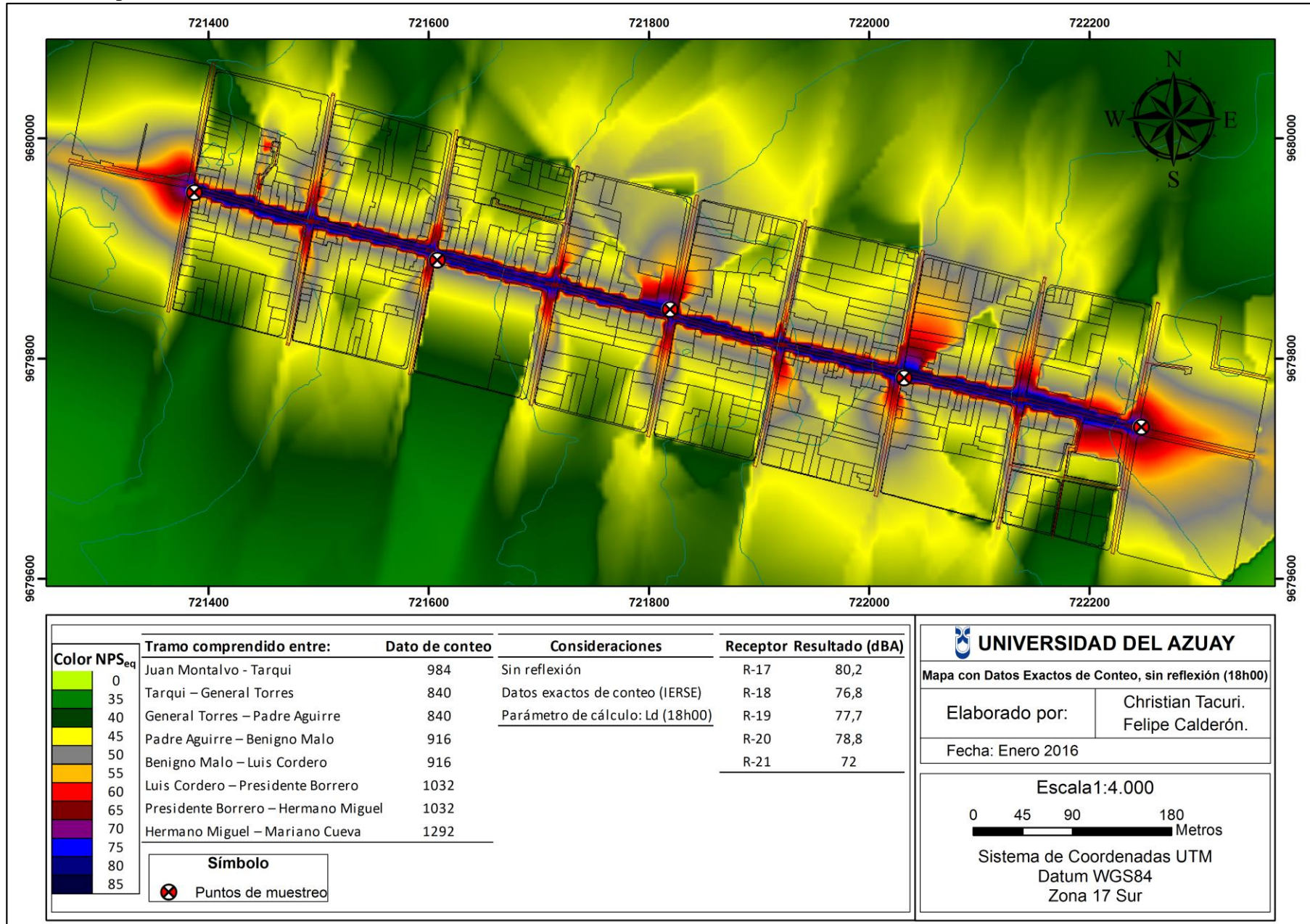




Anexo 14d: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (15h00).

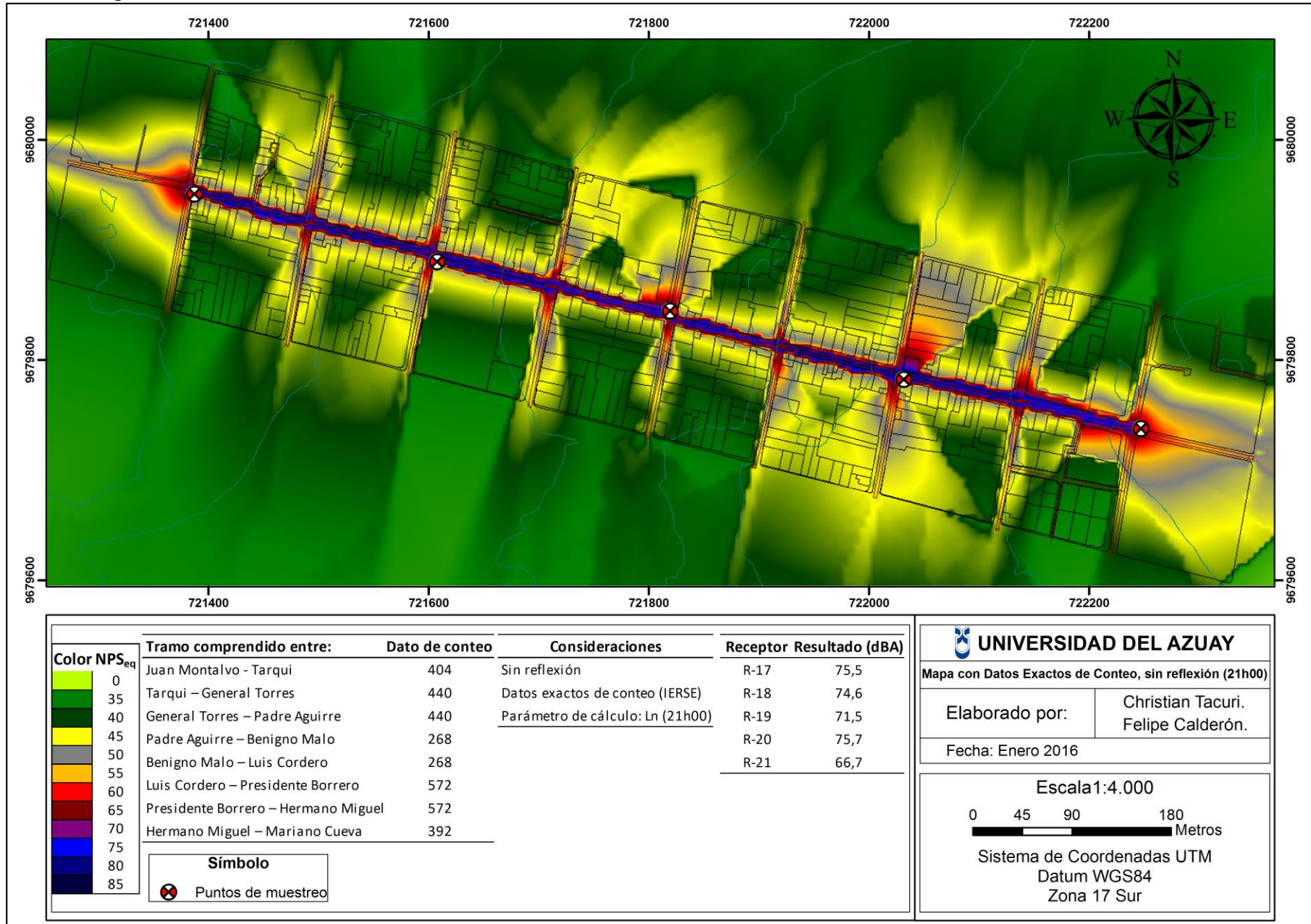


Anexo 14e: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (18h00).





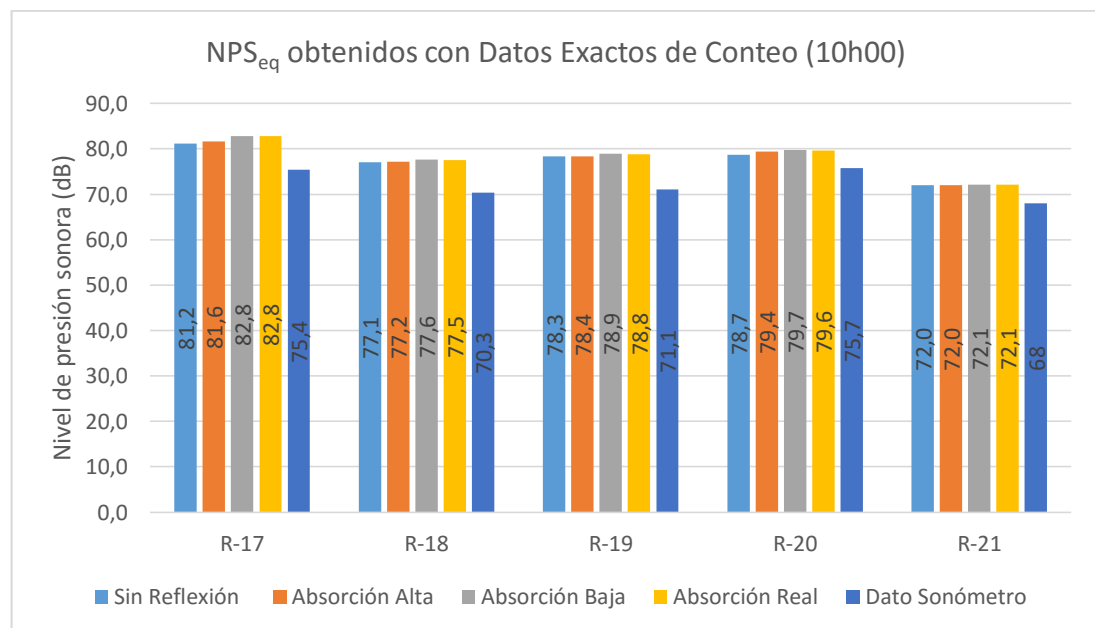
Anexo 14f: Mapa con “Datos Exactos de Conteo”, sin reflexión (21h00).



**Anexo 15:** Comparación de resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo” (10h00).

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción alta	Absorción baja	Absorción Real
10h00	R-17	81,2	81,6	82,8	82,8
	R-18	77,1	77,2	77,6	77,5
	R-19	78,3	78,4	78,9	78,8
	R-20	78,7	79,4	79,7	79,6
	R-21	72,0	72,0	72,1	72,1

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción alta	Absorción baja	Absorción Real
10h00	R-17	<u>5,8</u>	6,2	7,4	7,4
	R-18	<u>6,8</u>	6,9	7,3	7,2
	R-19	<u>7,2</u>	7,3	7,8	7,7
	R-20	<u>3,0</u>	3,7	4,0	3,9
	R-21	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	4,1	4,1
	<b>Promedio</b>	<b>5,4</b>	<b>5,6</b>	<b>6,1</b>	<b>6,1</b>



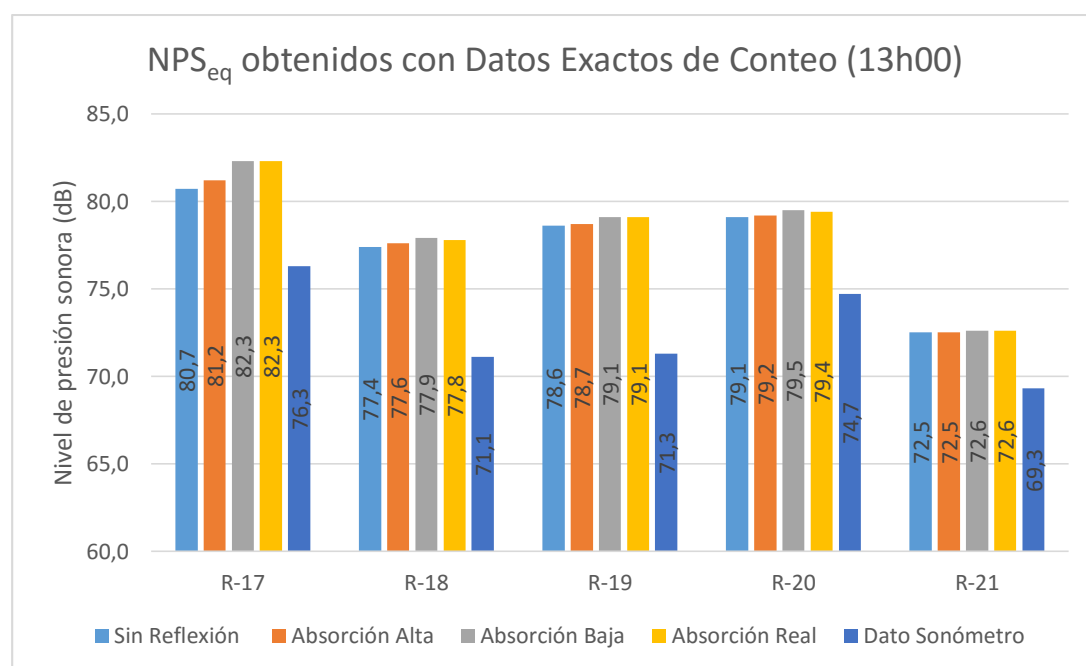
NPS<sub>eq</sub> obtenidos con “Datos Exactos de Conteo” (10h00).



**Anexo 16:** Comparación de resultados de los mapas generados con “Datos Exactos de Conteo” (13h00).

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Calculado)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción alta	Absorción baja	Absorción Real
13H00	R-17	80,7	81,2	82,3	82,3
	R-18	77,4	77,6	77,9	77,8
	R-19	78,6	78,7	79,1	79,1
	R-20	79,1	79,2	79,5	79,4
	R-21	72,5	72,5	72,6	72,6

DATOS EXACTOS DE CONTEO (Diferencia respecto a mediciones del sonómetro)					
	Receptor	Sin Reflexión	Absorción alta	Absorción baja	Absorción Real
13H00	R-17	<u>4,4</u>	4,9	6,0	6,0
	R-18	<u>6,3</u>	6,5	6,8	6,7
	R-19	<u>7,3</u>	7,4	7,8	7,8
	R-20	<u>4,4</u>	4,5	4,8	4,7
	R-21	<u>3,2</u>	<u>3,2</u>	3,3	3,3
	<b>Promedio</b>	<b>5,1</b>	<b>5,3</b>	<b>5,7</b>	<b>5,7</b>



NPS<sub>eq</sub> obtenidos con “Datos Exactos de Conteo” (13h00).