

Validación de técnicas de monitoreo para la estimación de contaminación acústica ambiental en la ciudad de Cuenca.

Maestría en Geomática con mención en Ordenamiento Territorial

Autor:

Ing. Priscila Alexandra Samaniego Placencia

Director:

MSc. Víctor Omar Delgado Inga.

Cuenca, Ecuador 2015

1. DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se los dedico a mi familia. Mi esposo quién me hace inmensamente feliz con sus locuras, amor, comprensión y apoyo, lo que me motiva a levantarme con entusiasmo día a día. Mi padre por su apoyo, amor y ayuda en los momentos difíciles. Mi madre quien con amor me ha enseñado a tener carácter, empeño, perseverancia, y coraje para conseguir mis metas. A mis hermanos —Byron, Rashid, Anabel - por estar siempre presentes y pendientes de mí. A mi sobrinos bellos Joaquín y Vicky quienes son mi alegría y esperanza.

"La felicidad humana generalmente no se logra con grandes golpes de suerte, que pueden ocurrir pocas veces, sino con pequeñas cosas que ocurren todos los días." Benjamín Franklin

2. AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a todo mi equipo IERSE, quienes se han convertido para mí en una familia, agradezco todo el apoyo brindado en todos los momentos, sus palabras de aliento me ayudaron muchas veces a no derrumbarme. Ustedes me vieron formarme como profesional, como persona; gracias por su amistad, su ayuda desinteresada, su cariño y las momentos compartidos.

La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar "

Thomas Chalmers

3. RESUMEN

El ruido es un factor ambiental que incide en la salud de la población y por ende en sus condiciones de vida, este fenómeno va de la mano con el proceso de urbanización, el crecimiento de la población y del parque automotor en el cantón Cuenca. Entre el año 2010 – 2012 registra el 6,72% promedio interanual de incremento de vehículos.

Los niveles de contaminación acústica requieren un monitoreo permanente, según Maisonneuve y otros, existen tres técnicas para evaluación de ruido ambiental:

- Redes distribuidas de sensores (sonómetros).
- Registro de ruido ambiente mediante dispositivos móviles.
- Aplicación de leyes físicas de propagación de ruido: fuente, medio de propagación y características del entorno (# vehículos, ancho de vía, tipo de calzada, tipo de vía).

Con el trabajo de tesis se pretende conocer si las dos últimas técnicas planteadas son fiables con respecto a los resultados generados por un sensor de ruido especializado – sonómetro-.

4. PALABRAS CLAVE.

Ruido Ambiente, Contaminación acústica, Datakustik CadnaA, Redes distribuidas de sensores, Dispositivos móviles, Noise Tube, Sonómetro.

ABSTRACT

Noise is an environmental factor that affects the health of the population and as a consequence, their living conditions. This phenomenon goes hand in hand with the process of urbanization, population growth and the vehicle fleet in the canton Cuenca. An annual average of 6.72 % increase in vehicles is registered between 2010 and 2012.

Noise contamination levels require permanent monitoring. According to Maisonneuve and others, there are three techniques to evaluate environmental noise:

- Distributed sensor networks (sound level meters).
- Registration of active noise via mobile devices.
- Application of physical laws of noise propagation: source, means of propagation and environment characteristics (# vehicle, road width, type of road).

The thesis aims to determine whether the last two techniques proposed, are reliable regarding the results generated by a specialized sensor noise - sound level meters -.

Dpto. Idiomas

Lic. Lourdes Crespo

5.	INDICE DE CONTENIDO										
	1.	INT	ROD	UCCIÓN	9						
	2.	MA	TERI	ALES Y MÉTODOS	. 14						
	C	Grafico 1. Diagrama de flujo del desarrollo de aplicacióniError! Marcador no definido.									
	2	2.1.	Pre	paratoria	. 15						
		2.1.	1	Identificar el área de estudio:	. 15						
		2.1.	2	Horario de levantamiento:	. 15						
		2.1.	3	Selección de aplicaciones móviles de levantamiento de ruido:	. 15						
		2.1.	4	Selección y configuración de equipos (sonómetro y dispositivos móviles)	. 16						
		2.1.4.1 siguiente		Selección de equipos: para el presente estudio se han utilizado los s equipos	. 16						
		2.1.	4.2	Configuración.	. 17						
		2.1.	4.2.1	Sonómetro.	. 17						
		2.1.	4.2.2	Dispositivo Móvil	. 20						
	2	2.2.	Lev	antamiento de datos	. 20						
	2	2.3.	Des	carga y estructuración de datos	. 21						
		2.3.	1.	Descarga de datos	. 21						
		2.3.	2.	Estructuración de datos	. 22						
	2	2.4.	Pro	cesamiento de datos	. 23						
		2.4. el s		Generación de modelos de distribución espacial de ruido ambiente median re Datakustik CadnaA							
	2	2.5.	Aná	lisis	. 26						
		2.5.	1.	Comparación entre las diferentes técnicas utilizadas.	. 27						
			1.1. antado	Correlación entre los datos levantados con el sonómetro y los datos os con el dispositivo móvil	. 27						
		_	1.2. erado	Correlación entre los modelos de propagación de ruido ambiente os con el software CadnaA	. 27						
	3.	RES	SULT	ADOS	. 28						
				ón entre los datos levantados con el sonómetro y los datos levantados con o móvil							
				ón entre los modelos de propagación de ruido ambiente generados con el CadnaA	. 29						
	4.	DIS	CUS	ÓN	. 32						
	5.	CO	NCLL	JSIÓN	. 34						
	6.	SU	GERE	NCIAS¡Error! Marcador no defini	ido.						
	7.	REF	ERE	NCIAS BIBLIOGRÁFICAS	. 36						

6. INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Figuras:
Figura 1: Salud y Niveles de ruido - Instituto Botanical España
Figura 2: Materiales y Métodos14
Figura 3: Interfaz aplicación móvil Noisetube
Figura 4: Visualización de la ciudad de Cuenca con datos Noisetube en Google Earth 16
Figura 5: Sonómetro 3M™
Figura 6: Teléfono celular Samsung Galaxy S3 mini
Figura 7: Sonómetro SoundPro y sus partes
Figura 9: Micrófono y su calibración
Figura 10: Pantalla de viento o WindScreen
Figura 11: Configuración de preferencias de la aplicación NoiseTube
Figura 12: Visualización de una medición de ruido ambiente en el software QuestSuite
Professional II
Figura 13: Directorio de almacenamiento de datos NoiseTube en el dispositivo móvil 21
Figura 14: Muestra de datos de la tabla de atributos del archivo shape de vías unidad cada
dos cuadras
Figura 15: Ejemplo de unión de vías entre los puntos de muestreo
Figura 16: Pantalla de Datakustik CadnaA - datos requeridos para la forma de cálculo 2 24
Figura 17: Pantalla de Datakustik CadnaA - datos requeridos para la forma de cálculo 325
Figura 18: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre los datos levantados con el
dispositivo móvil y el sonómetro, en los diferentes horarios
Figura 19: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre las mallas ráster generadas con los datos del Sonómetro y Aplicación móvil (NoiseTube)
Figura 20: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre las mallas ráster generadas
con los datos del sonómetro y variables del entorno
Tablas:
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012 11
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 201211 Tabla 2: Resultado del análisis estadístico de datos de ruido levantados mediante las
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012 11
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012
Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012

Anexo 7f: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00 – Sonómetro	48
Anexo 7g: Mapa de propagación de ruido ambiente en horario diurno – Sonómetro	49
Anexo 7h: Mapa de propagación de ruido ambiente en horario nocturno – Sonómetro	50
Anexo 7i: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 7H00 - NoiseTube	51
Anexo 7j: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 10H00	52
Anexo 7k: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 13H00	53
Anexo 7I: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 15H00	54
Anexo 7m: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 18H00	55
Anexo 7n: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00	56
Anexo 7o: Mapa de propagación de ruido ambiente en el día	
Anexo 7p: Mapa de propagación de ruido ambiente en la noche	58
Anexo 7q: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 7H00	59
Anexo 7r: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 10H00	60
Anexo 7s: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 13H00	61
Anexo 7t: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 15H00	62
Anexo 7u: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 18H00	63
Anexo 7v: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00	64
Anexo 7w: Mapa de propagación de ruido ambiente en el día	
Anexo 7x: Mapa de propagación de ruido ambiente en la noche	66
Anexo 8 Análisis de mallas ráster entre los datos del sonómetro y de la aplicación móvil,	en
los diferentes horarios establecidos	67
Anexo 9: Análisis comparativo entre las técnicas de captura de datos -sonómetro y	
variables del entorno (vías y vehículos)	75

Priscila Alexandra Samaniego Placencia Trabajo de Graduación MSc. Víctor Omar Delgado Inga. Marzo, 2015

Validación de técnicas de monitoreo para la estimación de contaminación acústica ambiental en la ciudad de Cuenca.

1. INTRODUCCIÓN

Definimos a la contaminación acústica como la presencia de ruido¹ o vibraciones que generan molestia, riesgo o daño para las personas o para el desarrollo de sus actividades independientemente de quién sea el emisor (Martínez & Peters, 2013). Existen 3 tipos de ruido en ingeniería acústica: ruido de impacto², ruido blanco³ y ruido ambiente⁴, en este último se sitúa nuestro objeto de estudio.

La percepción del sonido por el oído humano es compleja, esta depende de la frecuencia⁵ y del nivel de presión sonora⁶ de la onda sonora, sin existir linealidad entre las dos variables, por tanto cuando se desea valorar los riesgos derivados de la exposición al ruido, se debe lograr que la medida del ruido sea de algún modo el reflejo de la forma en que la persona percibe el ruido; lo que da lugar a las cuatro escalas de ponderación⁷ denominadas A, B, C, D, que han quedado internacionalmente aceptadas a través de la ISO. Estas escalas se encuentran en los equipos sonómetros para corregir sus lecturas adaptándolas a la respuesta del oído. (Möser, 2009)

¹ Ruido: Es un nivel de presión sonora elevado, es decir todo sonido intenso, no deseado que interfiere en la comunicación entre las personas o en sus actividades.

² Ruido de impacto: Ruido que se engendra por un impacto que se transmite por la estructura, como el de pisadas o portazos.

³ Ruido blanco: Sonido o ruido de espectro continuo y uniforme, y de igual intensidad en todas las frecuencias de una banda dada.

⁴ Ruido Ambiente: Ruido procedente de todas las fuentes, tanto exterior como interior, que no se pueden identificar con claridad. También llamado ruido de fondo, sonido de ambiente.

⁵ Frecuencia: Número de variaciones de presión sonora que se produce en un segundo. Se mide en hercios, Hz.

⁶ Nivel de presión sonora: determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado), se mide en decibelios (dB) y varía entre 0 dB umbral de audición y 120 dB umbral de dolor.

Escalas de ponderación: atenuación al oído cuando soporta niveles de presión sonora: A(<55dB),B(55-85 dB),C(>85 dB),D(>120 dB),

El ruido se ha convertido en uno de los factores ambientales que incide y agrava las condiciones de vida y salud de la población; una exposición prolongada al ruido ambiental pueden provocar trastornos del sueño, discapacidades auditivas, problemas cardiovasculares e incluso inestabilidad mental (Goines, L., Hagler, L, 2007) (Trombetta Zannin, 2002). En la siguiente figura se muestra diferentes niveles de intensidad del sonido y cómo influye directamente en la salud.

SALUD Y NIVELES DE RUIDO

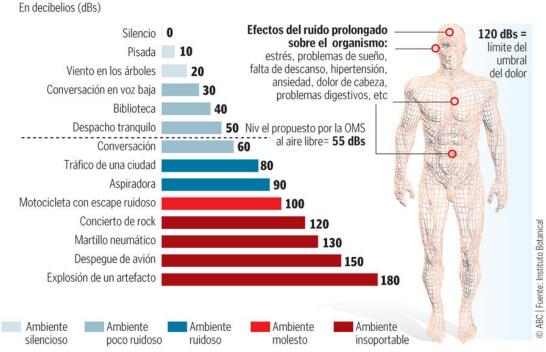


Figura 1: Salud y Niveles de ruido - Instituto Botanical España

El ser humano en varias ocasiones no es consciente de los efectos que ocasionan los niveles elevados de presión sonora, pues no se manifiestan de forma inmediata, lo hacen a largo plazo y no se percibe con claridad la relación causa – efecto (OCDE, 1995).

Este fenómeno va de la mano con el desarrollo de la sociedad y como respuesta a los cambios que se han dado en la actualidad debido a tendencias sociales como el crecimiento, densificación, concentración de la población (Sanz, 2003) y principalmente se atribuye en un 80% al ruido generado del tráfico vehicular (Quintero, 2012), que con sus mecanismos, motores y roce de neumáticos con el pavimento son los máximos responsables del ruido en la ciudad, que en los últimos años ha aumentado debido al incremento anual del parque automotor en el cantón Cuenca, que hasta el año 2012 registra 95337 vehículos y un porcentaje promedio interanual de incremento del 6,72%, de acuerdo al informe de calidad de aire del cantón Cuenca (EMOV, 2012)

Año	# vehículos	% incremento anual
2010	83706	-
2011	89840	7.32%
2012	95337	6.11%

Tabla 1: Vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular EMOV 2012

En el Ecuador, a través del Libro VI Anexo 5 del Texto unificado de Legislación Ambiental (TULSMA), establece los niveles permisibles de ruido ambiente y procedimientos a utilizar para la determinación de éstos; las mediciones fueron realizadas mediante un sonómetro previamente calibrado. (TULSMA, 2013).

El monitoreo del entorno que nos rodea es muy importante para conocer el estado de la cuidad y sus tendencias de desarrollo; hoy en día con el avance tecnológico es posible monitorear cualquier parámetro cuantificable como es el nivel de ruido.

En el año 2009 se realizaron las primeras mediciones de ruido ambiente ⁸con un sonómetro sobre 23 sitios de muestreo en 4 horarios; que se realizó a través del estudio del índice de calidad ambiental urbana de la ciudad de Cuenca (ICAUC) mediante un convenio entre la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) y la Universidad del Azuay (UDA), en el que se empleó el método de interpolación IDW para crear el mapa de ruido de la ciudad, lo que permitió conocer la situación inicial de contaminación acústica.

En marzo de 2012 la Ilustre Municipalidad de Cuenca, a través de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA), invitó a la Universidad del Azuay a presentar una propuesta para la "ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO DEL ÁREA URBANA DE CUENCA", el cual fue realizado con un sonómetro en 30 sitios de muestreo, en 6 horarios que corresponden a las horas pico de entrada y salida de la población al centro de la ciudad.

En el mes de mayo de 2014 se realizaron mediciones de ruido ambiente en los 30 sitios de monitoreo en los mismos 6 horarios de los años anteriores, a través de un convenio con la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) para la "Evaluación de emisiones sonoras del área urbana de la ciudad de Cuenca y Mapa de ruido 2014".

Según (Maisonneuve, 2010) y otros existen tres aproximaciones para evaluar el ruido ambiental:

⁸ Ruido ambiente: sonidos poco agradables e incluso dañinos que modifican las condiciones consideradas normales o tolerables en una cierta región. Es generado por acciones del ser humano.

- 1. Redes distribuidas de sensores (sonómetros).
- Aplicación de leyes físicas de propagación de ruido: fuente de ruido, medio de propagación y características del entorno(# vehículos, ancho de vía, tipo de calzada, tipo de vía).
- 3. Registro de ruido ambiente mediante dispositivos móviles, incentivando la participación voluntaria de la población.

La contaminación acústica es un fenómeno que ocurre en la ciudad, con diferente intensidad espacio-temporal⁹. De las técnicas mencionadas, la que se ha aplicado en la ciudad de Cuenca es la primera -registro de ruido ambiente con un sonómetro- que permite tener mediciones de alta calidad, pero es muy costoso obtener un muestreo denso, por tanto, estos generan resultados con valores medios y no consideran parámetros externos lo que puede implicar deducciones erróneas. (D'Hondt, 2011)

La segunda técnica mencionada por Maisonneuve señala que mediante modelos de simulación de propagación de ruido se puede determinar la contaminación acústica de la ciudad. Éstos trabajan con parámetros independientes a los niveles de ruido medidos por un equipo, como son: número de vehículos, ancho de vía, material de calzada, tipo de vía, fuente de ruido y el medio de propagación.

La tercera técnica que consiste en la recolección de información de ruido ambiental mediante dispositivos móviles, incentivando la participación pública, que nos permitiría obtener eficacia espacio-temporal (Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., & Steels, L., 2009). A nivel internacional existen proyectos de monitoreo participativo mediante teléfonos inteligentes como por ejemplo el proyecto "*NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones*" (BrusSense group - Vrije Universiteit Brussel, 2010), EarPhone (Rana, 2010) y NoiseSPY (Kanjo, 2010); los cuales se han centrado en el desarrollo tecnológico pero todavía no se ha evaluado adecuadamente, la calidad de la información capturada en comparación con un sonómetro.

Conociendo la situación actual de contaminación acústica de la ciudad y considerando la importancia de este fenómeno, se ve la necesidad de optimizar el monitoreo de ruido ambiental a nivel espacio temporal, utilizando nuevas técnicas de evaluación de ruido ambiente – modelos de simulación y registro con dispositivos móviles-. Para atender a esta necesidad, es importante conocer que tan fiables son estas nuevas técnicas con respecto a los resultados generados por un sensor de ruido especializado –sonómetro¹⁰-, lo que nos lleva a plantear el siguiente estudio de investigación en una zona de la ciudad de Cuenca y

⁹ Espacio-temporal: considera unificadamente la localización geométrica en el espacio y el tiempo. ¹⁰ Sonómetro: nos permite medir el nivel de presión sonora. Los resultados los expresa en decibeles (dB). Para determinar el daño auditivo, el equipo trabaja utilizando una escala de ponderación "A" que mide sólo las frecuencias a las que el oído humano es más sensible.

de acuerdo a los resultados que se obtengan, replicar estas técnicas en el monitoreo de ruido ambiente en el área urbana de la ciudad.

El objetivo de este estudio es evaluar y validar las dos técnicas de estimación de ruido ambiente: modelos de simulación y registro con dispositivos móviles con respecto a los resultados obtenidos con un sonómetro que constituiría la información de levantamiento directo, de esta manera se contará con un diagnóstico de ruido ambiente de un área determinada de la ciudad y se verificará la fiabilidad de las técnicas empleadas. La zona de estudio corresponde al centro histórico de la ciudad de Cuenca.

Los objetivos específicos:

- Levantar información mediante tres técnicas: sonómetro, dispositivos móviles y características del entorno (# vehículos, ancho de vía, tipo de calzada, tipo de vía).
- Sistematizar la información de cada técnica utilizada.
- Generar modelos de distribución espacial de ruido ambiente con las técnicas empleadas.
- Evaluar los modelos de distribución generados con las técnicas estudiadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en 5 fases:

2.1 Preparatoria

- · Identificación del área de estudio
- Definición de los sitios de muestreo
- Determinación el horario de levantamiento
- · Selecciónla aplicación móvil para medición de ruido ambiente
- Calibración de equipos (sonómetro y dispositivos móviles)

2.2 Levantamiento

- Sonómetro
- · Dispositivos móviles: Noise Tube
- Características del entorno (registro de # de vehículos y características de las vías)

2.3 Descarga y estructuración de datos

- Descarga de datos originales (sonómetro y móvil)
- Estructuración en formato excel
- · Estructuración en formato Shapefile

2.4 Procesamiento

- Importación de datos en formato shape al software CadnaA (vías y edificios)
- Creación de modelos de distribución espacial de ruido ambiente (Sonómetro, NoiseTube, y simulación mediante características del entorno) - CadnaA
- Mapa dinámico de contaminación acústica ambiental por horario

2.5 Análisis

- · Comparación entre las diferentes técnicas utilizadas.
- •1. Correlación entre los datos levantados con el sonómetro y los datos levantados con el dispositivo móvil.
- 2. Correlación entre los modelos de propagación de ruido ambiente generados con el software CadnaA:
- ·Sonómetro -móvil
- ·Sonómetro Entorno

Figura 2: Materiales y Métodos

2.1. Preparatoria

- 2.1.1 Identificación del área de estudio: el área de estudio corresponde al centro histórico de la ciudad de Cuenca, entre las calles: Coronel Guillermo Talbot, Rafael María Arízaga, Tomás Ordoñez y Larga; se determinaron 47 puntos de muestreo, ver Anexo 1.
- 2.1.2 Horario de levantamiento: El horario se basó en el estudio realizado por la UMT de movimiento de personas en el área de estudio, por ejemplo entrada y salida de escuelas, entrada y salida de oficinas; además fue definido de manera que coincida con información de ruido levantada en años anteriores por la Universidad del Azuay, para en etapas posteriores poder realizar un análisis del comportamiento de ruido en los diferentes años. . En base a esto se determinó el horario siguiente: 7H00h, 10H00h, 13H00h, 15H00h, 18H00h y 21H00h.
- 2.1.3 Selección de aplicaciones móviles de levantamiento de ruido: Noisetube, es una aplicación móvil (disponible para Android y iOS), que permite a los usuarios realizar mediciones de ruido, visualizar y compartir con otras personas a través de un sitio web (http://www.noisetube.net/#&panel1-1). Esta aplicación fue creada en el Laboratorio de Sony Computer Science en París en el año 2008 y almacena la información en el dispositivo móvil en formato xml, la cual puede ser recuperada en la PC. (Google Play, 2014)



Figura 3: Interfaz aplicación móvil Noisetube

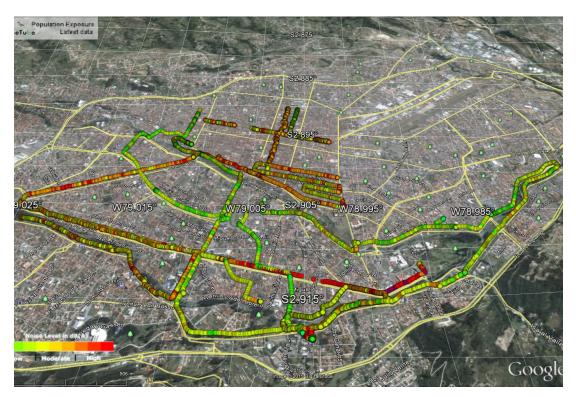


Figura 4: Visualización de la ciudad de Cuenca con datos Noisetube en Google Earth.

2.1.4 Selección y configuración de equipos (sonómetro y dispositivos móviles)

- **2.1.4.1 Selección de equipos:** para el presente estudio se han utilizado los siguientes equipos.
 - Sonómetro: 3M™: Sonómetro SoundPro Datalogging con filtro de bandas de octava¹¹, la capacidad de análisis de esta banda permite el monitoreo de ruido, ejecución de ruido, y la evaluación de control de ruido. En el anexo 2 se visualiza las especificaciones del equipo



Figura 5: Sonómetro 3M™

_

¹¹ Banda de octava: Dada la amplia banda o gama de frecuencias audibles, para realizar estudios de ruido no es posible analizarlas una a una, por lo que ha sido dividida dicha banda en 10 bandas más pequeñas denominadas OCTAVAS.

Dispositivos móviles: Teléfono celular Samsung Galaxy S3 mini.



Figura 6: Teléfono celular Samsung Galaxy S3 mini.

2.1.4.2 Configuración. (RAECO, 2013)

2.1.4.2.1 Sonómetro.

Configuración física.



Figura 7: Sonómetro SoundPro y sus partes.

Preamplificador o Preamp: es un dispositivo que sirve para adaptar la impedancia ¹² del micrófono a la del sonómetro. El preamplificador tiene una gran impedancia de entrada con el fin de presentar una carga muy baja al micrófono y baja impedancia de salida.



Figura 8: Preamplificador

Micrófono o *Microphone*: Dispositivo que transforma las ondas sonoras en energía eléctrica y viceversa en procesos de grabación y reproducción de sonido, este es sensible a la humedad y a los cambios de presión barométrica, su calibración garantiza que los niveles de ruido que capta el micrófono son más precisos para realizar las mediciones. Mayor presión barométrica mayor es el ruido.



Figura 9: Micrófono y su calibración

_

¹² Impedancia acústica: Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio. Se define como la razón entre la presión sonora (p) y la velocidad de las partículas (v) de un medio material.

Pantalla de viento o *Windscreen*: elemento de esponga especial que sirve para reducir el sonido distorsionante ocasionado por el contacto con turbulencias de viento.



Figura 10: Pantalla de viento o WindScreen

Configuración del sonómetro con parámetros de medición para ruido ambiente: En este equipo es posible configurar rangos de medición, frecuencias de ponderación, tasas de intercambio y tiempos de respuesta entre otros. A continuación se muestra las variables establecidas para la medición de ruido ambiente.

- **SPL**: Nivel de presión sonora: Medida básica de la intensidad del ruido expresada en decibelios.
- LMax: Nivel máximo grabado en cada intervalo de medición con una configuración específica.
- LMin: Nivel mínimo grabado en cada intervalo de medición con una configuración específica
- LPk o Lpeak (pico): 90db, es el valor pico instantáneo del nivel de presión sonora máximo, dentro de un cierto intervalo de tiempo expresado en unidades de dB.
- LEQ/LAVG: Nivel medio de presión sonora equivalente de un período de tiempo de intercambio de 3dB.
- SEL: Nivel constante de presión sonora expuesta, expresada en decibelios.
 Durante un segundo entrega la misma cantidad de energía acústica que la de toda la medición.
- LN(L1-L99): Exceso de presión sonora expresado en porcentaje.
- **TWA:** Tiempo promedio ponderado: Nivel sonoro expresado en dB acumulado en cualquier período de tiempo pero computado con la media en un promedio de un período de 8 horas.
- LDN: Media de presión sonora grabada durante 24 horas del día calendario en el cual el instrumento impone una penalidad de 10dB al ruido nocturno la cual es automáticamente adicionada al ruido entre 10pm 7am (no afecta)

- CNEL: Carga de ruido comunitario. Media de presión sonora para un estudio de 24 horas con factores adicionales asociadas al tiempo. Mediciones entre 7-10 pm se aumentan 5dB antes de sacar la media. Mediciones hechas entre 10pm-7am son aumentadas con 10dB antes de sacar la media.
- Lc-a: Opción activada que permite medir simultáneamente ambas señales
 A y C de las curvas de nivel de presión sonora para la evaluación de ruido comunitario.
- Er= tasa de intercambio

2.1.4.2.2 Dispositivo Móvil.

Es necesario descargar en el teléfono la aplicación "NoiseTube" desde "Play Store". Se abre la aplicación y en preferencias se realiza la configuración, se debe considerar que al realizar la medición se active el GPS, que los datos sean guardados en el móvil en la tarjeta de memoria, como muestra el gráfico a continuación:

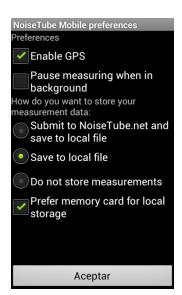


Figura 11: Configuración de preferencias de la aplicación NoiseTube

2.2. Levantamiento de datos

La obtención de información se realiza en cada punto de muestreo (Anexo 1), durante 15 minutos y en el horario definido (7H00, 10H00, 13H00, 15H00, 18H00 y 21H00) utilizando la aplicación móvil NoiseTube, el sonómetro 3M y simultaneamente levantando información de las características del entorno (vías y vehículos). Por cada punto se llena una ficha de levantamiento de información in situ. Anexo 3

2.3. Descarga y estructuración de datos

2.3.1. Descarga de datos

Sonómetro:

Se descargan los datos del sonómetro 3M SoundPro SE/DL mediante el software QuestSuite Professional II, este es un software para equipos SoundPro SE/DL, el cual tiene una variedad de funciones entre ellas permite la descarga de datos del sonómetro a la computadora. La información se guarda en archivos con extensión .SES

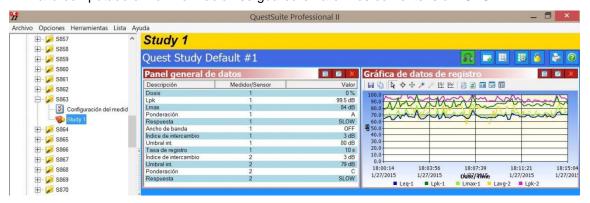


Figura 12: Visualización de una medición de ruido ambiente en el software QuestSuite Professional II.

Dispositivo móvil (Noisetube):

Se descargan los datos de los móviles que se encuentran en la carpeta denominada "mis archivos" la cual se encuentra en la memoria del dispositivo en la ruta "net.noisetube/files/data".

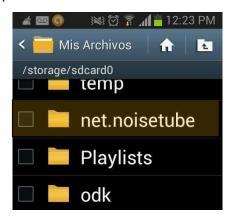


Figura 13: Directorio de almacenamiento de datos NoiseTube en el dispositivo móvil

2.3.2. Estructuración de datos

La información descargada de los dispositivos (sonómetro, celular) se estructuró e integró en tablas en formato Excel, registrando en ellas la media de los datos en dB medidos durante los 15 minutos de levantamiento y las características del entorno (vías y vehículos). Se muestra el diccionario de datos en el Anexo 4.

Se creó una ficha completa de cada sitio de muestreo con la información levantada mediante las fichas físicas, con gráficas estadísticas que muestran el comportamiento del ruido ambiente en el sitio, información general del sector en donde está ubicado el sitio de muestreo y fotografías del levantamiento de información. Se muestra un ejemplo de la estructura en el Anexo 5.

La información se organizó en formato Excel y luego en formato shape de acuerdo a una estructura específica que el software de modelado de ruido Datakustik CadnaA necesita para importar y procesar los datos. Metadatos de la información estructurada ver en el Anexo 6.

Los datos se organizaron mediante el software ArcGIS 10.1 para lo cual se enlaza la información (sonómetro, móvil y variables del entorno) estructurada en Excel con la cartografía de las vías del área de estudio, teniendo como resultado un archivo shapefile de vías con la información de ruido y de característica del entorno (vías y vehículos).

Los 47 puntos de levantamiento realizado se encuentran cada dos cuadras dentro del área de estudio por tanto antes de integrar las vías con la información estructurada en Excel ser realizó una unión de las dos vías comprendidas entre cada dos puntos de muestreo. En la figura 14 se explica el proceso. Con este resultado se realiza un enlace con la tabla de datos en Excel en donde el identificador único de vinculación está conformado por la composición de los dos puntos de muestreo por ejemplo 2-3, podemos observar los datos ya vinculados en la figura a continuación.

Table	Table															
°=	□ - 1															
Vías	Vías															
	FID	Shape	BEZ	MAR	ID1	LME	LME	DT	SRTGA	MT	MN	PT	PΝ	VPK	VLK	RQ
	18	Polyline	General torres		2-12	0	0	0		80	60	0	0	30	30	2.7
	48	Polyline	Rafael Maria Arizaga		2-3	0	0	0		80	60	0	0	30	30	4.4
	76	Polyline	Mariscal Lamar		20-21	0	0	0		80	60	0	0	30	30	
	11	Polyline	Presidente Borrero		20-26	0	0	0		80	60	0	0	30	30	2.9
	60	Polyline	Mariscal Lamar		21-22	0	0	0		80	60	0	0	30	30	2.8
	5	Polyline	Mariano Cueva		21-27	0	0	0		80	60	0	0	30	30	3.9
	1	Polyline	Tomas Ordonez		22-28	0	0	0		80	60	0	0	30	30	3.2

Figura 14: Muestra de datos de la tabla de atributos del archivo shape de vías unidad cada dos cuadras



Figura 15: Ejemplo de unión de vías entre los puntos de muestreo

2.4. Procesamiento de datos

2.4.1.Generación de modelos de distribución espacial de ruido ambiente mediante el software Datakustik CadnaA Cadna

El software Datakustik Cadna-A (Computer Aided Noise Abatement) es especializado en implementar algoritmos para evaluar los niveles sonoros de una zona de estudio, estos modelos dependen del tipo de información que se ingrese en las variables (características del entorno o valores ruido). (Datakustik, 2014)

Se utilizó este software como herramienta para generar modelos de distribución espacial de ruido ambiente procesando la información obtenida con cada una de las técnicas (NoiseTube, sonómetro, características del entorno -vías y vehículos-). Para esto se importaron y procesaron los archivos estructurados en formato *shapefile* de cada técnica y en los diferentes horarios de levantamiento.

Dependiendo del tipo de información que se ingrese existen 3 formas de cálculo:

 Aforo IMD: En donde se ingresan datos de la intensidad media diaria de tráfico vehicular (IMD), el tipo de carretera (vía local, vía nacional o comarca, vía principal, autovía o calle), la superficie de la carretera (asfalto, hormigón, pavimento u otros), ancho de la carretera en metros, límite máximo de velocidad de vehículos en km/h.

- 2. Vehículos por hora: Número y porcentaje de vehículos que han pasado por el sitio de muestreo en una hora, ancho de la carretera en metros, límite máximo de velocidad de vehículos en km/h, superficie de la carretera (asfalto, hormigón, pavimento u otros) y la pendiente de la carretera la cual se calculará automáticamente con el ingreso de las curvas de nivel.
- 3. dB(A): Ancho de la carretera, valores de ruidos ambientes medidos en decibeles con el sonómetro y los dispositivos móviles.

Para el presente estudio de estos tres métodos se utilizan dos de ellos:

- Número y porcentaje de vehículos por hora: Con este método se crean modelos de propagación de ruido ambiente a través de las características del entorno, para lo cual no se necesita contar con datos de ruido medidos con un dispositivo.
- Valores de ruidos ambientes medidos en decibeles: Este método se utiliza para generar un mapa de propagación de ruido ambiente utilizando los datos de ruido medidos en decibeles con el sonómetro y los dispositivos móviles.

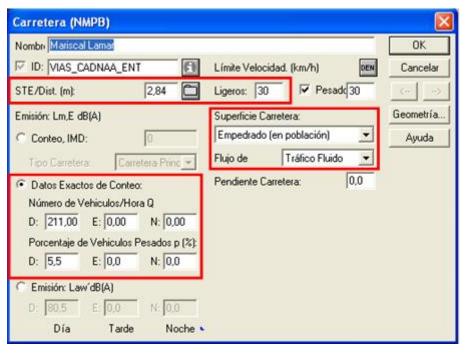


Figura 16: Pantalla de Datakustik CadnaA - datos requeridos para la forma de cálculo 2

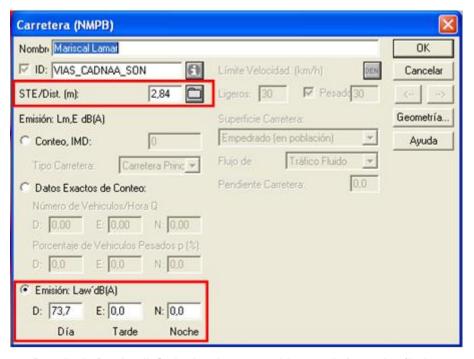


Figura 17: Pantalla de Datakustik CadnaA - datos requeridos para la forma de cálculo 3

Del procesamiento de datos en el software CadnaA de las diferentes técnicas y en los horarios establecidos se han obtenido mapas de distribución de ruido ambiente en formato ASCII y TIFF, los resultados se muestran en el Anexo 7

2.5. Análisis

Para este proceso se analizaron:

Error cuadrático medio RMSE: Es un error sistemático que da información sobre el rendimiento o precisión de un conjunto de datos. Permite comparar valores medidos con los estimados; este modelo matemático indica si existe una tendencia a sobreestimar o subestimar los valores obtenidos.

RMSE =
$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} (y_j - \hat{y}_j)^2}$$

Regresión lineal: es un método matemático que modela la relación entre una variable dependiente Y, las variables independientes X (sonómetro). Viene dada por la

ecuación:
$$Y = a + bX$$

- Regresión lineal simple: Sólo se maneja una variable independiente, por lo que sólo cuenta con dos parámetros.
- Regresión lineal múltiple: permite trabajar con una variable a nivel de intervalo o razón. Es posible analizar la relación entre dos o más variables a través de ecuaciones. Además de las técnicas empleadas se toma como variable la ubicación espacial de los datos.

Coeficiente de correlación de Pearson: es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

Coeficiente de determinación R^2 : Indica el porcentaje de ajuste de un determinado modelo o conjunto de datos; permite medir la relación lineal entre los valores medidos y los estimados. Estos valores varían entre cero y uno, siendo uno el valor óptimo indicando la relación lineal perfecta de los valores; los valores superiores a 0,9 indican una excelente correlación, los valores entre 0,7 – 0,89 indican correlación alta, 0,4 – 0,69 correlación moderada y pobre los valores inferiores.

Para observar la relación de los valores medidos y los estimados se emplearon **gráficos de dispersión**.

2.5.1.Comparación entre las diferentes técnicas utilizadas.

2.5.1.1. Correlación entre los datos levantados con el sonómetro y los datos levantados con el dispositivo móvil.

Se realiza un análisis estadístico de comparación entre los datos levantados con el móvil y los datos levantados con el sonómetro, utilizando gráficas de regresión lineal mediante el software Excel.

2.5.1.2. Correlación entre los modelos de propagación de ruido ambiente generados con el software CadnaA.

Además del análisis de los datos levantados, se generaron mallas ráster de valores generados con los datos obtenidos mediante las técnicas: aplicación móvil (NoiseTube) y las características físicas del entorno (vehículos y vías), se compararon con respecto a la modelo ráster generado con la información base del sonómetro en cada uno de los horarios establecidos. Para este análisis estadístico se implementó un script en el software libre R Studio. Se visualizan los resultados del análisis de las diferentes técnicas mediante R en los Anexos 8 y 9.

3. RESULTADOS

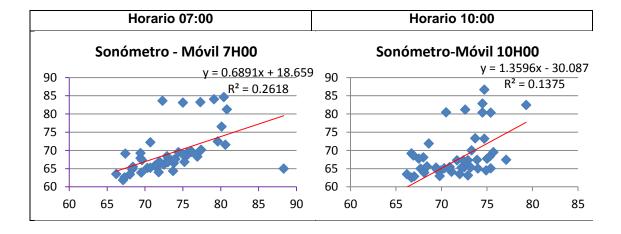
Correlación entre los datos levantados con el sonómetro y los datos levantados con el dispositivo móvil.

La siguiente tabla expone los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado en Excel, entre los datos levantados con el sonómetro y los datos levantados con el dispositivo móvil.

x=sc	nómetro	y= móvil					
Horario	а	b	R^2				
7:00	0,69	18,66	0,26				
10:00	1,36	30,09	0,14				
13:00	1,77	60,26	0,26				
15:00	0,88	5,98	0,30				
18:00	0,67	21,26	0,17				
21:00	0,01	66,00	9 E -5				

Tabla 2: Resultado del análisis estadístico de datos de ruido levantados mediante las técnicas de monitoreo - Móvil y Sonómetro.

A continuación se muestran los gráficos de dispersión, que indican la relación lineal entre las variables.



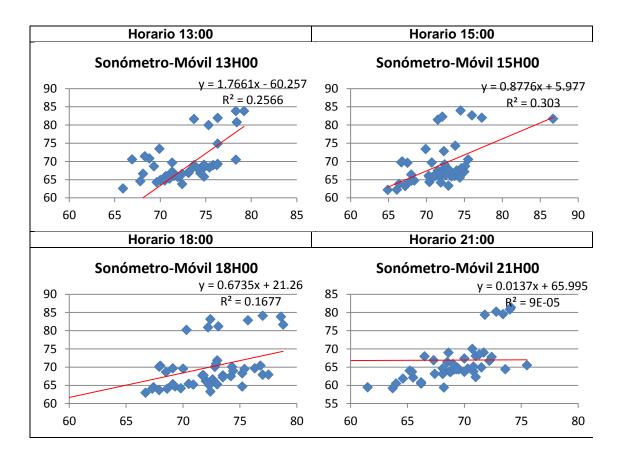


Figura 18: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre los datos levantados con el dispositivo móvil y el sonómetro, en los diferentes horarios.

Correlación entre los modelos de propagación de ruido ambiente generados con el software CadnaA.

En las siguientes tablas se exponen los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado con el script R Studio.

SONÓMETRO – APLICACIÓN MÓVIL (NoiseTube)										
07:00 10:00 13:00 15:00 18:00 21:0										
Coef. Correlación de Pearson	0,78	0,77	0,86	0,86	0,80	0,72				
RMSE	4,77	3,92	3,42	3,23	3,34	3,96				
R ² (R Lineal)	0,60	0,59	0,74	0,74	0,65	0,52				
R ² (R Lineal M)	0.84	0.79	0.88	0.85	0.77	0.64				

Tabla 3: Análisis estadístico de las mallas de propagación de ruido entre las técnicas – Móvil y Sonómetro-

SONÓMETRO – ENTORNO											
07:00 10:00 13:00 15:00 18:00 21:0											
Coef. Correlación de Pearson	0,92	0,96	0,96	0,92	0,96	0,95					
RMSE	5,85	8,17	7,47	7,78	7,21	6,49					
R ² (R Lineal)	0,84	0,93	0,92	0,85	0,91	0,90					
R ² (R Lineal M)	0,85	0,93	0,93	0,87	0,93	0,91					

Tabla 4: Análisis estadístico de las mallas de propagación de ruido entre las técnicas – Variables del entorno y Sonómetro-

A continuación se muestran los gráficos de dispersión, que indican la relación lineal entre las variables.

Sonómetro - Aplicación móvil (NoiseTube)

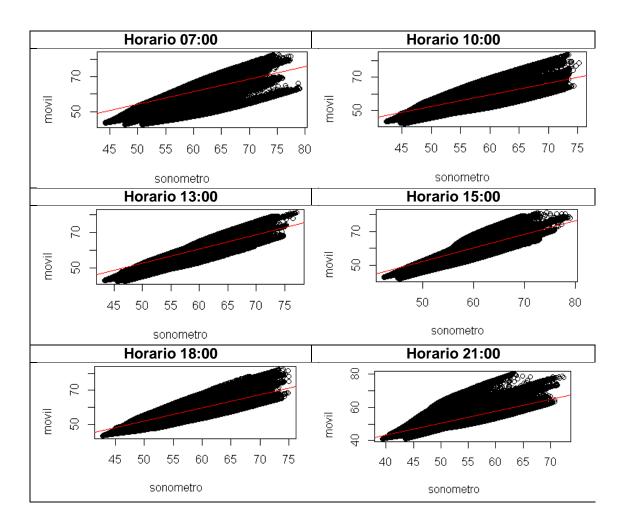
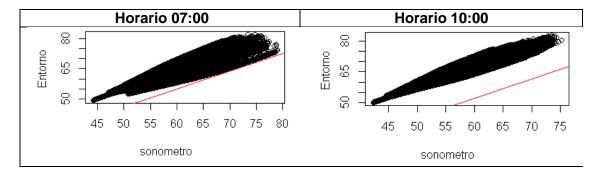


Figura 19: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre las mallas ráster generadas con los datos del Sonómetro y Aplicación móvil (NoiseTube)

Sonómetro - Variables del entorno (vehículos y vías)



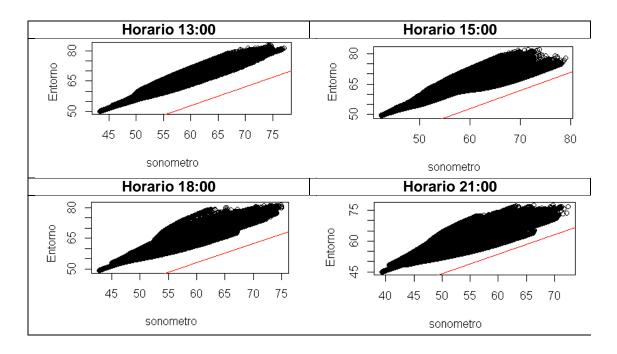


Figura 20: Gráficas dispersión aplicando regresión lineal entre las mallas ráster generadas con los datos del sonómetro y variables del entorno

La distribución de ruido ambiente de las diferentes técnicas y en cada uno de los horarios se visualiza dinámicamente en los siguientes enlaces:

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en los 6 horarios, levantado con un sonómetro: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/SONOMETRO ANIMACION.html

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en el día y la noche, levantado con un sonómetro: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/SONOMETRO_ANIMACION_DN.html

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en los 6 horarios, levantado con los dispositivos móviles: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/MOVIL ANIMACION.html

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en el día y la noche, levantado con los dispositivos móviles: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/MOVIL_ANIMACION_DN.html

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en los 6 horarios, con las características del entorno: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/ENTO_ANIMACION.html

Mapa dinámico de propagación de ruido ambiente en el día y la noche, con las características del entorno: http://gis.uazuay.edu.ec/ruido/ENTO ANIMACION DN.html

4. DISCUSIÓN

De los datos analizados con las dos técnicas de monitoreo de ruido ambiente: Dispositivos móviles y variables del entorno, con respecto a la técnica de monitoreo base –sonómetro-.

 Técnica de monitoreo mediante dispositivos móviles (NoiseTube) con respecto al sonómetro:

Al comparar los datos levantados con el sonómetro y el móvil observamos que los valores de los coeficientes de determinación R² de los diferentes horarios están entre 9E-5 y 0,30 lo que manifiesta una correlación muy pobre de las variables. Esto indica que los datos levantados con el dispositivo móvil no son fiables con respecto a los datos levantados con el sonómetro que constituye la información base de levantamiento.

Este comportamiento se explica debido a que el sonómetro es un equipo especializado para la medición de ruido, que permite configurar parámetros de calibración y ponderación para las mediciones efectuadas. Por otro lado el dispositivo móvil depende principalmente del tipo de micrófono incorporado y de la sensibilidad del mismo. En las mediciones realizadas durante los 15 minutos de levantamiento, el sonómetro toma en consideración los parámetros previamente establecidos para la medición de ruido ambiente con una tasa de intercambio de datos cada +-3dB cada 3 segundos; en tanto que el dispositivo móvil promedia todos los datos medidos durante 15 minutos sin ninguna ponderación, cálculo o tratamiento de datos capturados, lo que implica que considera para los promedios datos de ruido crudos 13.

Con los datos registrados por el equipo móvil y el sonómetro se generaron modelos ráster de distribución espacial (mallas) de ruido ambiente en los diferentes horarios establecidos, utilizando el programa informático Datakustik CadnaA. De la comparación estadística realizada en R Studio entre las mallas de propagación de ruido ambiente creadas, se calcula una regresión lineal simple moderada, con un coeficiente de determinación R² entre 0,52-0,74 y una regresión lineal múltiple alta con valores de R² entre 0,64 - 0,88.

Como se puede apreciar , los resultado de los análisis, no concuerdan en sus valores de correlación entre las variables medidas, esto se debe a que los ráster generados mediante el software CadnaA son resultado de una interpolación de los datos levantados, por tanto toman en consideración un modelo de dispersión y la distribución espacial entre los puntos vecinos, por lo cual al generarse el modelo de propagación, los datos se ajustan, y por ende dan valores promedios de correlación más altos, en contraparte del análisis individual por punto que no toma en cuenta la relación con sus vecinos.

.

¹³ Ruido de impacto: se originan por choques o colisión de sólidos; como consecuencia de ello se produce una vibración.

Técnica de monitoreo mediante las variables del entorno con respecto al sonómetro:

En el análisis realizado en el acápite anterior se tenía datos de ruido medidos en dB, para este análisis se utilizan las variables del entorno levantadas (# vehículos y características de la vía), las cuales fueron procesadas mediante el software Datakustik CadnaA creando también un modelo de distribución espacial de ruido ambiente que da como resultado una malla ráster.

Se realizó un análisis estadístico en R Studio, entre la malla mencionada y malla ráster generada con los datos del sonómetro; calculando la regresión lineal simple y múltiple. Utilizando una regresión línea simple, este proceso muestra una alta correlación de datos con un coeficiente de determinación R² entre 0,84 - 0,93. Utilizando la regresión lineal múltiple encontramos un alto coeficiente de determinación R² de 0,85 - 0,93 y además que este coeficiente aumenta con respecto a la regresión simple.

Al igual que en la comparación de mallas entre los dispositivos móviles y sonómetro, este comportamiento de datos se debe a que se considera un modelo de dispersión y distribución espacial entre los puntos vecinos que genera un ajuste de datos, dando una correlación alta entre ellos debido al algoritmo de interpolación que ocupa el software CadanaA. Además el coeficiente de determinación aumenta al aplicar una regresión lineal múltiple en la que se considera una variable mas que es la ubicación de cada pixel de la malla ráster, lo que indica que los datos están correlacionados espacialmente en del modelo generado.

5. CONCLUSIÓN

De las técnicas de monitoreo de ruido ambiente analizadas se concluye que los datos registrados mediante los dispositivos móviles (NoiseTube) no son fiables con respecto a los datos base levantados con el sonómetro.

Estas diferencias son atribuidas directamente a la precisión y sensibilidad de los equipos utilizados; el sonómetro es un equipo especializado para la medición de ruido, que permite configurar parámetros de calibración y ponderación, por otro lado el dispositivo móvil depende principalmente del tipo de micrófono incorporado y de la sensibilidad del mismo. Por lo que los datos registrados con los teléfonos celulares mediante la aplicación NoiseTube, deben ser tomados como datos referenciales mas no como registros precisos.

Entre los modelos de distribución espacial de ruido generados por software CadnaA existe una alta correlación espacial y de datos entre las variables -Dispositivos móviles y entornocon respecto a la información del sonómetro; lo que se atribuye al algoritmo de interpolación utilizado por el software Datakustik CadnaA que utiliza un modelo de dispersión y distribución espacial entre los puntos vecinos, generando un ajuste de datos.

6. RECOMENDACIONES

- Ampliar el número de sitios de muestreo o el área de estudio.
- Para los registros de ruido ambiente que ha estado realizando la Universidad el Azuay anualmente en los 30 sitios de monitoreo, se recomienda seguir trabajando con el sonómetro.
- Analizar el algoritmo de interpolación que utiliza Datakustik CadnaA para el modelado de datos de ruido.
- Analizar datos levantados con dispositivos móviles con respecto al equipo sonómetro calibrado de manera que registre ruido de impacto, esto para verificar si los equipos móviles se podrían utilizar para la medición de ruido impacto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BrusSense group - Vrije Universiteit Brussel, 2010. http://noisetube.net/team. [En línea].

EMOV, 2012. Calidad de Aire - Empresa municipal de Movilidad - Gobierno Municipal Autónomo de la ciudad de Cuenca, Cuenca, Ecuador: s.n.

Datakustik, 2014. *Datakustik*. [En línea] [Último acceso: 20 11 2014].

D'Hondt, E. S. M. &. J. A., 2011. Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring. under revision.. *Environmental monitoring and assessment.*

Goines, L., Hagler, L, 2007. Noise Pollution: An modern plague.. *Southern Medical Journal.*, Volumen 100, pp. 287-294.

Google Play, 2014. *Google Play.* [En línea] [Último acceso: 05 02 2015].

Kanjo, E., 2010. Noisespy: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mobile Networks and Applications*, Volumen 15(4), p. 562–574.

Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., & Steels, L., 2009. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones.. *Information Technologies in Environmental Engineering*, p. 215–228.

Maisonneuve, N. S. M. &. O. B., 2010. Participatory noise pollution monitorin using mobile phones.. *Information polity*, Volumen 15, pp. 51-71.

Martínez, J. & Peters, J., 2013. Contaminación acústica y ruido. *Ecologistas en acción,* Febrero.p. 13.

Möser, M. &. B. J. L., 2009. *Ingeniería acústica: teoría y aplicaciones. Springer Science & Business Media.*. 1 ed. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

OCDE, 1995. Reducción del ruido en el entorno de las carreteras. OCDE, Francia. *Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras.*

Quintero, J., 2012. Tendencias actuales en el estudio y análisis dl ruido producido por el tráfico rodado en las ciudades. *Intekhnia*, pp. 175-192.

RAECO, 2013. SOUND PRO User manual, Bensenville, Illinois: s.n.

Rana, R. K. C. C. T. K. S. S. B. N. & H. W., 2010. Ear-phone: an end-to-end participatory urban noise mapping system.. *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, p. 105–116.

Sanz, B. G. a. F. J. G. G. F. L. C., 2003. *La contaminación acústica en nuestras ciudades..* Cataluña, España: s.n.

Trombetta Zannin, P. B. D. F. A. B. W., 2002. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Journal of Applied Acoustics*, Volumen 63, pp. 351-358.

TULSMA, 2013. NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LIMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES, Ecuador: s.n.

Anexo 1: Área de estudio



Anexo 2: Especificaciones del equipo SoundPro 3M

MEDICIONES:	
PARÁMETROS	SPL, L _{Max} , L _{Min} , L _{Pk} (pico), L _{EQ} /L _{AVG} , SEL, LN (elegible de L1 a L99), TWA, Taktm, Taktmx, Dose, PDose, Exposición (Pa2H/Pa2S), LDN, CNEL, PTWA, L C-A
RANGOS	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
RANGO PICO	Hasta 143 dB usando un micrófono estándar BK4936; superior con micrófonos y preamplificadores opcionales
PONDERACIONES DE FRECUENCIA	A, C, Z y F (plana)
TIEMPO DE RESPUESTA	Rápido, lento e impulso IEC
TASAS DE INTERCAMBIO	3, 4, 5 y 6 dB
NIVEL DE CRITERIO	40 a 100 dB
REGISTRO DEL LÍMITE SUPERIOR DE TIEMPO	10 a 140 dB elegible
MODOS DE EJECUCIÓN	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.
REFERENCIAS DE MEDICIÓN	Nivel de presión sonora: 114 dB Frecuencia: 1 kHz Dirección: 0 grados usando un micrófono de respuesta de campo libre
FILTROS DE OCTAVA Y TERCIO DE OCTAVA (OPCIONAL):	(bandas de base 10, como recomienda IEC 61260 [2001])
FILTROS DE OCTAVA COMPLETA	11 bandas con frecuencias centrales de 16 Hz a 16 kHz
FILTROS DE TERCIO DE OCTAVA	33 bandas con frecuencias centrales de 12,5 Hz a 20 kHz

Anexo 3: Ejemplo de la ficha física de campo del punto 4 levantado in situ.

Punto		(64)							Fecha:	15/12/2014
Calle princi	pal	Roderel A	Mzaga		_ Ancho	o vía(m)	_	Tipo calzad	da ad
Calle secun	daria	Presodente)		Tipo calzad	da ad
Ubicación X Y Altura		Υ	Responsables:					Cristian 5 Luis		
-	LEVANTAMIENTO DE RUIDO AMBIENTE (dB)									
Horario	Sonometro	Noisetube	AppUDA	Amb	Cam	Bus	Motos	Otros	#vehiculos	Observación
7:00	×	X	×		1		me		170	pHon
10:00	×	×	X		١		MILLE		140	ptor
13:00	×	×	*		l(111111		160	pito Z
15:00	×	×	X		111		control		152	poto II
18:00	X	Y	x		II.		premie		156	prto (
21:00	×	×	×		l .		111		57	poto!

As=Asfalto med

Ad=Adoquin

Ho=Horn Ti=Tierra

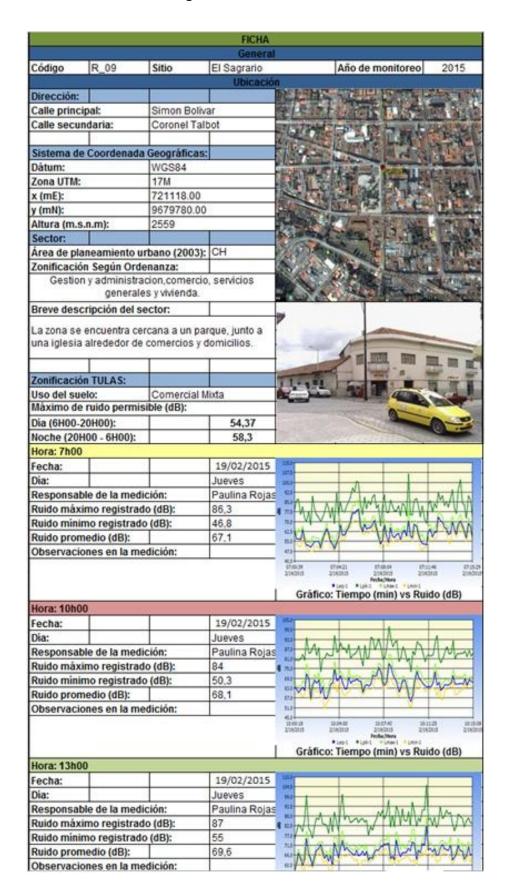
Amb=Ambulancia

Cam=Camión

Anexo 4: Diccionario de datos de la información de ruido ambiente estructurada en formato EXCEL

	DICCIONARIO DE DATOS - ESTRUCTURA DE DATOS DE RUIDO EN FORMATO EXCEL
FECHA	Fecha de medición en el formato dd/mm/aaaa
HORARIO	Horario en el que se tomaron los datos aquí poner (7:00 10:00 13:00 15:00 18:00 21:00)
PUNTO	Número de punto medido 0-47
MOVIL	Marca y modelo del teléfono móvil utilizado para la medición
MAX	Valor máximo medido por el dispositivo móvil durante el tiempo de medición (15 min)
MIN	Valor Mínimo medido por el dispositivo móvil durante el tiempo de medición (15 min)
PROM	Valor promedio de los datos medidos por el dispositivo móvil durante el tiempo de medición (15 min)
COD_MOVIL	Nombre del archivo que se guarda en el dispositivo por cada medición
SONOMETRO	Indica el sonómetro utilizado, se utilizó dos sonómetros de las mismas características uno que dispone la UDA y otro de la CGA.
MAX	Valor máximo medido por el sonómetro durante el tiempo de medición (15 min)
MIN	Valor Mínimo medido por el sonómetro durante el tiempo de medición (15 min)
PROM	Valor promedio de los datos medidos por el sonómetro durante el tiempo de medición (15 min)
COD_SON	Nombre del archivo que se guarda en el sonómetro por cada medición
Responsable	Nombre y apellido de responsable, persona que tomó los datos de ese punto en ese día y en ese horario.
#_vehículos	Número de vehículos observados durante los 15 min de toma de datos
#_pesados	Número de vehículos pesados observados durante los 15 min de toma de datos
Calle principal	Nombre de la calle principal de ubicación del punto de muestra
Calle secundaria	Nombre de la calle secundaria de ubicación del punto de muestra
Ancho(m) cp	Ancho de vía en metros de la calle principal
Ancho(m) cs	Ancho de vía en metros de la calle secundaria
Tipo_calzada_cp	Tipo de calzada de la calle principal (As=Asfalto, Ad=Adoquín, Ho=Hormigón, Ti=Tierra)
Tipo_calzada_cs	Tipo de calzada de la calle secundaria (As=Asfalto, Ad=Adoquín, Ho=Hormigón, Ti=Tierra)
Observación	Observaciones durante la medición que podrían ser motivo de picos o podrían alterar la medición de ruido.

Anexo 5: Formato de ficha digital de levantamiento de datos de ruido ambiente.



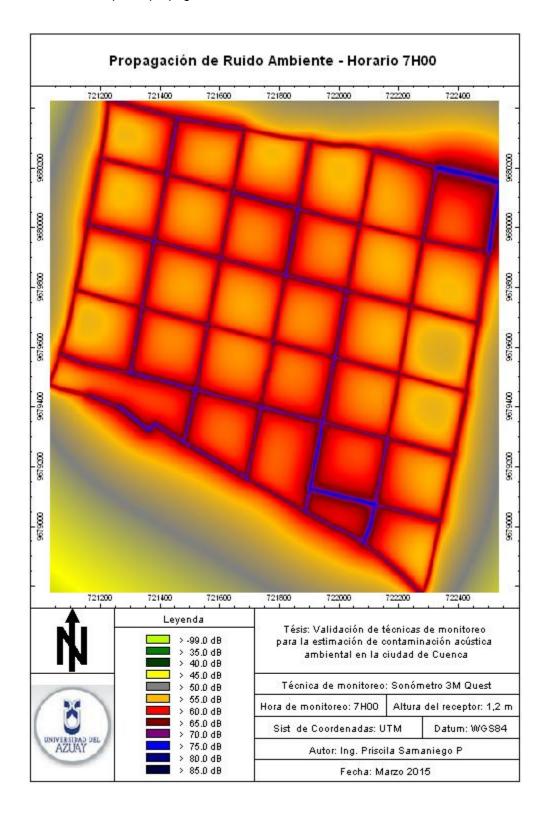
Anexo 6: Metadatos de la estructura de información para CadnaA

Atributo	Descripción
BEZ	Nombre del objeto
h	Altura de cada punto(m)
Н	Altura del objeto(m)
HA	Altura inicial del objeto(m)
hb	Altura inicial de cada punto(m)
ID	Identificación
LEN	Altitud
LMET	Nivel de emisión-noche
LMEN	Nivel de emisión-día
DTV	Densidad de tráfico media diaria
SRTGATT	Tipo de carretera
MT	Densidad de tráfico por hora-noche
MN	Densidad de tráfico por hora-día
PT	Porcentaje de camiones durante el día
PN	Porcentaje de camiones durante la noche
VPKM	Velocidad máxima de vehículos
VLKW	Velocidad máxima de camiones
RQ	Sección transversal estándar de carretera(m)
DSTRO	Corrección para la superficie de la carretera
STRONR	Número de superficie de la carretera
STEIG	Pendiente de la carretera en porcentaje
DRFFL	Corrección de múltiples reflexiones
HBEB	Altura media (m) de la construcción
ABST	Distancia media entre los edificios

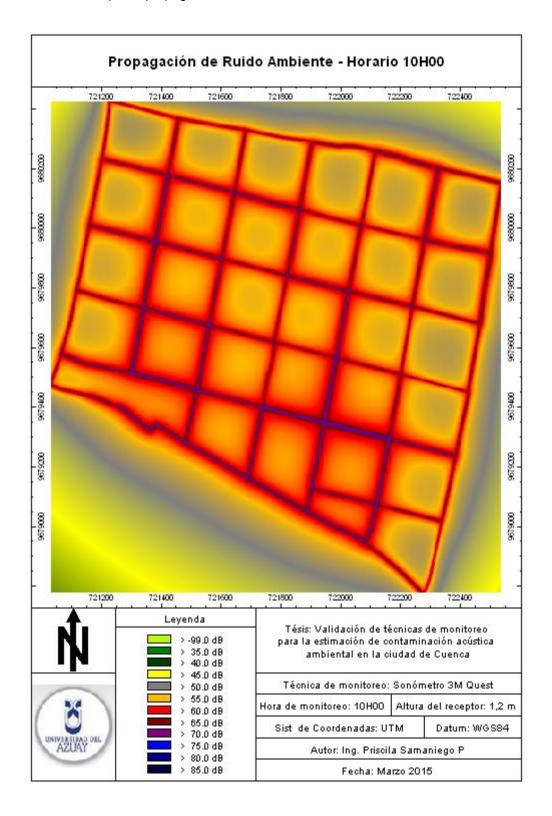
Anexo 7

Técnica 1: Redes distribuidas de sensores (sonómetros)

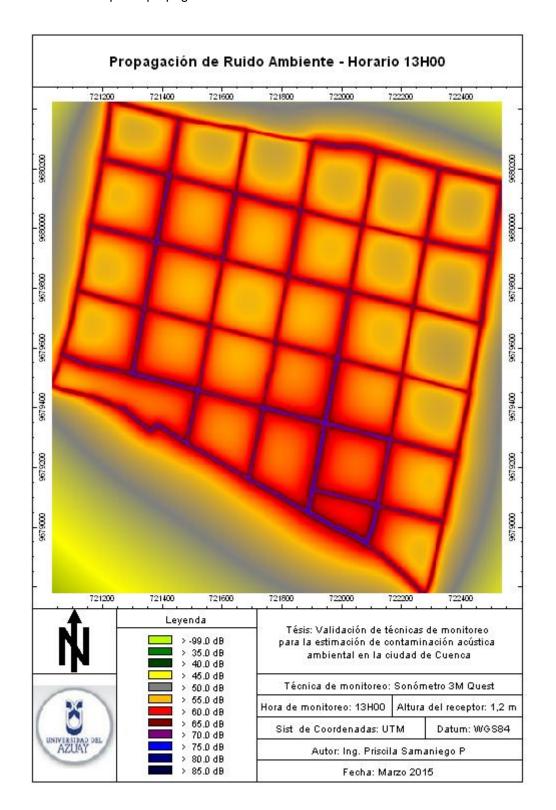
Anexo 7a: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 7H00 – Sonómetro



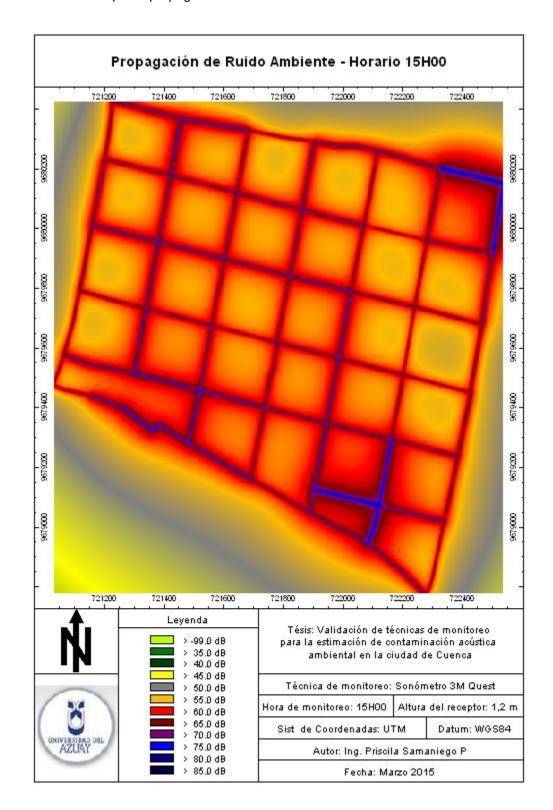
Anexo 7b: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 10H00 – Sonómetro



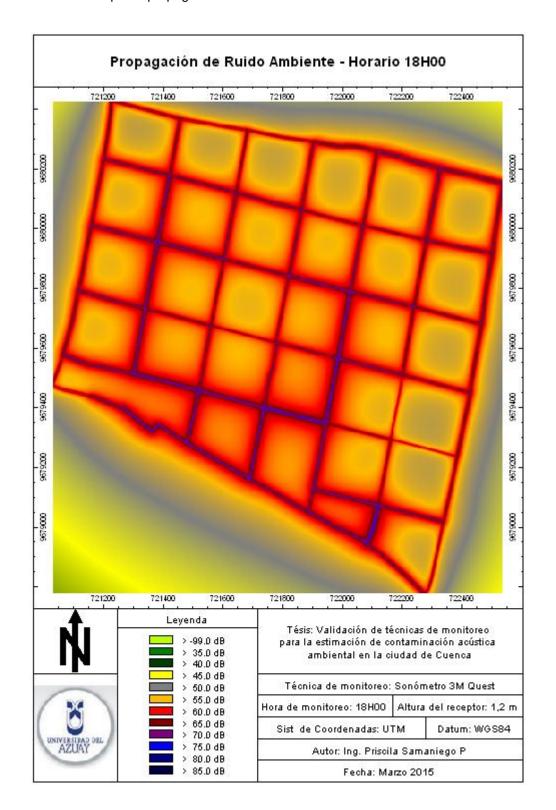
Anexo 7c: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 13H00 - Sonómetro



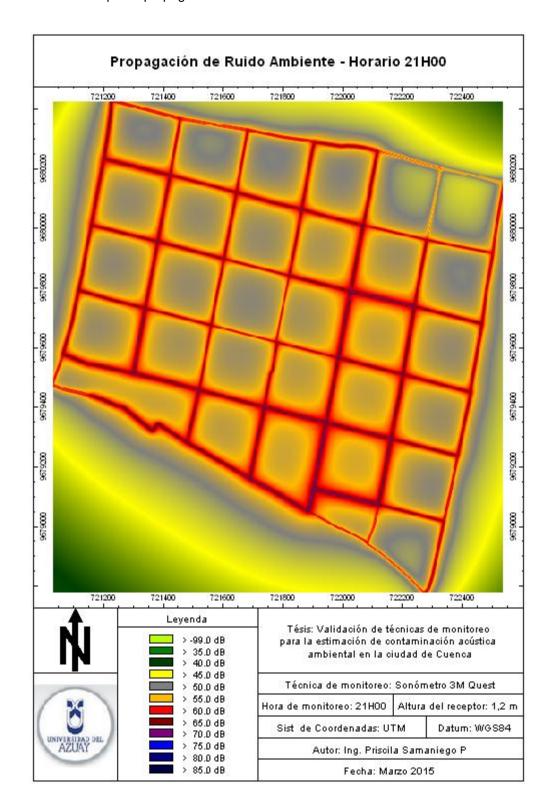
Anexo 7d: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 15H00 – Sonómetro



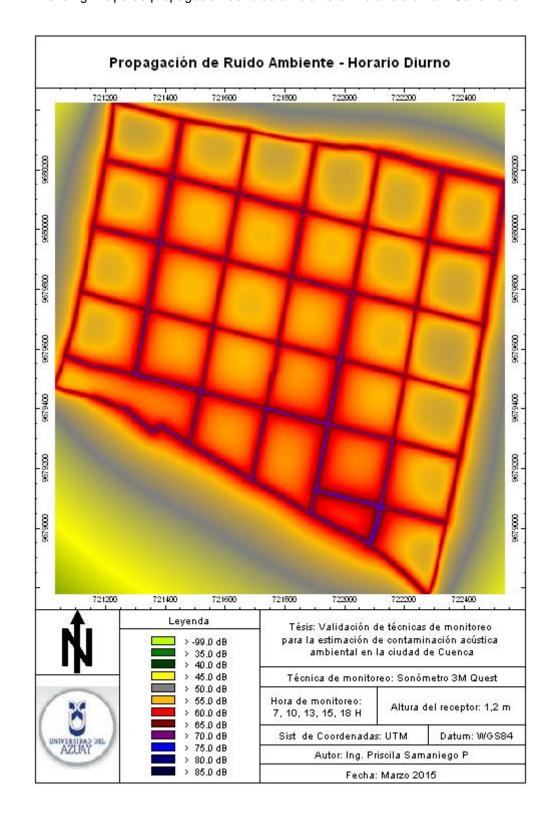
Anexo 7e: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 18H00 – Sonómetro



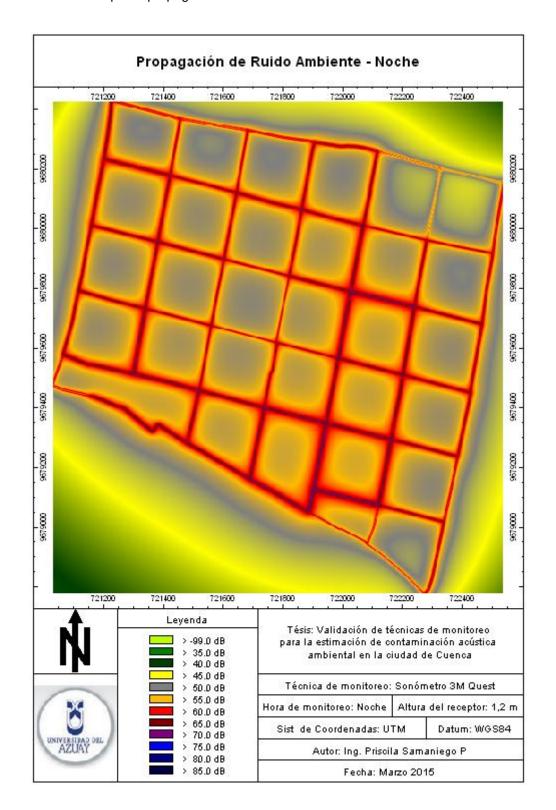
Anexo 7f: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00 – Sonómetro



Anexo 7g: Mapa de propagación de ruido ambiente en horario diurno – Sonómetro

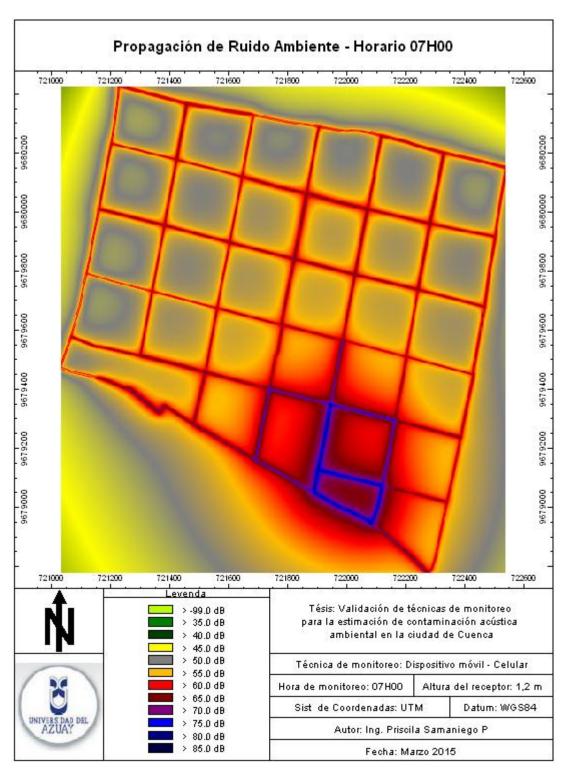


Anexo 8h: Mapa de propagación de ruido ambiente en horario nocturno - Sonómetro



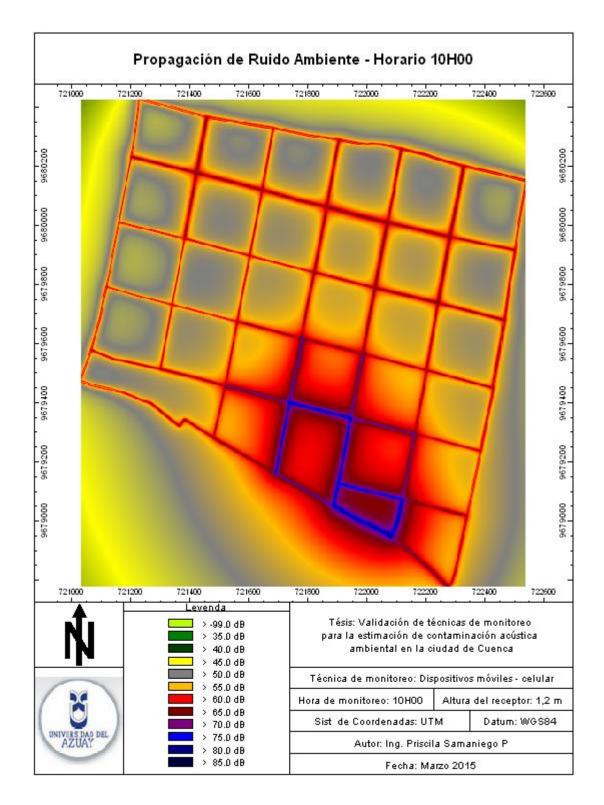
Técnica 2: Registro de ruido ambiente mediante dispositivos móviles utilizando la aplicación NoiseTube.

Anexo 9i: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 7H00 - NoiseTube

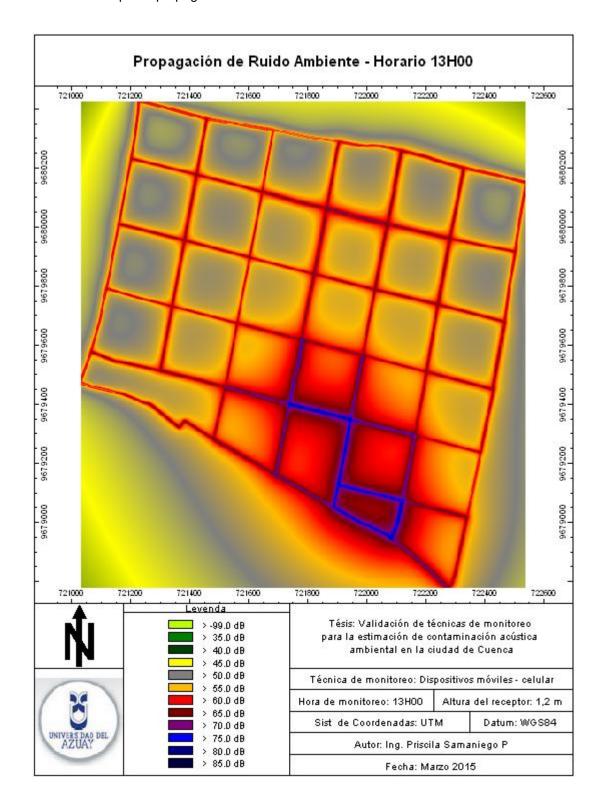


*

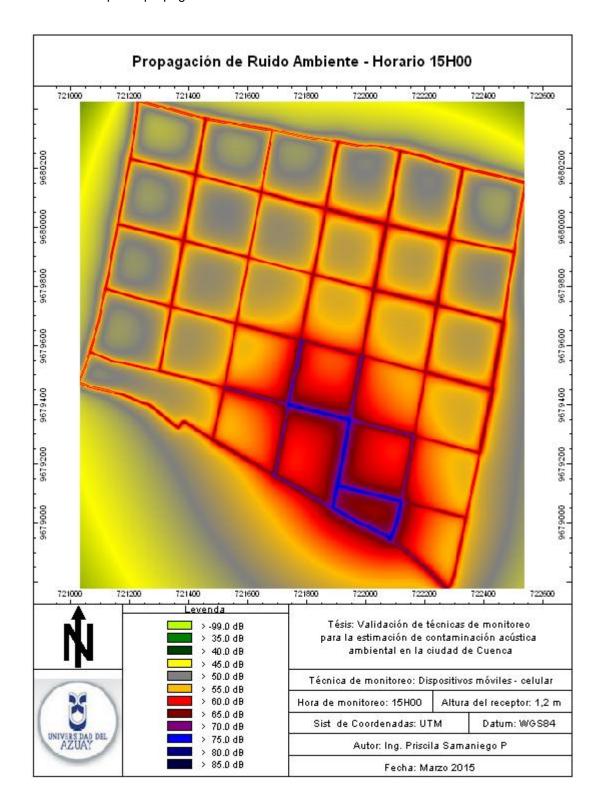
Anexo 7j: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 10H00



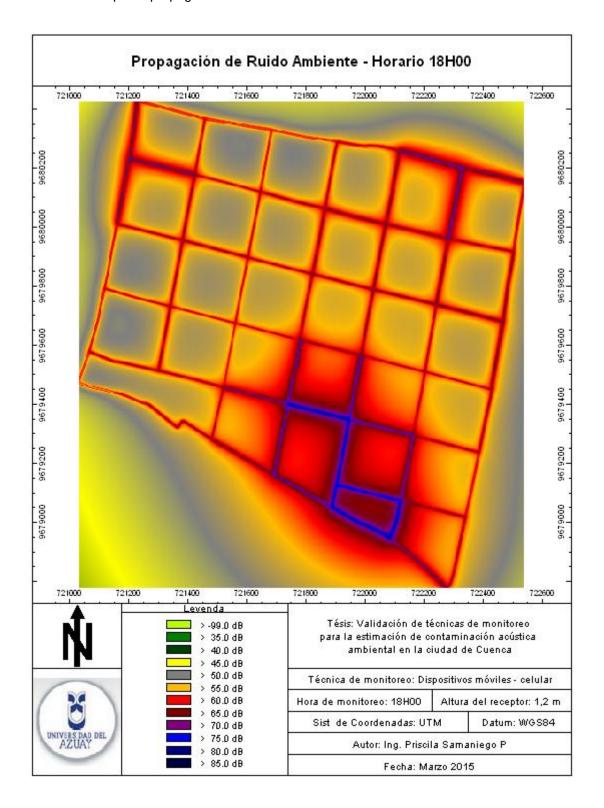
Anexo 10k: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 13H00



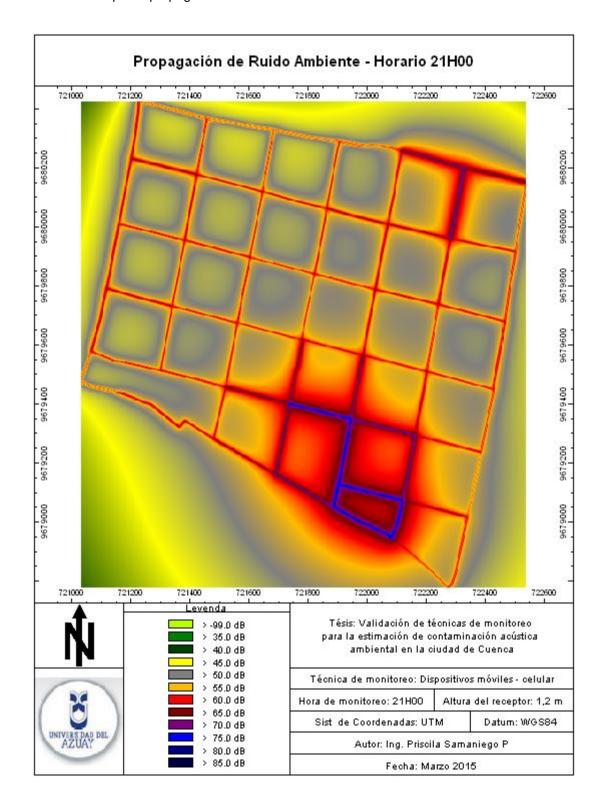
Anexo 7I: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 15H00



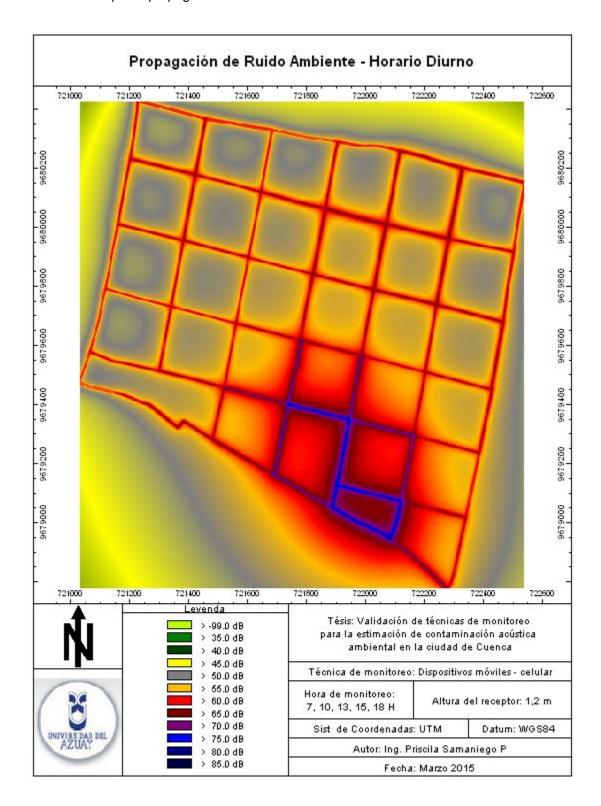
Anexo 7m: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 18H00



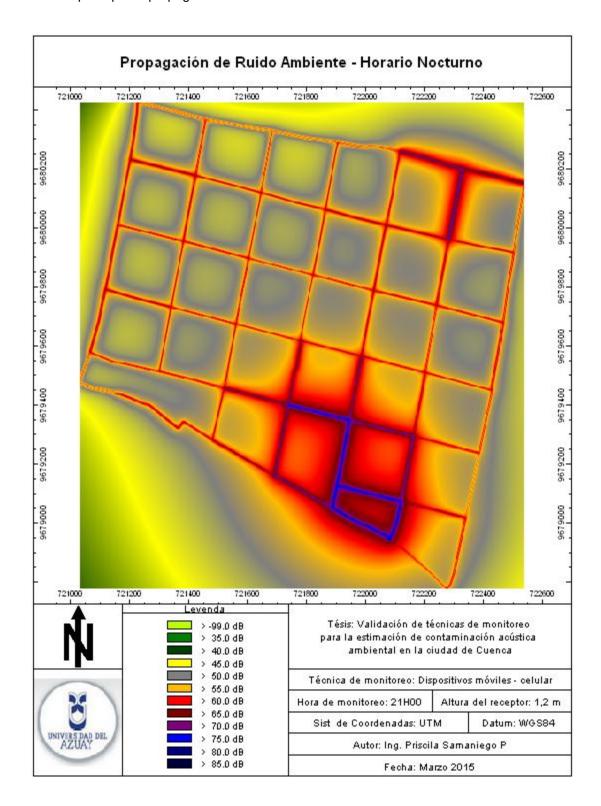
Anexo 7n: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00



Anexo 7o: Mapa de propagación de ruido ambiente en el día

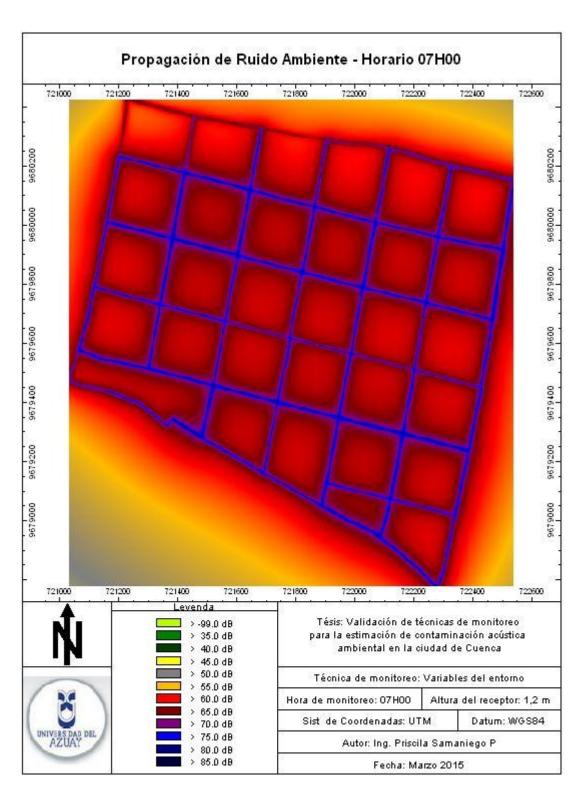


Anexo 7p: Mapa de propagación de ruido ambiente en la noche

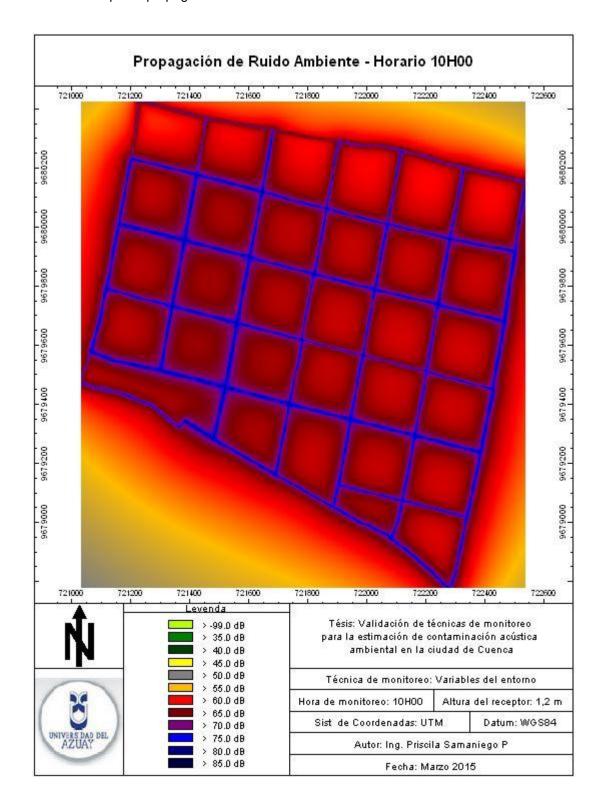


Técnica 3: Aplicación de leyes físicas de propagación de ruido: fuente, medio de propagación y características del entorno (# vehículos, ancho de vía, tipo de calzada, tipo de vía)

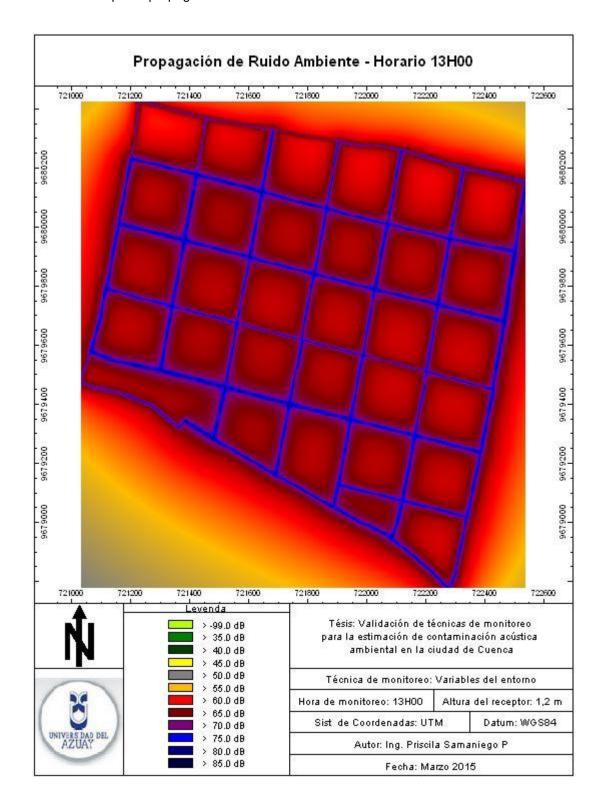
Anexo 7q: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 7H00



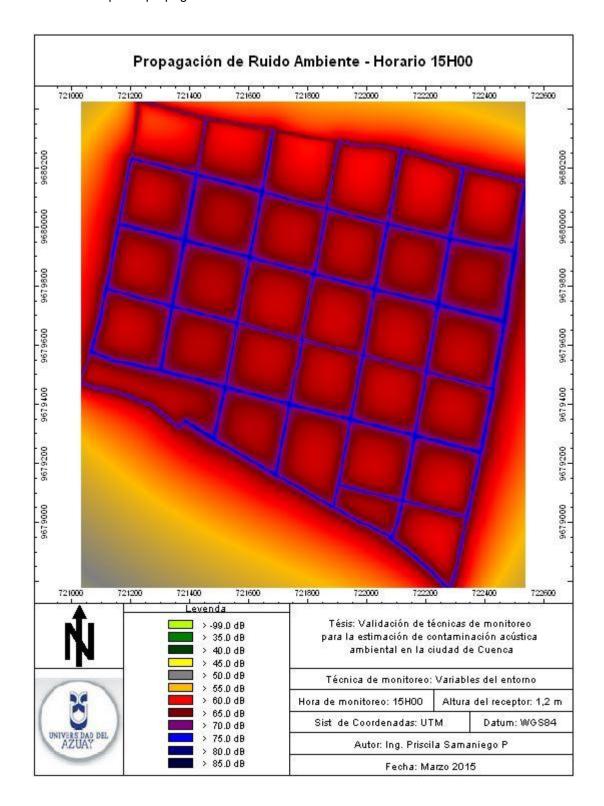
Anexo 7r: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 10H00



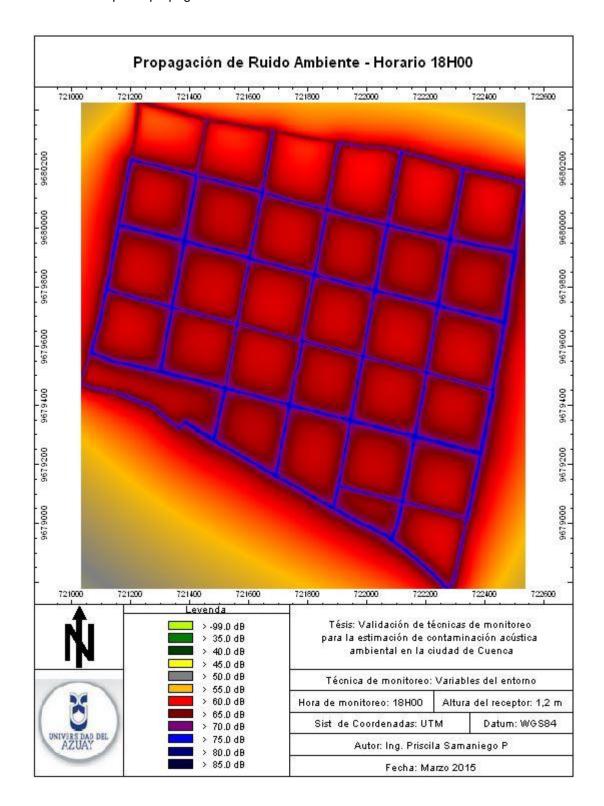
Anexo 7s: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 13H00



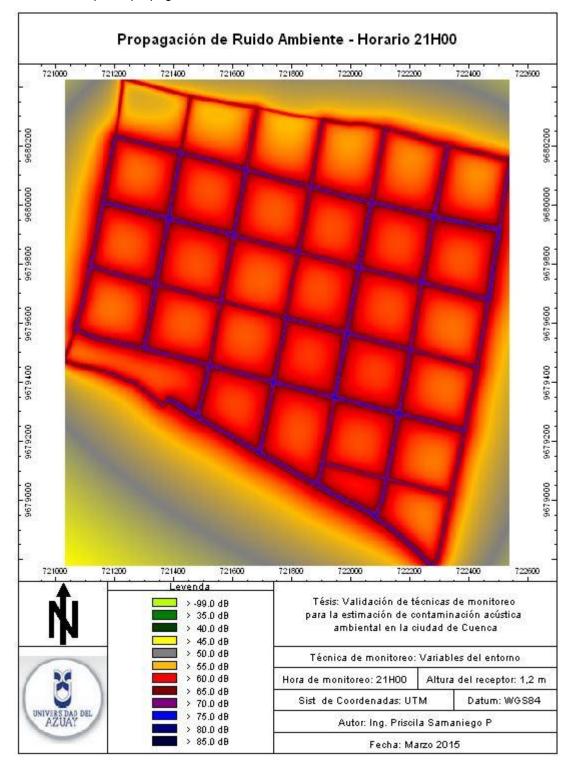
Anexo 7t: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 15H00



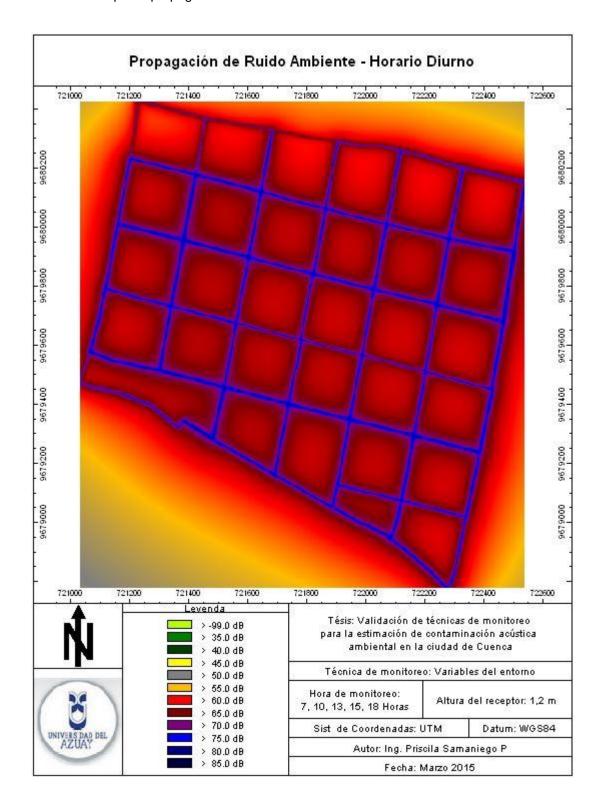
Anexo 7u: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 18H00



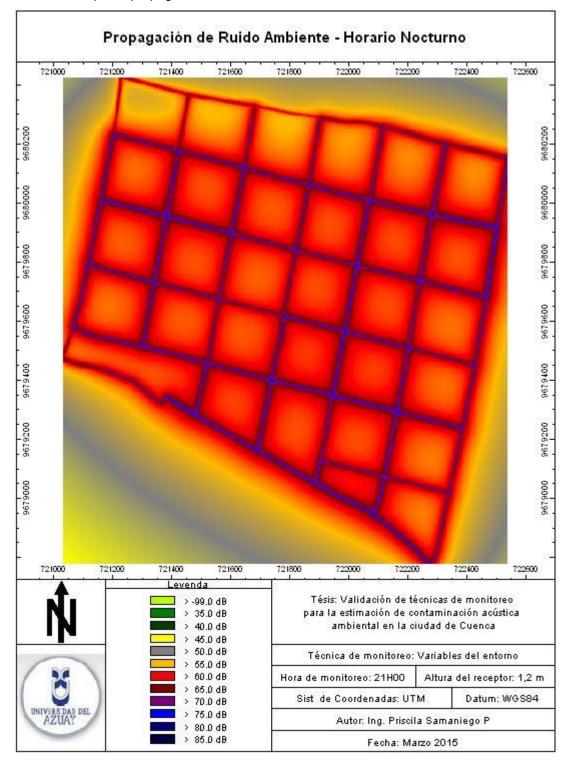
Anexo 7v: Mapa de propagación de ruido ambiente en el horario 21H00



Anexo 7w: Mapa de propagación de ruido ambiente en el día



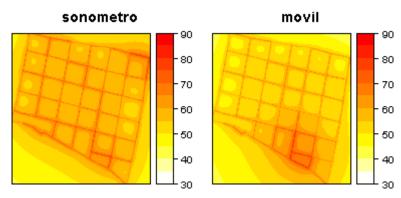
Anexo 7x: Mapa de propagación de ruido ambiente en la noche



Anexo 1: Análisis de mallas ráster entre los datos del sonómetro y de la aplicación móvil, en los diferentes horarios establecidos.

Sonómetro - Móvil, Horario 7:00

Mallas



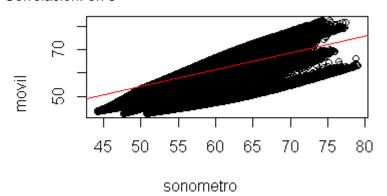
Residuos

residuos - 15 - 10 - 5 - - 5

Error medio cuadrático: 4.77

Media: 3.15

Correlación: 0.78



Regresión lineal: R²= 0.60

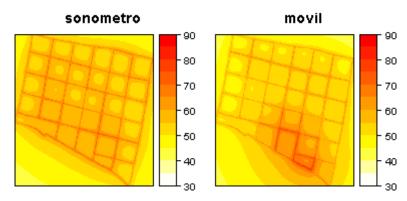
Regresión

lineal

múltiple:

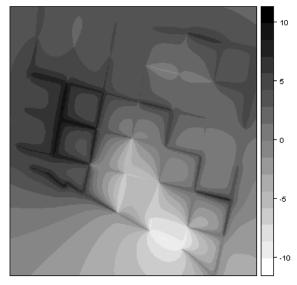
Sonómetro - Móvil, Horario 10:00

Mallas



Residuos

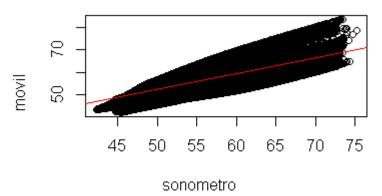
residuos



Error medio cuadrático: 3.92

Media: 1.32

Correlación: 0.78



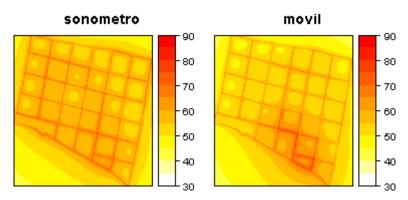
Regresión lineal: R²= 0.59

Regresión li

lineal múltiple:

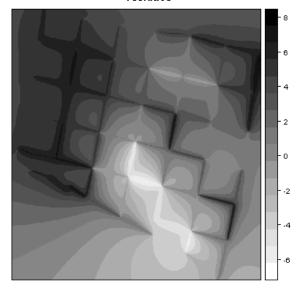
Sonómetro - Móvil, Horario 13:00

Mallas



Residuos

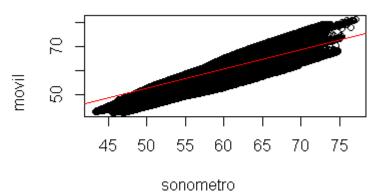
residuos



Error medio cuadrático: 3.42

Media: 1.92

Correlación: 0.86



Regresión lineal: R²= 0.74

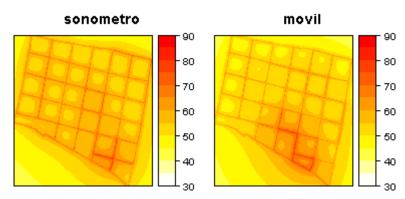
Regresión

lineal

múltiple:

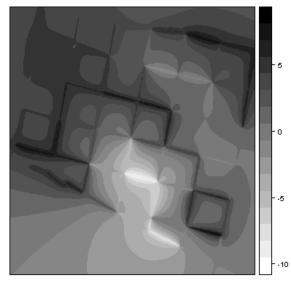
Sonómetro – Móvil, Horario 15:00

Mallas



Residuos

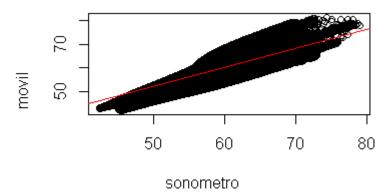
residuos



Error medio cuadrático: 3.23

Media: 1.48

Correlación: 0.86



Regresión lineal: R²= 0.74

Regresión

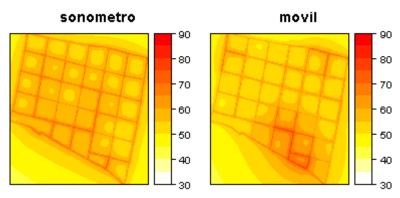
lineal

múltiple:

R²=0.85

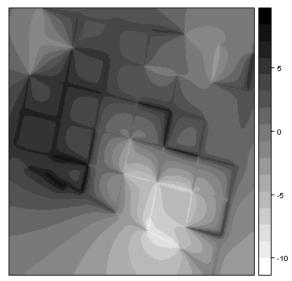
Sonómetro - Móvil, Horario 18:00

Mallas



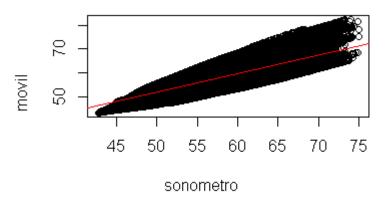
Residuos

residuos



Error medio cuadrático: 3.34 Media: 0.70

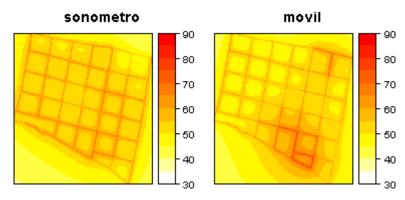
Correlación: 0.80



Regresión lineal: R²= 0.65 Regresión lineal múltiple:

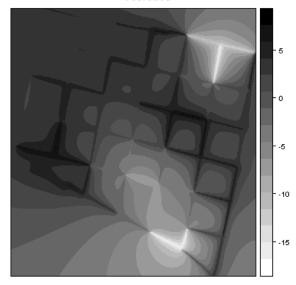
Sonómetro – Móvil, Horario 21:00

Mallas



Residuos

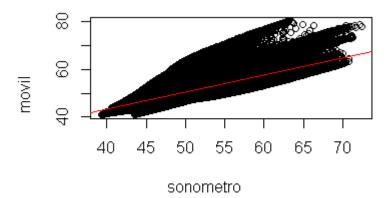
residuos



Error medio cuadrático: 3.96

Media: -0.06

Correlación: 0.72



Regresión lineal: $R^2 = 0.52$

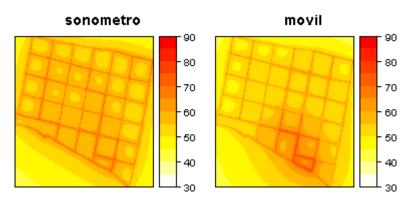
Regresión

lineal

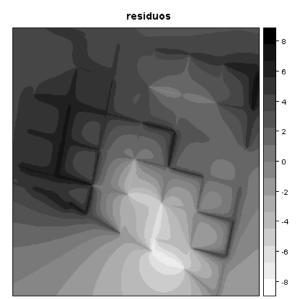
múltiple:

Sonómetro - Móvil, Horario diurno

Mallas



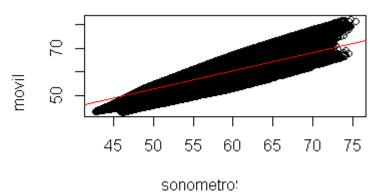
Residuos



Error medio cuadrático: 3.58

Media: 1.73

Correlación: 0.83



Regresión lineal: R²= 0.69

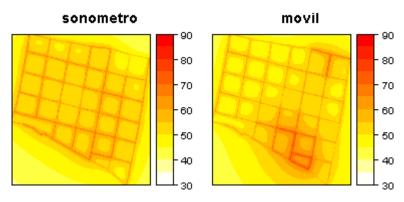
Regresión

lineal

múltiple:

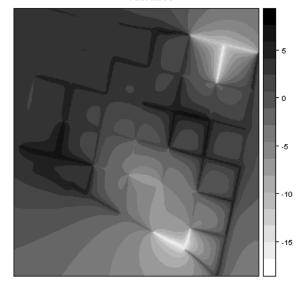
Sonómetro – Móvil, Horario nocturno

Mallas



Residuos

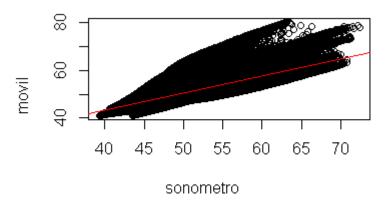
residuos



Error medio cuadrático: 3.96

Media: -0.06

Correlación: 0.72



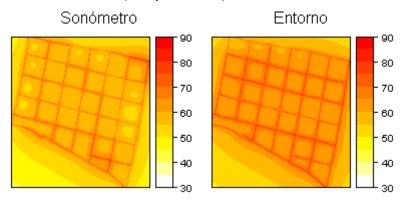
Regresión lineal: $R^2 = 0.52$

Regresión

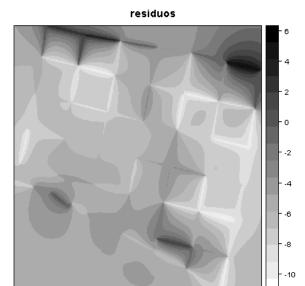
lineal

múltiple:

Anexo 9: Análisis comparativo entre las técnicas de captura de datos -sonómetro y variables del entorno (vías y vehículos).

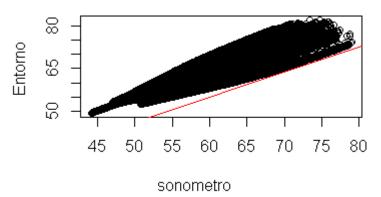


Residuos



Error medio cuadrático: 5.85 Media: -5.45

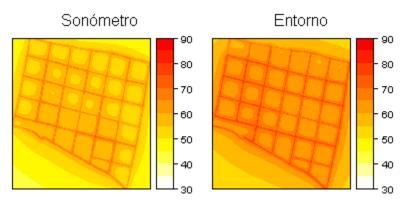
Correlación: 0.92



Regresión lineal: R²= 0.84 Regresión lineal múltiple:

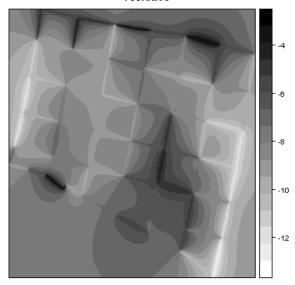
Sonómetro – Entorno, Horario 10:00

Mallas



Residuos

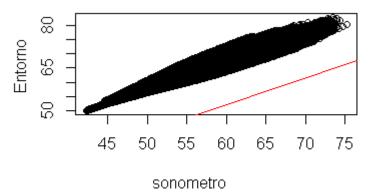
residuos



Error medio cuadrático: 8.17

Media: -8.05

Correlación: 0.96



Regresión lineal: R²= 0.93

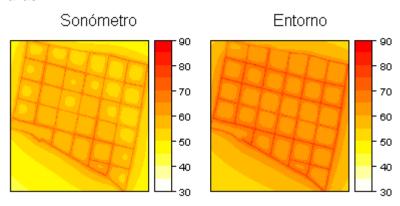
Regresión

lineal

múltiple:

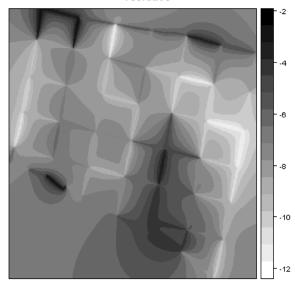
Sonómetro – Entorno, Horario 13:00

Mallas



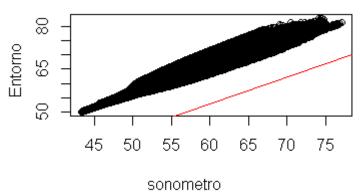
Residuos

residuos



Error medio cuadrático: 7.47 Media: -7.33

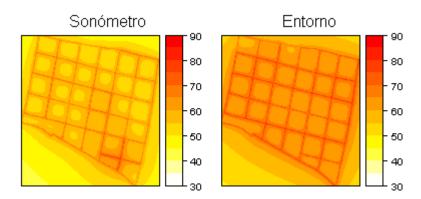
Correlación: 0.9614316



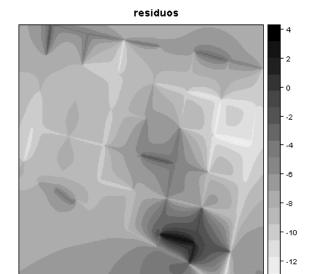
Regresión lineal: R²= 0.92 Regresión lineal múltiple:

Sonómetro – Entorno, Horario 15:00

Mallas

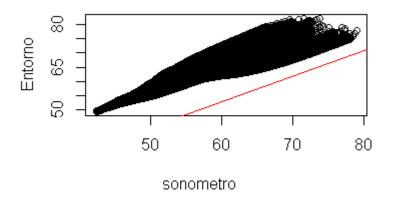


Residuos



Error medio cuadrático: 7.78 Media: -7.49

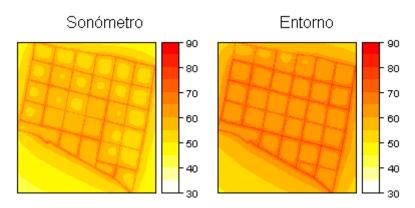
Correlación: 0.9225837



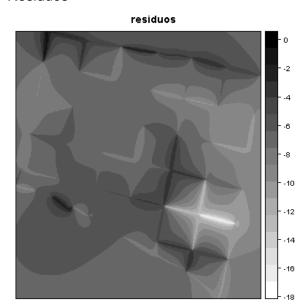
Regresión lineal: R²= 0.85 Regresión lineal múltiple:

Sonómetro – Entorno, Horario 18:00

Mallas



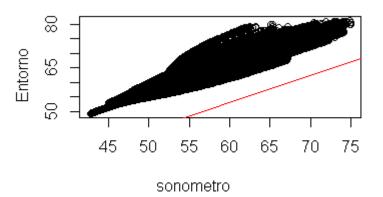
Residuos



Error medio cuadrático: 7.21

Media: -7.04

Correlación: 0.9552928



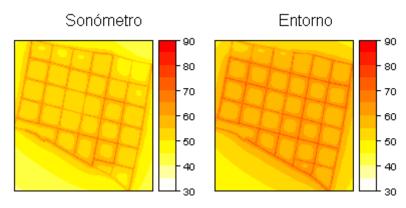
Regresión lineal: R²= 0.91

Regresión lineal

múltiple:

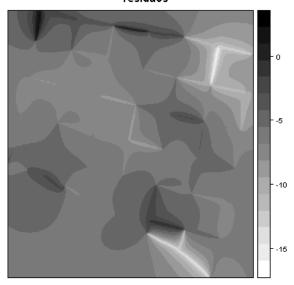
Sonómetro – Entorno, Horario 21:00

Mallas



Residuos

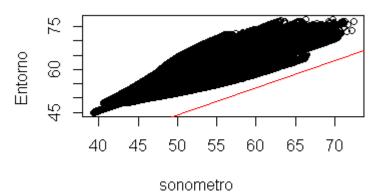
residuos



Error medio cuadrático: 6.49

Media: -6.26

Correlación: 0.95



Regresión lineal: R²= 0.90

Regresión l

lineal múltiple:

R²=0.91