

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA GEOESTADÍSTICA PARA EL MONITOREO
DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO, SEDE
TOROBAJO.**

**HEIMAN FABIAN NARVAEZ
GENNY SANTANDER**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA GEOESTADÍSTICA PARA EL MONITOREO
DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO, SEDE
TOROBAJO.**

**HEIMAN FABIAN NARVAEZ
GENNY SANTANDER**

**Trabajo de grado modalidad Diplomado, presentado como requisito parcial para
optar al título de Geógrafo con Énfasis en Planificación Regional**

**Asesores:
Msc. CARLOS ALBERTO TORRES BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“las ideas y conclusiones aportadas en este informe de pasantía son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Art 1. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Francisco Javier Mora Córdoba

Oscar Fernando Benavides

Eybar René Sánchez

San Juan de Pasto, junio 7 de 2015

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la influencia directa o indirecta de muchas personas a las que agradecemos profundamente por estar presentes en las distintas etapas de su elaboración, así como en el resto de nuestras vidas.

Le agradecemos al profesor Carlos Alberto Torres Burbano por apoyarnos y manifestar su interés en dirigir nuestro trabajo de grado, por su confianza, colaboración y apoyo en el proceso de realización de esta monografía.

A los profesores que hicieron parte del Diplomado cuya preocupación, supervisión y orientación del proceso de éste y otros proyectos, hizo posible que nuestro trabajo se desarrollara de manera satisfactoria a nivel personal y académico.

A todos los docentes de la Universidad de Nariño que compartieron sus conocimientos, dentro y fuera de clase, haciendo posible que nuestra formación profesional se resumiera en satisfacciones académicas e inquietudes insatisfechas en continua indagación. En especial a Francisco Javier Mora, magistral docente que siempre se caracterizó por brindarnos apoyo incondicional y preocupación por sus estudiantes para que culminen sus metas, trabajando siempre en aras de agilizar procesos y no entorpecerlos.

A nuestros amigos y compañeros que durante los más de cinco años pusieron la mejor de su energía y empeño por el bien de nuestra formación profesional, a quienes compartieron su confianza, y los mejores momentos que vivimos durante esta etapa como estudiantes de pregrado, dentro y fuera del campus.

Por último a nuestras familias y seres más queridos, por no perderse un solo día de nuestras vidas y apoyarnos incondicionalmente.

DEDICATORIA

Más que una dedicatoria es el reconocimiento a una experiencia llena de bendiciones la cual hace que seamos mejores personas cada día, culminar esta etapa de la mano de nuestros familiares, docentes, amigos, compañeros y sobre todo de la mano de Dios hace que la nueva etapa que comienza en este tiempo sea de un enriquecimiento incalculable. Nada de esto fuese posible por si solos, gracias a todas las personas que nos acompañaron aportando su granito de arena para terminar este gran logro que hoy no llena de alegría y entusiasmo.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló una metodología para la medición de ruido producido por fuentes móviles. La metodología consistió básicamente en: (1) la aplicación de las recomendaciones de la norma internacional para ruido ISO 1996-1-2-3 y de la norma nacional (resolución número 8321 de 1983), (2) la medición de la variable ruido utilizando un sonómetro digital, y (3) la presentación de los resultados e instalación de puntos de muestreo utilizando sistemas de información geográfica a través de la interpolación por método geoestadístico de Densidad de Kernel. El muestreo fue realizado con datos en tiempo real, con los cuales se puede conocer la situación con respecto a la contaminación acústica en una región o lugar. Una aplicación de la metodología se realizó en un área seleccionada en la sede Torobajo de la Universidad de Nariño. Los resultados indicaron que la emisión de ruido sobrepasa totalmente los límites permisibles para cada una de las zonas del área de estudio en el intervalo de tiempo evaluado, para cada uno de los 40 puntos de monitoreo.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for measuring noise produced by mobile sources was developed. The methodology was basically: (1) the implementation of the recommendations of the international standard ISO noise 1996-1-2-3 and national standard (Resolution No. 8321 of 1983), (2) measurement of the noise variable using a sound meter digital, and (3) the presentation of the results and installation of sampling points using geographic information systems through the geostatistical interpolation method Kernel density. The sampling was performed with real-time data, with which you can know the situation with regard to noise pollution in a region or place. An application of the methodology was performed on a selected Torobajo headquarters of the University of Nariño area. The results indicated that the noise emission totally exceeds allowable limits for each of the areas of the study area in the time interval evaluated for each of the 40 monitoring points.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo General	15
3.2. Objetivos Específicos.....	15
4. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
5. MARCO CONCEPTUAL	17
5.1. DEFINICIÓN DE SONIDO	17
5.1.1. Descripción de una onda.....	17
5.1.2. Amplitud de onda.....	18
5.1.3. Frecuencia.....	18
5.1.4. Energía sonora.....	18
5.2. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	19
5.3. EL RUIDO	19
5.3.1. El umbral de audición	21
5.3.2. El umbral del dolor.....	21
5.3.3. El decibel.....	21
5.4. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO.....	22
5.4.1. Definición de ruido.....	22
5.4.3. Ruido ambiental.....	22
5.4.4. Curvas de ponderación.....	22
5.5. TIPOS DE RUIDO.....	25
5.5.1. Ruido estable.....	25
5.5.2. Ruido fluctuante.....	25
5.5.3. Ruido de impulso.....	25
5.5.5. Fuentes de ruido.....	25
5.5.6. Niveles de ruido.....	26

5.5.7. Niveles máximos en edificios públicos.....	26
5.6. GEOESTADÍSTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	27
6. MARCO LEGAL	29
7. METODOLOGÍA	30
7.1. FASE I. Muestreo y recolección de datos en la determinación de niveles acústicos.....	30
7.1.1. Análisis estadístico de datos	30
7.2. FASE II. Comportamiento espacial de los niveles acústicos.....	31
7.2.1. Geoestadística.....	32
7.2.2. Análisis exploratorio de datos.....	33
7.3. FASE III Propuesta de mitigación de ruido.....	33
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
8.1. MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO.....	36
8.1.1. Medición de Ruido Fluctuante.	36
8.1.2. Determinación de los puntos de muestreo	36
8.1.3. Procesamiento de datos de campo	38
8.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS DE RUIDO.....	40
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50

INTRODUCCIÓN

La ubicación de fuentes sonoras cerca de cierto tipo de infraestructuras o en zonas inadecuadas ha ocasionado que se sobrepasen fácilmente los límites permisibles de ruido en algunos sectores de la Universidad, generando efectos sobre la salud y el desarrollo integral del ser humano, convirtiéndose en un factor contaminante al que se le debe prestar la atención adecuada, sobre todo al tratarse de un centro de educación superior.

Los seres humanos estamos expuestos a niveles elevados de ruido y aunque la percepción auditiva es una sensación subjetiva, ya que se encuentra ligada a factores tanto fisiológicos como psicológicos de cada individuo, existen en la actualidad una serie de restricciones respecto al índice de emisiones tolerables provenientes de la comunidad, de los automotores y de la industria en general. Los avances tecnológicos y las regulaciones ambientales de los países han motivado al desarrollo de programas para la medición y control de ruido ambiental. De igual forma, con el advenimiento de nuevas tecnologías la tendencia a reducir dichos índices se está convirtiendo en una realidad.

Con el ánimo de que las autoridades universitarias y de bienestar universitario cuenten con una herramienta efectiva que les permita disponer de la información oportuna, necesaria para ejercer un correcto control sobre las fuentes de contaminación por ruido, aplicar soluciones correctivas en las zonas más afectadas por este factor contaminante y/o planear la distribución de ciertas actividades generadoras de ruido, de manera que la comunidad académica no se vea tan afectada, a través del proceso del Diplomado en Sistemas de Información Geográfica, como ejercicio final de aplicación del curso, se desarrolló este proyecto, el cual consiste en usar un sistema de medición de ruido donde se establecieron 40 puntos de monitoreo para posteriormente a través de la geoestadística, con el índice de densidad de Kernel, se interpola zonas de contaminación acústica a través de mapas, como resultado gráfico en el territorio.

1. FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La aplicación de metodologías en geoestadística permite entender el comportamiento de la contaminación acústica en la Universidad de Nariño, sede Torobajo.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la Universidad de Nariño, no existen estudios que permitan conocer la situación de contaminación por ruido, sin que se pueda determinar los niveles sonoros promedios que sobrepasan los límites establecidos por las normatividades, siendo las instituciones académicas, lugares en los que en los que debe medirse la contaminación auditiva, mas aun cuando se localizan cerca de zonas comerciales, industriales, residenciales, institucionales y parques.

La causa principal de la contaminación acústica es la circulación vehicular, y en menor medida la aglomeración de personas conversando en voz alta, situación que es muy común en las diferentes instalaciones o lugares de la universidad. En casos aislados, se agrega el ruido proveniente de actividades, en las cuales se reproduce música con niveles altamente audibles desde los puntos de medición en especial hacia los fines de semana.

En razón de lo anterior, el efecto del ruido en la salud de las personas se asocia al miedo y la tensión, el ruido actúa a través del órgano del oído sobre los sistemas nerviosos central y autónomo. Cuando el estímulo sobrepasa determinados límites, se produce sordera y efectos patológicos en ambos sistemas, tanto instantáneos como diferidos; a niveles mucho menores, el ruido produce malestar y dificulta o impide la atención, la comunicación, la concentración, el descanso y el sueño, la reiteración de estas situaciones puede ocasionar estados crónicos de nerviosismo y estrés lo que, a su vez, lleva a trastornos psicofísicos, enfermedades cardiovasculares y alteraciones del sistema inmunitario.

La distancia de la fuente al observador influye en el nivel sonoro, siendo este efecto mayor en campo abierto que en presencia de paredes u objetos reflectores del sonido. Cada duplicación de la distancia representa, en campo abierto, una reducción de 6 dB del nivel sonoro. Esto es importante en los casos de grandes explanadas de acceso a un edificio, ya que el mayor alejamiento de la calzada implica un menor nivel de ruido.

La falta de indicadores sobre la morbilidad generada por la exposición al ruido ambiental y la necesidad de implementar planes de gestión del ruido urbano hacen evidente la necesidad de un sistema de vigilancia de la salud ambiental que sistematice, analice, interprete y divulgue los datos de la frecuencia y distribución de los efectos en la salud y calidad de vida asociados al ruido ambiental.

El ruido ambiental en general, molesta al receptor, ya que produce un sentimiento de displacer, que afecta adversamente al individuo y, por tanto, su calidad de vida. Esto se contrapone con la definición de salud que da la Organización Mundial de la Salud (OMS), y que es el estado de completo bienestar físico, mental y social. La OMS identifica los siguientes efectos adversos sobre la salud de la población expuesta al ruido: interferencia en la comunicación, alteraciones en el descanso y en el sueño, efectos psicológicos y fisiológicos, deterioro en el desempeño de tareas y cambios en el comportamiento social, llegándose incluso al deterioro irreversible del sistema auditivo.

2. JUSTIFICACIÓN

El exceso de ruido perjudica directamente el sistema auditivo provocando que cada año muchas personas visiten a los profesionales de la salud por síntomas de sordera, tinnitus, perturbaciones del sueño, afecciones cardiacas u otros problemas producidos por el excesivo volumen del entorno en general y que pueden llegar a ser muy perjudiciales para la salud.

Con el propósito de promover el cuidado del ambiente acústico, la conservación de la audición y la concienciación sobre las molestias y daños que generan los ruidos se hace un diagnóstico de los niveles de ruido a los que están sometidas las distintas zonas de la Universidad de Nariño por parte de los focos de ruido ambiental. Según la Resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que establece la norma ambiental de emisión de ruido para el territorio colombiano tiene como objeto prevenir vigilar y reducir la contaminación acústica.

El trabajo de levantamiento de los mapas de ruido ambiental en la Universidad tiene el objetivo de determinar la exposición de la población al ruido ambiental, si bien este trabajo se convierte en una importante herramienta con la que el personal de Bienestar Universitario podrá definir estrategias reales en el control y disminución del ruido, todo esto, a través de mediciones en horario diurno y en diversos puntos del campus tanto en los bloques, como en áreas abiertas, por consiguiente, los mapas servirán para la detección de los lugares con índices excesivos de sonoridad y las zonas especialmente sensibles.

Teniendo en cuenta que no existen estudios a nivel institucional, la realización de mediciones y evaluaciones en el terreno, mapas de niveles de ruido y el cálculo de los niveles esperados de ruido cobran enorme importancia y alcance para la Universidad, porque le permitirá tratar este problema en su real dimensión y de esta manera garantizar el confort acústico de la comunidad universitaria.

Mediante ciencias como la geoestadística se puede estimar, predecir y simular fenómenos espaciales (Myers, 1987)¹. Esta rama de la estadística ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad. El ruido nos ofrece una continuidad espacial por lo que es factible la presente investigación aplicando técnicas geoestadísticas como la predicción, rama que ha sido utilizado por los geógrafos en otras latitudes y que ahora gracias al presente trabajo se hace este importante aporte a la ciencia geográfica y en especial a la comunidad académica de nuestra Universidad de Nariño, dejando las puertas abiertas tanto para los estudiantes para continuar con estudios de este tipo y a la vez para los autores, si bien permite la puesta a prueba de los conocimientos adquiridos en el proceso de aprendizaje.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Aplicar una herramienta de interpolación geoestadística para el monitoreo de la contaminación acústica en la Universidad de Nariño, sede Torobajo.

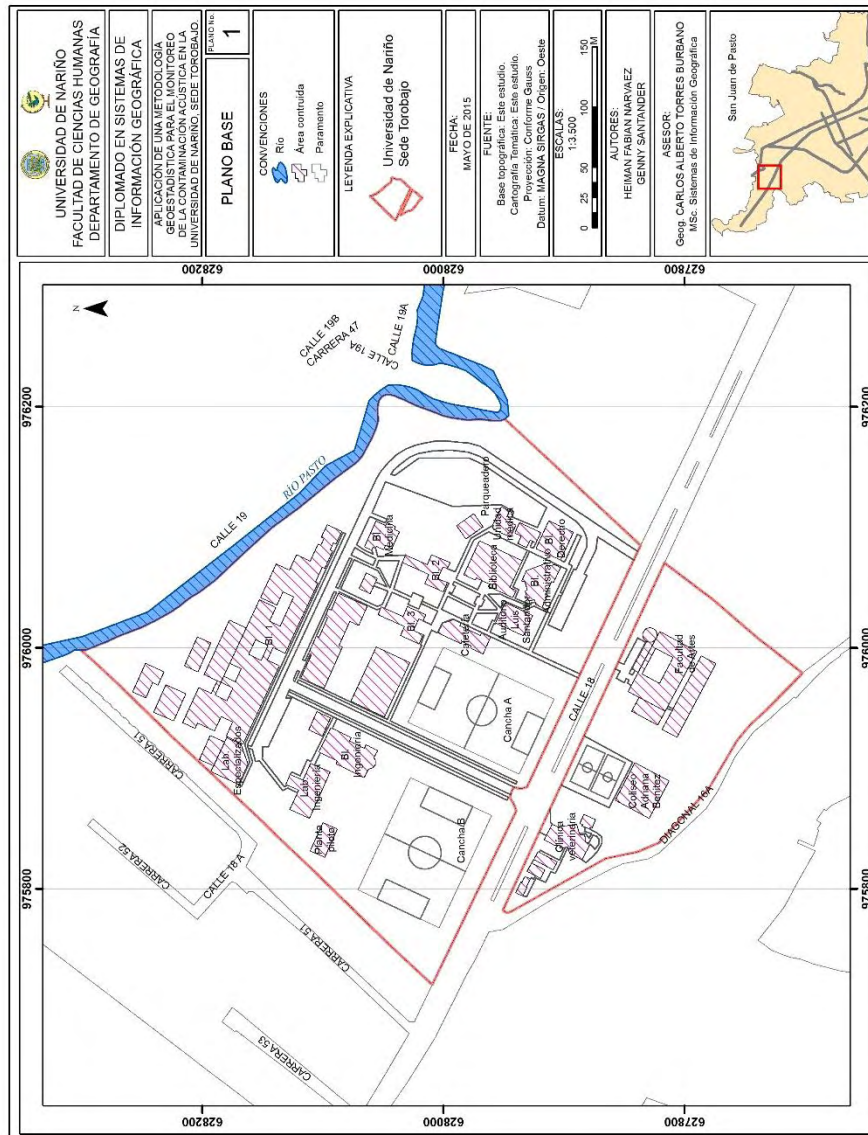
3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los niveles acústicos existentes en la Universidad de Nariño, sede Torobajo, utilizando herramientas de interpolación geoestadística.
- Conocer el comportamiento espacial de los niveles acústicos en el área de estudio.
- Proponer medidas para mitigar la contaminación por ruido en la zona de estudio.

4. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Universidad de Nariño se localiza hacia la zona Noroccidental de la Ciudad de San Juan de Pasto entre las coordenadas planas: Nortes: 627700 a 628300, Estes: 976200 a 975700, hacía el sur, converge con la calle 18, vía que conduce hacia los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, entre otros; y que se conoce como carretera circunvalar al volcán Galeras; hacia el Norte, sus límites alcanzan el transcurso del Río Pasto (Mapa 1).

Mapa 1. Localización del área de estudio



Fuente: Este estudio.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. DEFINICIÓN DE SONIDO

El término sonido se usa en dos formas diferentes: Los fisiólogos lo definen en términos de las sensaciones auditivas producidas por perturbaciones longitudinales en el aire¹, para ellos si se produjera una pequeña explosión a cientos de kilómetros de un ser viviente, no existe sonido pues requiere que alguien lo escuche².

La física, por otro lado, lo define como una forma de energía que se propaga en forma de ondas y que requiere de dos componentes para que se produzca: Una fuente mecánica de vibración y un medio elástico a través del cual se pueda propagar la perturbación.

Las vibraciones provienen de objetos materiales por ejemplo: las cuerdas de una guitarra, la lengüeta vibratoria de un saxofón, o las cuerdas bucales en los humanos. Los medios en los cuales se propaga la perturbación son cualquier sustancia elástica.

La elasticidad es la propiedad que tiene un material para cambiar de forma en respuesta a una fuerza aplicada, para después regresar a su forma inicial cuando se retira la fuerza de distorsión. En relación con los sólidos y los líquidos, el aire es el peor conductor de sonido. Se puede escuchar el sonido de un tren lejano con más claridad si se coloca el oído sobre la riel³.

5.1.1. Descripción de una onda

Un vaivén tanto en el espacio como en el tiempo es una onda, la cual se extiende de un lugar a otro. La luz y el sonido son vibraciones (oscilaciones en el tiempo) que se propagan en el espacio en forma de ondas, la luz a diferencia del sonido, se puede propagar en el vacío mientras que el sonido necesariamente requiere de un medio elástico.

El movimiento oscilatorio (movimiento vibratorio de ir y venir) de un péndulo se denomina movimiento armónico simple el cual se representa por una curva especial llamada senoide o senoide, la misma que nos permite describir gráficamente la propagación de una onda. A los puntos más altos del senoide se los conoce como crestas y los puntos más bajos, valles.

¹ TIPPENS, Paul E, Física. Conceptos y aplicaciones , tercera edición, McGraw-Hill 1991, p. 455, p.466

² Ibid.

³ HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 382, p. 384.

5.1.2. Amplitud de onda

Es la distancia desde el centro hasta una cresta o valle, empleando otros términos, sería el desplazamiento máximo con respecto al equilibrio.

La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos crestas adyacentes o valles, las longitudes de onda de las olas en una playa se miden en metros; las ondulaciones de un estanque en centímetros y las de la luz en milésimas de millones de metro (nanómetro)⁴.

5.1.3. Frecuencia

La frecuencia (f) es el número de oscilaciones por unidad de tiempo, suele definirse la unidad de frecuencia como las vibraciones que se producen por cada segundo; en el sistema internacional (SI) la unidad de frecuencia es el hertz (Hz) en honor a Heinrich Hertz quien demostró la existencia de las ondas de radio en 1886⁵.

Se relaciona nuestra impresión subjetiva de la frecuencia del sonido con la palabra "altura". La frecuencia corresponde a la altura: un sonido alto (o agudo) tiene una alta frecuencia de vibración; en tanto que sonido bajo (o grave) tiene una baja frecuencia de vibración⁶. La frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de longitud de onda, cuando la frecuencia es alta tiene menor longitud de onda y viceversa.

El oído de una persona joven es capaz de captar normalmente alturas que corresponden al intervalo de frecuencias de entre 20 y 20.000 hertz. Conforme vamos madurando, se contraen los límites de este intervalo de audición, en especial en el extremo de la frecuencia. Las ondas sonoras cuyas frecuencias son menores a 20 hertz son infrasónicas, y aquellas cuyas frecuencias son mayores a 20.000 hertz se llaman ultrasónicas⁷.

5.1.4. Energía sonora

Es la energía que transmite o transportan las ondas sonoras. Procede de la energía vibracional de la fuente y se propaga a las partículas del medio que atraviesan en forma de energía cinética y energía potencial. Por ejemplo, un sonido muy intenso puede hacer vibrar los cristales de una ventana o incluso romperlos.

⁴ HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 364, p. 365, p. 380

⁵ Ibid.

⁶ Ibid

⁷ Ibid

5.2. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La actividad humana ha sido siempre una fuente inagotable y continua de sonidos. Sin embargo, el vertiginoso proceso de urbanización que ha caracterizado a las sociedades modernas ha aportado a la civilización una nueva preocupación ambiental: el ruido.

El aumento sistemático de la actividad comercial e industrial, de la Urbanización en las ciudades , una elevada tasa de crecimiento de las viviendas, la pérdida de áreas verdes, la explosión demográfica y una mayor demanda de transporte público y privado, el aumento de lugares de diversión (discotecas, pubs) es otra causa de la aparición de este flagelo que ha supuesto un impacto nocivo en lo que se denomina el ambiente sonoro del núcleo urbano y, por defecto, en la calidad de vida de sus habitantes.

Tradicionalmente el ruido era considerado como la fuente de contaminación más inofensiva ya que, a diferencia de otros agentes, sólo se percibe por un sentido y sus efectos son menos inmediatos. Es, sin embargo, uno de los contaminantes más invasivos que se encuentran en la atmósfera.

La polución acústica posee en ella misma una serie de inconvenientes que dificultan su control. Ante todo, el ruido no deja residuos y sus efectos no son tan visibles en el medio. Además, el número de fuentes que lo generan, resultado de la actividad comunitaria global, es enorme.

Los expertos coinciden al afirmar que es muy difícil escapar a su nocividad y a los desequilibrios que comporta. En el ámbito urbano, laboral, social, educativo e incluso en el hogar, el ruido consigue interferir en la vida del ser humano provocándole dificultades de atención y de concentración, sin olvidar su contribución al estrés nervioso y a la alteración del sueño.

Internacionalmente se considera que es el tráfico el factor principal de generación de contaminación sonora en los núcleos urbanos, representa un 80% del ruido ambiental y expone a la población a unos niveles de ruido nocivos.

5.3. EL RUIDO

Aunque la definición de ruido es subjetiva, no lo es su intensidad. Se considera que el ruido es una agente contaminante físico, y la unidad de medida internacional de la Intensidad es el DECIBEL (dB), cuya escala de medida va desde 0 dB a160 dB.

La Organización Mundial de la Salud establece como niveles máximos admisibles los siguientes:

- ✓ En lugares tranquilos 55 dB de día y 45 de noche y en lugares ruidosos 75 dB de día y 65 de noche.

- ✓ Por ejemplo en algunas fábricas puede haber hasta 110 dB, un martillo neumático 120 a 130 dB, un aparato de aire acondicionado 60 dB.

El ruido modifica el funcionamiento del sistema neuro-vegetativo, observándose casos de aceleración del ritmo cardiaco, del ritmo respiratorio, aumento de la presión sanguínea, de la secreción salival, alteración del tono muscular. Y como efectos psíquicos, pueden aparecer: falta de concentración, molestia, desconfort, miedo, y sentimientos de angustia.

Entonces en términos simples, el ruido es un "sonido no deseado" que afecta la salud y el bienestar de hombres y mujeres. También podemos decir que todo ruido que provoca efectos adversos en las personas, se puede catalogar de contaminante.

El ruido puede llegar a ser una interferencia muy nociva en las conversaciones, el sueño, comunicación telefónica, descanso, estudios, entre otras actividades. Pero la contaminación acústica no sólo tiene la capacidad de interferir, también provoca serios daños auditivos y ocasiona diversos efectos tanto a nivel fisiológico como psíquico. Dolores de cabeza o cefaleas, irritabilidad, taquicardias, aumento en la presión sanguínea, trastornos del sueño, fatiga, son los síntomas más comunes que provoca la exposición continua al ruido.

La contaminación acústica tiene directa relación con la expansión de las zonas urbanas, donde las grandes concentraciones poblacionales, el aumento progresivo de los medios de transporte y el crecimiento del sector industrial y comercial constituyen algunas de las principales fuentes contaminantes del ruido urbano.

Potencia

Es el trabajo efectuado por las ondas sonoras en un intervalo de tiempo. La unidad de potencia es el Joule por Segundo (J/s) también conocido como Watt (Vatio en español).

Intensidad sonora

La intensidad del sonido (o sonora) es la potencia transferida por una onda sonora a través de la unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$intensidad = \frac{Potencia}{\text{Área}}$$

La unidad de intensidad más usual es el watt/cm², pero debido a que la rapidez del flujo de energía de las ondas sonoras es extremadamente pequeño también se emplea el microwatt (μW).

$$1 \mu W = 10^{-6} W$$

Cuando el ser humano califica el volumen que se genera de una fuente, está asociando la intensidad sonora que se produce en dicha fuente.

5.3.1. El umbral de audición

El umbral de audición, es la intensidad mínima de sonido capaz de impresionar al oído humano. En público joven y sin problemas auditivos se encuentra en $10^{-10} \mu W/cm^2$ para una frecuencia de 1000 Hz.

5.3.2. El umbral del dolor

Como su nombre lo indica, es la intensidad de sonido que causa dolor al oído humano. En público joven y sin problemas auditivos se sitúa en $100 \mu W/cm^2$ para una frecuencia de 1000 Hz.

5.3.3. El decibel

Cuando se compara la intensidad de dos sonidos y se afirma que un sonido es diez veces mayor que la intensidad de otro, se dice que la razón de intensidad es un *bel* (B)¹³.

De esta manera cuando se comparan las intensidades de dos sonidos, se refiere a una diferencia en los niveles de intensidad dados por:

$$B = \log_{10} \frac{I_1}{I_0}$$

Donde,

I_1 , Intensidad sonora a estudiar.

I_0 , Intensidad inicial.

En la práctica, un bel resulta ser demasiado grande; para obtener una unidad más útil se definió un decibel (dB) como la décima parte de un bel.

Donde,

I_1 , Intensidad sonora a estudiar.

I_0 , Intensidad inicial.

Gracias a la notación logarítmica del decibel, ha sido posible reducir el intervalo de intensidades; sin embargo, debe recordarse que la escala no es lineal sino logarítmica. Un sonido de 40 dB es mucho mayor que el doble de intensidad de un sonido de 20 dB¹⁴.

5.4. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO

5.4.1. Definición de ruido

Las personas comúnmente empleamos el término ruido a la percepción de sonidos que nos parecen molestos, desde este punto de vista podemos asociar al ruido como una vibración irregular del tímpano, producida a su vez por una vibración irregular en nuestro entorno, lo que quiere decir que la mayor parte de lo que escuchamos es ruido. El impacto de un objeto que cae, una puerta al cerrarse, el rugir de una motocicleta y la mayor parte de los sonidos del tráfico ciudadano.

También se emplea el término ruido para hacer valoraciones de estética musical. En este caso algunos consideran que la música contemporánea y de otras culturas es ruido, ya que el sonido de la música tiene tonos periódicos o notas musicales, criterio que no es compartido por autores contemporáneos y público joven⁸.

5.4.2. Ruido ocupacional

Engloba todos los ruidos a los que está expuesto un trabajador en su jornada laboral, el cual está confinado en el interior de las actividades que lo generan, siendo los principales receptores los trabajadores que operan o trabajan en dichos lugares.

En 1999 la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su Guidelines for Community Noise, declaró que “El deterioro de la audición inducido por ruido es el riesgo ocupacional más prevalente e irreversible en el mundo, y se estima que 120 millones de personas alrededor del mundo tienen dificultades de audición incapacitantes”.⁹

5.4.3. Ruido ambiental

También denominado ruido residencial, urbano, comunal o doméstico, es el ruido emitido por todas las fuentes en el exterior de las áreas de trabajo. Las principales fuentes son: el tránsito automotor y aéreo, la construcción, obras públicas y vecindario.

El ruido característico del vecindario proviene de locales, tales como restaurantes, cafeterías, discotecas; música en vivo o grabada; competencias deportivas tales como deportes motorizados; áreas de juegos, estacionamientos y animales domésticos, como el ladrido de los perros.

5.4.4. Curvas de ponderación

Al realizar las curvas isofónicas, Fletcher y Munson en el año de 1933, observaron una dependencia de la sonoridad con la frecuencia. En las curvas isofónicas, en bajas y en

⁸ HEWITT, Paul G, Física conceptual, décima edición, Pearson Educación 2007, p. 398

⁹ www.cienciaytrabajo.cl/pdfs/20/pagina%2058.pdf

muy altas frecuencias, se incrementa la intensidad del sonido, mientras en frecuencias medias la intensidad se mantiene.

Se pensó que utilizando una red de filtrado (o ponderación de frecuencia) adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas. Por lo tanto parecía razonable diseñar tres redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de alrededor de 40 fon, 70 fon y 100 son llamadas A, B y C respectivamente.

La red de ponderación A se aplicaría a los sonidos de bajo nivel, la red B a los de nivel medio y la C a los de nivel elevado. El resultado de una medición efectuada con la red de ponderación A se expresa en decibeles A abreviado dba o dB(A), y análogamente para las otras.

A continuación en la Tabla 1, se proporciona diferentes valores de la presión sonora con ponderación A para algunas fuentes y ambientes acústicos típicos, medidas en decibeles.

Tabla 1. Nivel de presión sonora para algunas fuentes sonoras y ambientes acústicos típicos¹⁰.

FUENTE	LpA (dBA)
Umbral de dolor	120
Discoteca a todo volumen	110
Martillo neumático a 2 metros	105
Ambiente industrial ruidoso	90
Piano a 1 metro con fuerza media	80
Automóvil silencioso a 2 metros	70
Conversación normal	60
Ruido urbano de noche	50
Habitación interior (día)	40
Habitación interior (noche)	30
Estudio de grabación	20
Cámara sonoamortiguada	10
Umbral de audición a 1 kHz	0

¹⁰ Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras, Reducción del ruido en el entorno de las carreteras, OCDE, Francia (1995)

5.5. TIPOS DE RUIDO

5.5.1. Ruido estable

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora ponderada en A (LpA) inferiores o iguales a 5 dB (A) lento, durante un período de observación de un minuto.

5.5.2. Ruido fluctuante

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora ponderada en A (LpA) superiores a 5 dB (A) lento, durante un período de observación de un minuto.

5.5.3. Ruido de impulso

Es aquel ruido cuyo nivel de presión sonora aumenta bruscamente durante un impulso. La duración de este impulso es breve en comparación con el tiempo que transcurre entre un impulso y otro.

En la práctica el ruido se presenta como una mezcla de los 3 tipos, por ello se determinó el nivel de ruido equivalente (L_{eq}).

5.5.4. Nivel de ruido equivalente

Para mediciones realizadas en intervalos de tiempo mayores: segundos, minutos u horas, los instrumentos cuantifican el nivel de ruido variable en el tiempo a largo plazo como el nivel promedio en el tiempo o nivel de ruido equivalente (L_{eq}), es decir el total de la energía acústica es medida promediándola en el período de tiempo de medición. El L_{eq} puede considerarse como un nivel de ruido estable y continuo que tendría la misma energía acústica total igual al del ruido real fluctuante en el mismo período de tiempo.¹¹

5.5.5. Fuentes de ruido

Las principales fuentes de contaminación acústica a nivel mundial según el Instituto de Ruido de Londres son: vehículos automotores, industria y ferrocarriles en ese orden de prioridad. Según el diagnóstico mundial elaborado por el Área de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Agenda 21 de las Naciones Unidas, establece que las principales fuentes de ruido son:

Industria: El ruido que se produce es causado por la maquinaria utilizada y se aumenta debido a la relación directa a la potencia de las máquinas. El ruido generado por industrias promedia los 90 dB(A).

¹¹ FALCH, Edward, Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera, 1997, p. 21

Medios de transporte: Se considera como la fuente más importante de ruido al tráfico vehicular. Esta incidencia está directamente relacionada con la velocidad del vehículo y las características físicas en que se encuentre la vía. Este punto es muy importante ya que solamente en este aspecto se produce una serie de variaciones de ruido debido a factores como la intensidad del tráfico, las alarmas, el uso indebido del claxon, el mal estado del vehículo, entre otros. Como fuentes secundarias tenemos al ruido generado por ferrocarriles y al generado por los aeropuertos que en la actualidad causan graves daños a poblaciones cercanas. El ruido generado por medios de transporte fluctúa entre 70 y 90 dB(A).

Construcción de edificios y obras públicas: Se genera ruido durante la construcción, debido al empleo de maquinarias como: cementeras, grúas, martillo de perforación, etc. Aunque el personal que labora en estas actividades se protege de la generación de estos ruidos, la mayor parte de la afectación es recibida por las personas comunes que habitan alrededor de ella o transitan por ella, esto debido a que mucha de la maquinaria empleada en estos proyectos no poseen silenciadores.

Privado: Ruido que son generados debido a ciertas actividades de limpieza, electrodomésticos, aparatos de radio y televisión, animales domésticos y en si a la vida cotidiana de las personas. Este ruido se lo puede considerar de carácter privado que en muchos es difícil de controlar sino existe una cultura para evitar el ruido.

Ocio y tiempo libre: Lugares de diversión como cafeterías, discotecas, conciertos, ferias, etc., muchos de ellos pueden sobrepasar los niveles de contaminación sonora en especial en la noche¹².

5.5.6. Niveles de ruido

- ✓ Muy bajo: entre 10 y 30 dB. El de una biblioteca por ejemplo.
- ✓ Bajo: entre 30 y 55 dB. Un ordenador personal produce 40 dB.
- ✓ Ruidoso: a partir de 55 dB hasta 75 dB. Un televisor con volumen alto, un aspirador o un camión de la basura entre otros.
- ✓ Ruido fuerte: entre 75 y 100 dB. En un atasco, se producen 90 dB.
- ✓ Ruido insoportable: a partir de 100 dB. Es propio de una discusión a gritos o la pista de baile de una discoteca.
- ✓ El umbral de dolor llega a los 140 dB que es lo que se aprecia cuando nos situamos a 25m de un avión.

5.5.7. Niveles máximos en edificios públicos

- ✓ Hospitales: 25 dB.
- ✓ Bibliotecas y museos: 30 dB.

¹² <http://www.almansa.es/Agenda21>

- ✓ Cines, teatros y salas de conferencia: 40 dB
- ✓ Centros docentes y hoteles: 40 dB.
- ✓ Oficinas y despachos públicos: 45 dB
- ✓ Grandes almacenes, restaurantes y bares: 55 dB.

Las cifras medias de las leyes en Colombia establecen como límite aceptable 65 dB durante el día y 45 dB durante la noche.

5.6. GEOESTADÍSTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Es una rama de la Geografía matemática que se centra en los conjuntos de datos de la superficie terrestre, conocidos también como datos espaciales o espacio-temporales. Desarrollado originalmente para predecir las distribuciones de probabilidad de las leyes de mineral para las operaciones mineras, se aplica en la actualidad en diversas disciplinas geográficas como la hidrología, la ecología del paisaje, la pedología, la climatología, entre otras. La geoestadística no solo se aplica en diversas ramas de la geografía, sino también en otras ciencias tales como la oceanografía, la geoquímica, la geología del petróleo, la hidrogeología, la geometalurgia, la silvicultura y la agricultura (especialmente en la agricultura de precisión). también en problemas particulares como los destinadas a la propagación de enfermedades (epidemiología), la práctica del comercio y de la planificación militar (logística), y el desarrollo de redes espaciales eficientes. Algoritmos geoestadísticos se incorporan en muchos lugares, incluyendo los sistemas de información geográfica (SIG) y el entorno estadístico R. Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) a la gestión de la Información Geográfica (IG). El término Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene tres acepciones: el SIG como disciplina; el SIG como proyecto, cada una de las realizaciones prácticas, de las implementaciones existentes; el SIG como software, es decir los programas y aplicaciones de un proyecto SIG. La acepción principal es la de SIG como proyecto, Sistema de Información que gestiona Información Geográfica, es decir información georreferenciada. La definición más extendida de SIG, con pequeñas variaciones, es la establecida por el Departamento de Medio Ambiente (DoE), Burrough, Goodchild, Rhin y otros. La cual podemos sintetizar diciendo que un SIG es un: “Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra.”. Sin embargo creemos que, tal y como sostienen Burrough y Bouillé, un SIG debe verse también como un modelo del mundo real, por lo que se podría definir como: “Modelo informatizado del mundo real, en un sistema de referencia ligado a la Tierra para satisfacer unas necesidades de información concretas”.¹³

¹³ En: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do>

6. MARCO LEGAL

El Ministerio de Salud mediante la expedición de la Resolución 08321 del 4 de Agosto de 1983 establece en su artículo 17 los Límites máximos Permisibles de Generación de ruido en zonas residenciales, comerciales, Industriales y de tranquilidad. En el artículo 18 de la mencionada norma se establecen:” Los niveles de Presión sonora que se determinan con un medidor de nivel sonoro calibrado, con el filtro de ponderación A y respuesta rápida, en forma continua durante un periodo no inferior de quince (15) minutos. Se empleará un dispositivo protector contra el viento para evitar errores en las mediciones cuando sea el caso”.

Colombia, cuenta con una amplia legislación para la prevención del ruido que es de obligatorio cumplimiento para los empleadores y trabajadores expuestos. La legislación en materia de control de ruido se encuentra en los siguientes decretos y artículos:

El Decreto 614 de 1984 en su artículo 30, literal b, numeral 2 plantea la observación y el control sistemático de los factores de riesgo y de los efectos sobre la salud de los trabajadores, para tomar las medidas de control adecuadas.

La Resolución 08321 de 1983, establece las normas sobre protección y conservación de la audición por causa de la producción y emisión de ruido.

La Resolución 1016 de 1989, reglamenta la organización y funcionamiento y forma de los programas de Salud Ocupacional.

La Resolución 1792 de 1990, reglamenta los valores límites permisibles para la exposición ocupacional a ruido.

El Decreto 1295 de 1994, en sus artículos 56 y 65, delega en las Administradoras de Riesgos Profesionales la vigilancia y control de la prevención de los riesgos profesionales en las empresas afiliadas.

Así mismo, el desaparecido Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) determinó las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general aplicables a todas las actividades que puedan producir de manera directa o indirecta daños ambientales, y dictar regulaciones de carácter general para controlar y reducir la contaminación atmosférica en el territorio nacional, expidió en 2006 la resolución 0627 “Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental”. No obstante, actualmente, y en pro de mejorar la gestión en materia de ruido, desarrolla un protocolo que fortalecerá a las autoridades ambientales a través del establecimiento de los procedimientos de medición, interpretación y utilización de la información obtenida para la prevención y el control de la contaminación auditiva producida tanto por fuentes fijas como por fuentes móviles.

7. METODOLOGÍA

El presente estudio, se realizó como resultado del diplomado en Sistemas de Información Geográfico, con el fin de evaluar los niveles de presión sonora generados por las diferentes actividades que se llevan a cabo en la sede Torobajo de la Universidad de Nariño, el cual se desarrolla dentro de la línea de investigación de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos, dentro del enfoque cuantitativo.

7.1. FASE I. Muestreo y recolección de datos en la determinación de niveles acústicos

Para la determinación de los puntos de monitoreo se identificaron las áreas abiertas y bloques del campus universitario ubicando el mayor número de lugares, teniendo como primicia aquellos en donde se dan cita la mayor parte del tiempo un buen número de personas durante la jornada académica. A partir de la cartografía digital del área de estudio se enumeraron 40 puntos, donde, cada uno de los puntos equivale a un posible punto de medición de ruido ambiental dentro la zona de interés.

En la selección de los puntos de monitoreo se utilizó un método aleatorio, tratando de cubrir en su totalidad todas la áreas de la Universidad, eligiendo así, de manera cualitativa cada uno de los posibles puntos de monitoreo. Este método permite sondear o muestrear en su mayoría el lugar de estudio, si bien según Bienestar Universitario, la intención es cubrir toda la sede Torobajo, permitiendo en conclusión obtener datos reales y seguros en la mayor área posible y con ello el método geoestadístico permita una mejor interpolación según la recolección de los datos de ruido. (Mapa 2).

Las mediciones de ruido ambiental se realizaron de acuerdo a la metodología planteada en el Capítulo II de la Resolución 0627 de 2006 del MAVDT. La técnica utilizada consistió en un muestreo en cada punto, donde se evaluaron los parámetros del Nivel de Presión Sonora L10 (Mínima), L50 (Media) y L90 (Máxima).

7.1.1. Análisis estadístico de datos

Según el tamaño del área de estudio y el número de puntos, en el análisis estructural se aplicó un Kernel interpolation bajo el software ArcGis 10.2®. De este análisis gracias a los aportes académicos ofrecidos por el diplomado, se concluyó que este modelo es una muy buena alternativa o herramienta con la que se represente el comportamiento de los niveles de ruido en la Universidad de Nariño, puesto que es una herramienta radial en la que interpola los datos para ofrecer una imagen general de un fenómeno en cuestión, además por ser muy flexible y fácil de utilizar.

7.1.2. Instrumentos de Medición

Existen diversos instrumentos para medir y evaluar el ruido como es el sonómetro, acusímetro, osciloscopio, el analizador de banda de octava, el magnetófono, el sonógrafo y el exposímetro.¹⁴

El sonómetro (Imagen 1), permite señalar los niveles de presión acústica en la zona audible, es más sensible y exacto que los otros instrumentos. Las diferencias de tensión debido a la presión de las ondas sonoras que llegan sucesivamente al micrófono se amplifican y se expresan en decibeles. Normalmente está provisto de tres redes eléctricas de ponderación o filtración que permite tener una aproximación adecuada a los distintos niveles de ruido, ofreciendo de manera sencilla los datos en pantalla que se miden y que basta solo con encenderlo e iniciar la medición.

Imagen 1. Sonómetro



7.2. FASE II. Comportamiento espacial de los niveles acústicos

El término general de mapas de ruido se suele utilizar para referirse a mapas horizontales de líneas isofónicas a cierta altura del suelo. El nivel al que se refieren las líneas isofónicas suele ser un nivel sonoro continuo equivalente.

Conviene recordar que la cartografía acústica presenta muchas más posibilidades: mapas verticales, en los que se muestra espacialmente la intensidad del ruido, mapas con información numérica en puntos receptores, en donde se ubican los puntos generadores de ruido, mapas de análisis de contribución de las distintas fuentes para cuyo caso muestra la interacción con las demás fuentes generadoras de ruido, mapas con población expuesta, utilizada en aquellos casos en donde la investigación cruza información con la población afectada, etc.

¹⁴ BRUUSGARD, A., Forssman, S. Goldwater, L. J., Noro, L. Schoid, M.O 1963 Occupational health for developing countries, Ginebra. O.M.S documento no publicado, 28 de Junio de 1963.

Los mapas de ruido pueden ser además generales o específicos sobre una o varias fuentes determinadas. Los mapas urbanos serían del primer tipo, mientras que es frecuente realizar mapas específicos del entorno de las carreteras, de los ferrocarriles, de los aeropuertos, de canteras, zonas de ocio, zonas de obra, de determinadas industrias.

A la hora de abordar la elaboración de un mapa de ruido es necesario determinar en primer lugar las características del mapa que se desea 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 reflejados en el mapa

7.2.1. Geoestadística

Es una rama de la estadística espacial donde se emplean metodologías para analizar los datos provenientes de un proceso estocástico que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo

Comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas: 1. Análisis exploratorio de los datos. Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose los erróneos e identificándose las distribuciones de las que provienen. 2. Análisis estructural. Estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta al mismo un variograma teórico. 3. Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas.

$$Z = \{Z_{(s)}: S \in D, D \subseteq R^d\}$$

Donde el índice s proviene de un conjunto D continuo (puntos en el espacio, no agregados espacialmente) y es seleccionada a juicio del investigador (D fijo). Por ejemplo los niveles de un contaminante en diferentes sitios de una parcela pueden ser tratados con geoestadística, ya que los puntos son seleccionados a juicio o criterio del investigador en cualquier lugar de la parcela o el caso que concierne al presente

trabajo. Cuando mencionamos “analizar” quiere decir que el interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos.

Con el objetivo de predecir y simular dichos fenómenos se realizan 3 procesos básicos: el análisis exploratorio de datos, los semivariogramas y la interpolación.

En el análisis exploratorio de datos, obtenemos un entendimiento de la calidad de datos tomados; posteriormente los semivariogramas nos permitirán detectar los patrones de las estructuras espaciales (detectar las reglas de las relaciones de los procesos aleatorios espaciales) y cuando se ha aproximado lo suficiente a estas reglas, en el siguiente paso, con los métodos de interpolación se puede realizar predicción de puntos.

7.2.2. Análisis exploratorio de datos

La exploración de datos se realizó visualmente a través de representaciones gráficas y mediante estadísticos descriptivos con el propósito de identificar valores atípicos, verificar la forma de distribución, el cálculo de las medidas de variabilidad y medidas de correlación y así generar el semivariograma se parte de la siguiente premisa fundamental: “cuanto más cercanos se encuentran dos puntos (lugares), tanto menor es la diferencia de los valores de las variables, tanto mayor es por lo tanto la correlación espacial mutua; tanto menor es su varianza” obteniendo como resultado la influencia de los datos a diferentes distancias. A partir de los datos proporcionados por el variograma teórico se realizó la estimación por medio del método de densidad de Kernel.

La herramienta Densidad kernel calcula la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades. Puede calcularse para las entidades de punto y de línea.

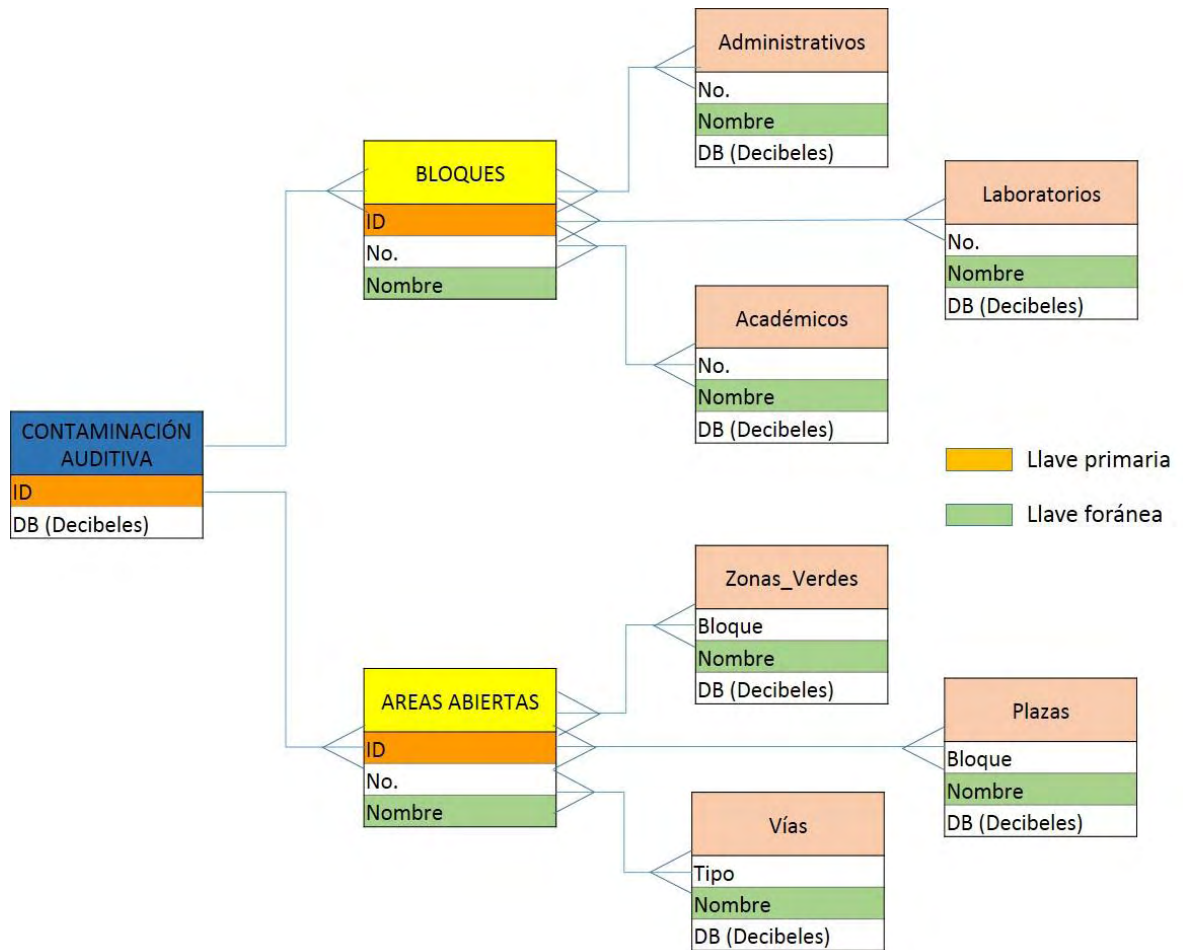
Los posibles usos incluyen encontrar la densidad de las casas, informes de crímenes o líneas de carreteras o de servicios públicos que influyen en una ciudad o en el hábitat natural.

Por lo tanto se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto y alcanza cero en la distancia Radio de búsqueda desde el punto. Sólo es posible un vecindario circular. El volumen bajo la superficie es igual al valor Campo de población para el punto, o 1 si se especifica NONE. Para calcular la densidad de cada celda ráster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de kernel en donde se superponen con el centro de la celda ráster.

7.3. FASE III Propuesta de mitigación de ruido

Para el desarrollo y cumplimiento de este objetivo se remitió a realizar las recomendaciones necesarias para la disminución de la contaminación acústica en la Universidad de Nariño, en la sede Torobajo.

MODELO ENTIDAD RELACIÓN



MODELO ESPACIAL CARTOGRÁFICO



8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

La medición de los ruidos en ambiente exterior se efectuó mediante un decibelímetro (sonómetro) normalizado, previamente calibrado, con sus selectores en el filtro de ponderación A y en respuesta lenta (slow).

El micrófono del instrumento de medición debe estar ubicado a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 (tres) metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido. El equipo sonómetro no estuvo expuesto a vibraciones mecánicas, y en caso del viento, se utilizó una pantalla protectora en el micrófono del instrumento.

8.1.1. Medición de Ruido Fluctuante.

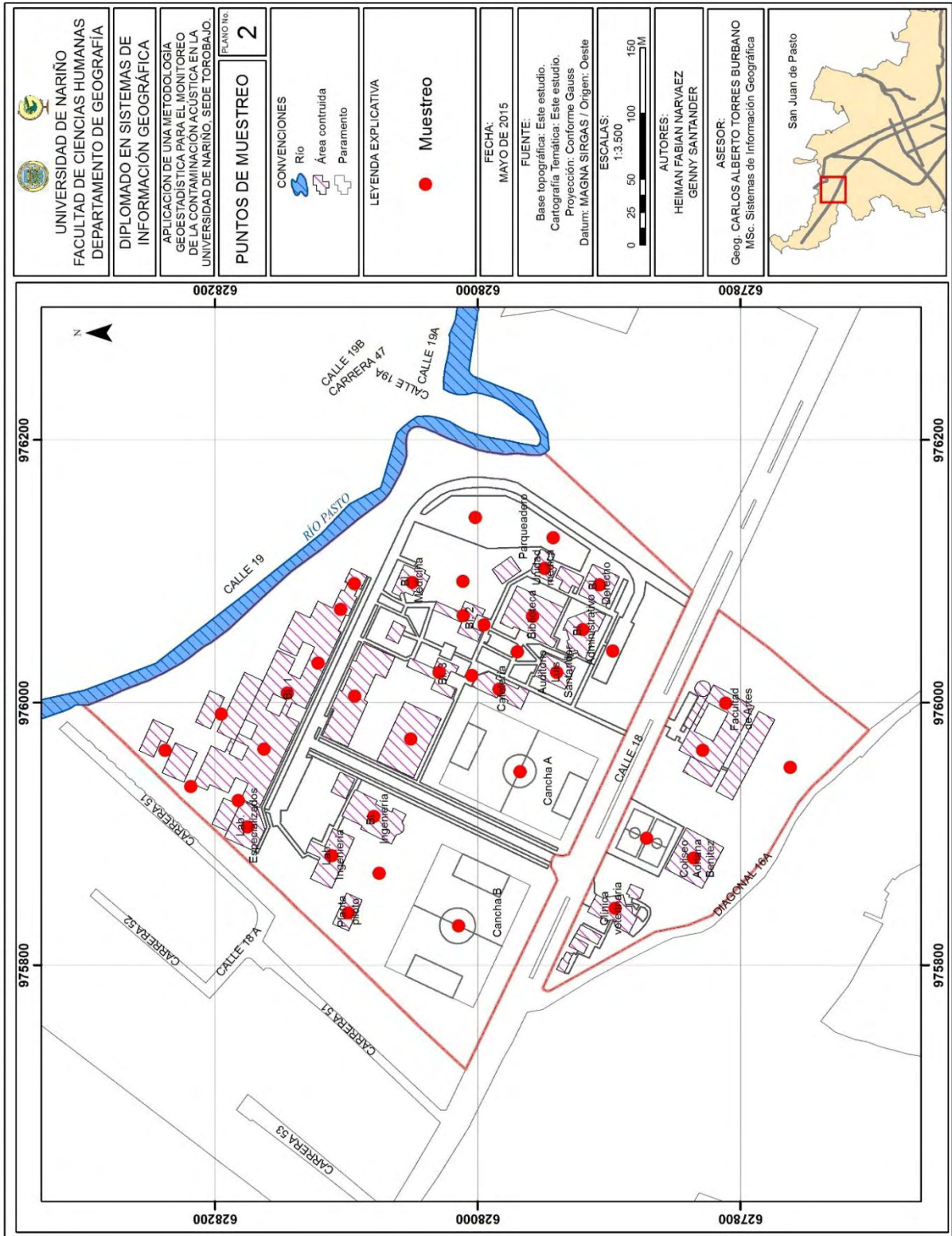
Se dirigió el instrumento de medición hacia la fuente y se determinó el nivel de presión sonora equivalente durante un período de, por lo menos, 10 (diez) minutos de medición en el punto seleccionado.

8.1.2. Determinación de los puntos de muestreo

Para la determinación de los puntos de muestreo de ruido diurno, se tomó como referencia cada bloque, vías principales zonas verdes, canchas, parqueaderos y espacios abiertos, con una duración de 10 minutos en cada punto; esta acción proporcionó la base sobre la cual se determinaron los puntos de muestreo, lo que da como resultado el mapa 2: Mapa de puntos de muestreo de la Universidad de Nariño.

Todos estos aspectos dan un total de 40 puntos de medición diurna que se realizó durante la presente investigación. En cada punto de medición, se tomó las coordenadas respectivas en el sistema WGS 84 para luego ser migradas al mapa base, realizado según el Datum MAGNA-Sirgas, origen oeste.

Mapa 2. Puntos de muestreo



8.1.3. Procesamiento de datos de campo

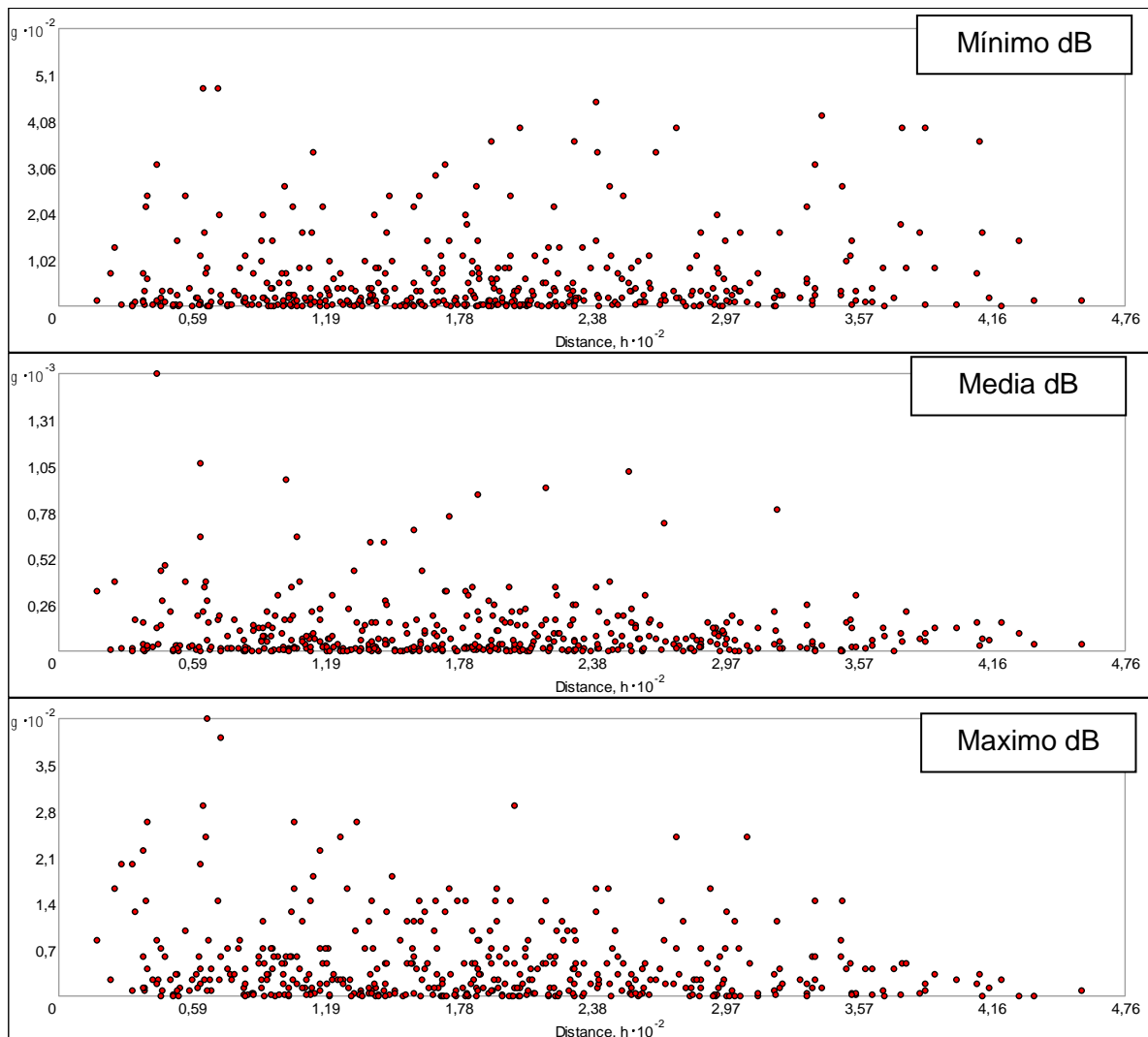
Los datos almacenados en el sonómetro SoundPro SP DL 1-1/3 fueron descargados a una tabla en formato xls, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Punto	Min_DB_	Med_DB	Max_DB	Lat	Long	X_Nortes	Y_Estes
2	1	27	64	71	1° 13' 56,283" N	77° 17' 34,598" W	628029,48	976023,22
3	2	55	80	89	1° 13' 55,475" N	77° 17' 34,673" W	628004,67	976020,91
4	3	37	52	80	1° 13' 53,462" N	77° 17' 31,282" W	627942,83	976125,75
5	4	34	58	88	1° 13' 55,389" N	77° 17' 30,779" W	628002,03	976141,29
6	5	45	62	94	1° 13' 51,987" N	77° 17' 34,063" W	627897,52	976039,76
7	6	36	59	87	1° 13' 54,280" N	77° 17' 37,037" W	627967,96	975947,82
8	7	47	58	84	1° 13' 55,808" N	77° 17' 40,835" W	628014,93	975830,41
9	8	26	58	83	1° 13' 57,908" N	77° 17' 38,139" W	628079,42	975913,75
10	9	42	53	77	1° 13' 58,953" N	77° 17' 39,113" W	628111,50	975883,66
11	10	42	50	72	1° 13' 55,701" N	77° 17' 32,352" W	628011,62	976092,68
12	11	52	61	86	1° 13' 55,174" N	77° 17' 33,421" W	627995,41	976059,60
13	12	58	68	82	1° 13' 54,797" N	77° 17' 35,005" W	627983,84	976010,66
14	13	47	58	66	1° 13' 54,345" N	77° 17' 34,085" W	627969,95	976039,10
15	14	6	46	66	1° 13' 53,677" N	77° 17' 32,030" W	627949,44	976102,60
16	15	62	71	79	1° 13' 52,310" N	77° 17' 32,437" W	627907,44	976090,03
17	16	39	60	74	1° 13' 52,730" N	77° 17' 33,539" W	627920,34	976055,97
18	17	34	49	65	1° 13' 53,968" N	77° 17' 33,218" W	627958,37	976065,89
19	18	50	58	77	1° 13' 56,951" N	77° 17' 32,384" W	628049,98	976091,68
20	19	41	54	70	1° 13' 58,393" N	77° 17' 32,405" W	628094,30	976091,02
21	20	43	67	81	1° 13' 58,731" N	77° 17' 33,045" W	628104,69	976071,25

Con los datos ya estructurados, se procedió a realizar el análisis estadístico exploratorio de los mismos. Para realizar el análisis exploratorio de datos se utilizó el paquete informático Excel 2010®. Este análisis nos permitió identificar: localización, variabilidad, forma y observaciones extremas o datos atípicos.

Por lo tanto, se procedió con el análisis estructural de los datos (cálculo y modelación de semivariogramas), para lo cual se ingresa los datos al programa ArcGis 10,2®. El cual permite realizar el análisis espacial de datos y el modelado de los semivariogramas en dos dimensiones para cada uno de los datos arrojados por el sonómetro como una herramienta o método de interpolación.

Figura x. Semivariogramas para mediciones mínimas, medias y máximas.



Fuente: este estudio.

En consecuencia este análisis permitió obtener parámetros del semivariograma; tal y como se muestran en las gráficas anteriores en donde puede verse claramente que los datos presentan una tendencia central que permite su análisis y posterior interpolación, dejando muy clara su dependencia espacial y cuya información tiene una distribución normal que dependen del número de muestreos, si bien a mayor cantidad de datos menor será la amplitud de los datos y su margen de error disminuye; realizado esto, a continuación se procedió a realizar la predicción espacial utilizando el software ArcGis 10,3®, resultando de estos pasos los mapas de ruido diurno de la Universidad de Nariño, sede Torobajo para cada medición (mínima, Media y Máxima) representando la estimación espacial de la variable ruido para cualquier punto en el terreno, tal y como se muestran en los mapas 3, 4 y 5.

8.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS DE RUIDO

Basado en los mapas obtenidos en el proceso anterior, se procedió a clasificar las áreas de mayor contaminación auditiva y con ello las posibles fuentes emisoras de ruido que aquejan a la Universidad de Nariño, sede Torobajo, y que en su conjunto provocan serios aumentos en los niveles de ruido permitidos, todo esto gracias al análisis realizado de los mapas de interpolación arrojados por la aplicación del método escogido de interpolación de densidad de Kernel, en donde lo que se persiguió fue realizar una aproximación de la afectación del ruido según los datos de mínimo ruido registrado, ruido promedio y los registros más altos de contaminación acústica en donde, estos últimos toman una importante relevancia ya que son los picos que se registran a través del sonómetro y que inciden directamente en la salud de las personas, de la comunidad académica.

Las principales fuentes de ruido son:

1. Tránsito automotor.
2. Construcción.
3. Actividades culturales y estudiantiles.
4. Maquinaria.

De acuerdo a los datos obtenidos con los registros de decibels mínimos captados por el sensor, puede verse claramente en el mapa 3, como se ilustra espacialmente el fenómeno, dejando ver que las áreas que presentan una mayor contaminación auditiva, basada en los valores mínimos están determinados por la influencia directa de las vías o calles tanto interiores como exteriores, pero con mayor incidencia las segundas, en donde el tránsito automotor determina en esta contaminación debido a que diariamente muchas personas utilizan su vehículo para desplazarse tanto al interior como al exterior de la universidad, pero por sobre todo por la cercanía del terminal satélite de transportes, lo que eventualmente al carecer de vías alternas provoca un problema muy serio en el campo del tránsito, motivo por el cual a este punto se lo considera como el que más influye al momento de tomar los datos de ruido en la presente investigación.

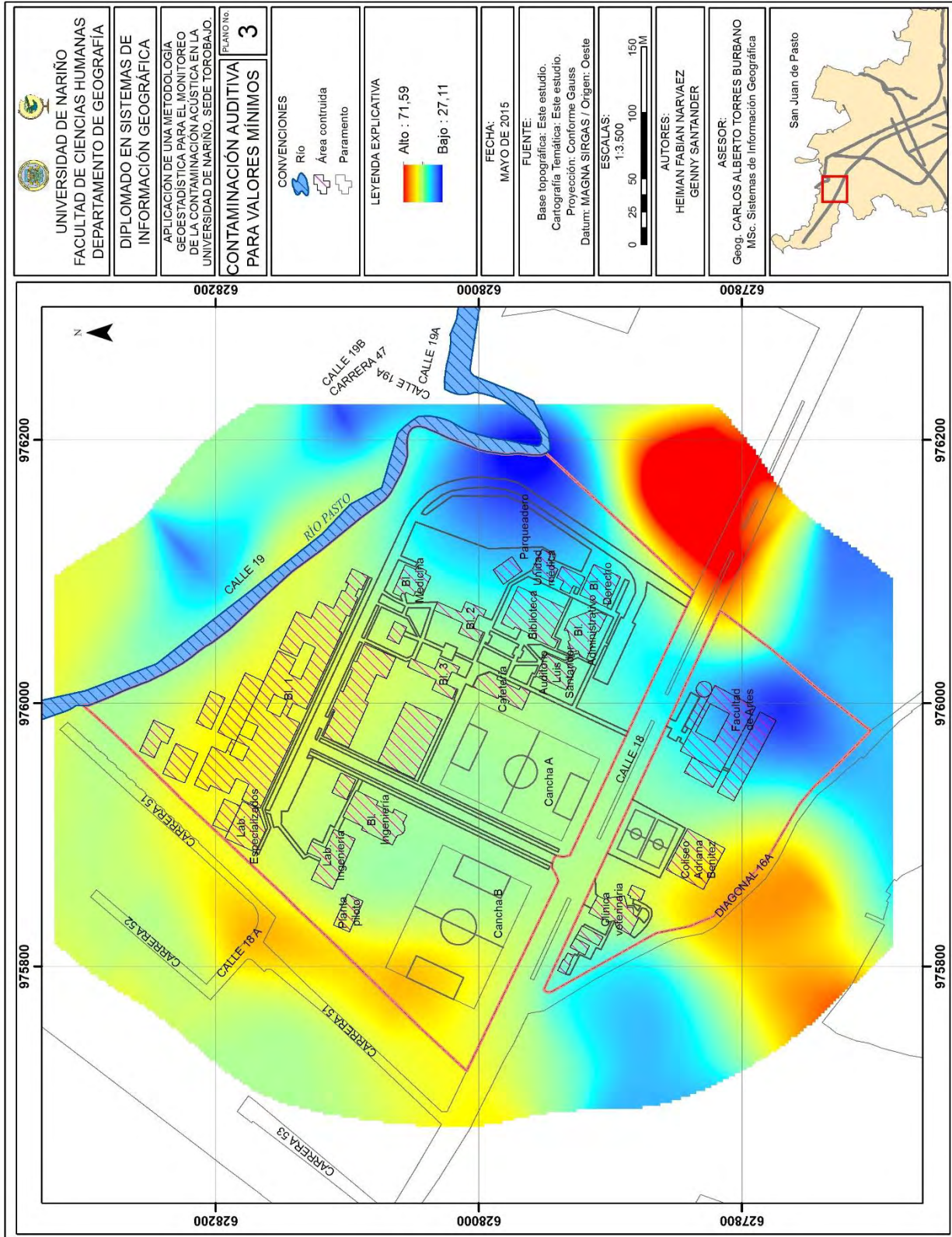
Así mismo puede verse que el Bloque 1 y la zona de influencia de los linderos hacia el Occidente de las instalaciones de la universidad presentan una contaminación media debido a diferentes actividades que determinan la cantidad de ruido, para el primero está definido por los equipos empleados en los diferentes laboratorios y al alto tránsito de estudiantes que hacen uso de sus pasillos, en el caso del segundo por la presencia de empresas vecinas a la universidad que en sus procesos utilizan maquinarias que generan ruido excesivo y que generan bajas frecuencias y que fueron captadas por el sonómetro.

En tercer nivel, puede verse como las áreas que tienen influencia de la construcción del nuevo bloque presentan ciertos niveles de ruido que afectan directamente a la población universitaria, todo este tipo de trabajos causan aumento en los niveles de

ruido afectando directamente a la población hasta la terminación de dichas obras, principalmente por el empleo de maquinaria como pulidoras, esmeriles, cierras, etc.

Es necesario resaltar que se destacan dos zonas de mínima contaminación auditiva por bajas frecuencias, las cuales corresponden al área nororiental en influencia del río Pasto y el parqueadero vehicular, y, una segunda hacia las partes del respaldo suroriental del bloque de la Facultad de Artes, esto como consecuencia que casi no se presentan actividades académicas en aquellos lugares, aclarando que en el parqueadero el fenómeno es corroborado debido a que los vehículos la mayor parte del tiempo se encuentran apagados, generando un mínimo de ruido.

Mapa 3. Contaminación auditiva para valores mínimos.



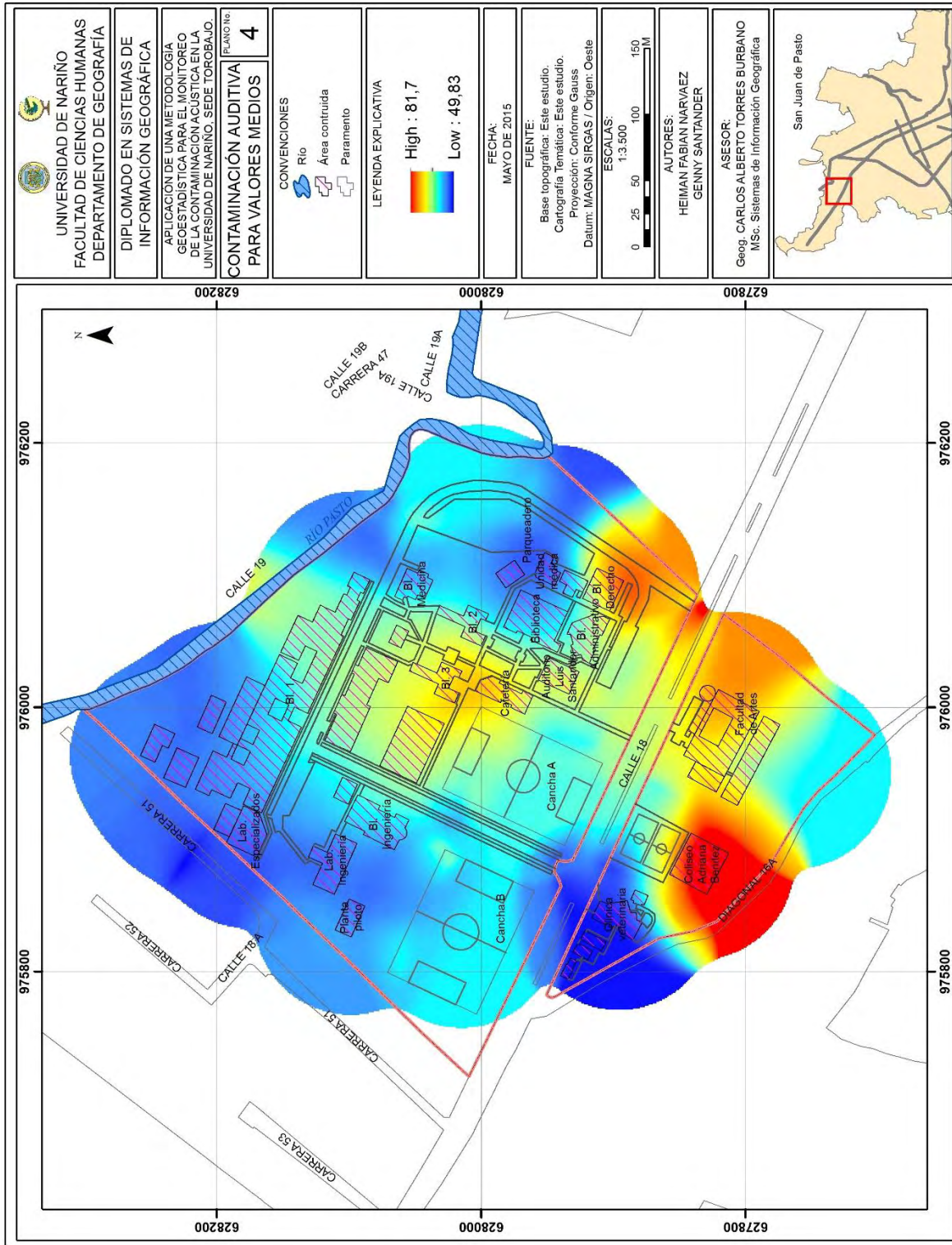
La medición del nivel de ruido permitió establecer el valor medio, el cual se representa como aquellas frecuencias medias que son captadas comúnmente por nuestros sentidos de manera directa, observado según los datos obtenidos, ilustrados a través del mapa 4, en donde claramente se observa como la contaminación acústica es fundamentalmente provocada por fuentes particulares, claramente puede verse que se mantiene la tendencia hacia la zona sur y suroriental, hacia la entrada vehicular de la Universidad y en zonas de influencia de algunas calles como la diagonal 16 A.

La tendencia que se observa básicamente se presenta hacia un lugar de convergencia de la población académica que se conoce como la plaza Fuchi en donde los niveles de contaminación auditiva son altos, esto debido a que esta pequeña plaza se ha ido constituyendo como un lugar estratégico para la realización de diferentes actividades de todo corte, generando por consiguiente un alta presión sonora en este lugar y que se extiende por la vía peatonal que conduce desde la entrada a esta plaza en donde las actividades comerciales aportan a la contaminación auditiva en estas zonas, fenómeno que cubre el frente del bloque administrativo hacia el bloque administrativo.

De igual manera puede verse como en la facultad de Artes presenta también una tendencia marcada hacia el coliseo Adriana Benitez, esto como resultado de las actividades que desarrollan en esta facultad y todas aquellas prácticas deportivas que generan ciertos niveles de ruido.

Sin duda las áreas que no presentan una marcada contaminación auditiva están dadas hacia la periferia de la universidad, si bien al no presentarse actividades de cualquier tipo, lógicamente el ruido disminuye considerablemente, concluyendo con ello que la Biblioteca, la Unidad de Salud y, el extremo Noroeste del bloque uno, al igual que en la facultad de ingeniería, son las que menos se ven expuestas a la contaminación por ruido.

Mapa 4. Contaminación auditiva para valores medios



Finalmente, el mapa 5, concluye cuando expone los valores máximos registrados por las frecuencias más altas durante el proceso de recolección y medición de la contaminación auditiva, dejando ver que las áreas con más altos niveles de ruido corresponden al Bloque Administrativo, el parqueadero vehicular, las canchas de fútbol y el área del bloques en construcción, esto como resultado de las diferentes actividades que se desarrollan en estos espacios.

Con el análisis anterior de los datos, ya sean mínimos, medios o máximos pueden identificar distintas zonas en función de los niveles de ruido alcanzados, los cuales corresponden a:

- ✓ Zonas tranquilas. Corresponde a zonas o edificaciones y con bajas densidades de ruido, en la que un factor de ruido es la ubicación.
- ✓ Zona con poco ruido. Afecta principalmente a un sector situado en áreas desocupadas, donde no existen fuentes importantes de ruido ni elevadas densidades de tráfico.
- ✓ Zona con bastante ruido. Comprende gran parte de la universidad de Nariño y algunos accesos a la misma.
- ✓ Zona muy ruidosa. Son puntos localizados en las inmediaciones de las vías de entrada y calles principales con altas densidades de tráfico. Existiendo además un gran movimiento circulatorio donde el ruido generado por las distintas actividades se suma al emitido por el tráfico vehicular.

Con base al análisis de la situación actual e intentando conseguir un descenso de los niveles de ruido y con ello una mejora de la calidad acústica de las distintas zonas de la Universidad de Nariño, se destacan los objetivos a cumplir como elementos directores en el establecimiento de protección contra la contaminación acústica, así como las previsiones urbanísticas utilizadas, que como medida de actuación inciden en la corrección de algunos problemas existentes y previsibles en el municipio.

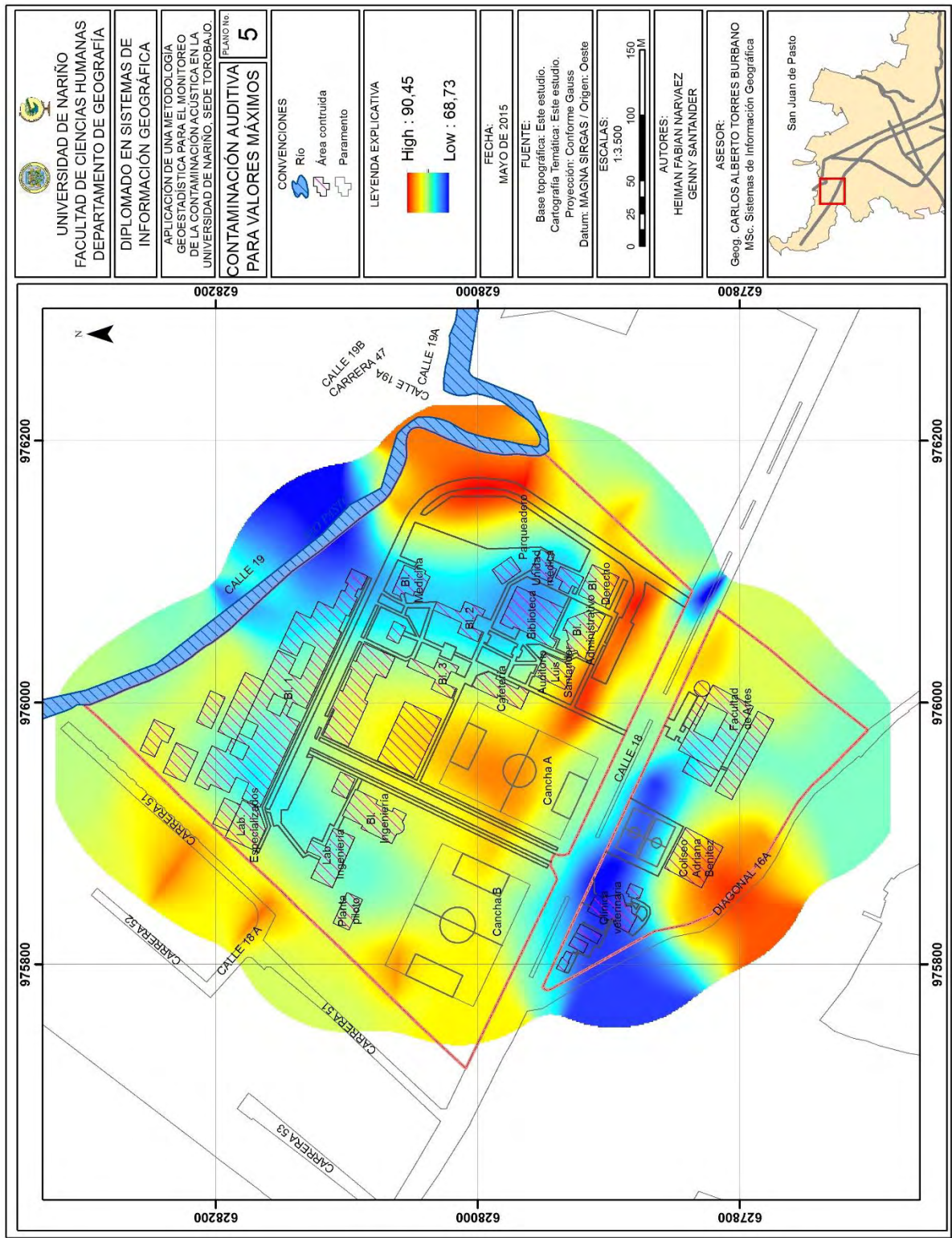
8.3. PROPUESTA DE ÁREAS DE SENSIBILIDAD ACÚSTICA.

En el ámbito de buscar la disminución se ha establecido una zonificación en las diferentes áreas de sensibilidad acústica, de la universidad, las cuales son:

Tipo I – Área de silencio. Zona de alta sensibilidad acústica, que comprende los bloques administrativo, biblioteca, dos y tres; los cuales requieren una especial protección contra el ruido.

Tipo II – Área levemente ruidosa. Zona de considerable sensibilidad acústica, que comprende los sectores de la universidad que requieren una protección alta contra el ruido.

Mapa 5. Contaminación auditiva para valores máximos



Tipo III – Área tolerablemente ruidosa. Zona de moderada sensibilidad acústica, que comprende los sectores de la universidad que requieren una protección media contra el ruido.

Tipo IV – Área ruidosa. Zona de baja sensibilidad acústica, que comprende los sectores de la universidad que requieren menor protección contra el ruido.

Tipo V – Área especialmente ruidosa. Zona de nula sensibilidad acústica, que comprende los sectores de las universidad afectados por emisiones sonoras y áreas de espectáculos al aire libre.

Las zonas que se encuadren en cada uno de los tipos señalados en el apartado anterior lo serán sin que ello excluya la posible presencia de otros usos del suelo distintos a los indicados en cada caso como mayoritarios.

A continuación se exponen los valores de límite de emisión de ruido en ambiente exterior para el caso:

AREA DE SENSIBILIDAD ACUSTICA	VALORES LIMITE EXPRESADOS EN Laeq	
	PERIODO DIURNO	PERIODO NOCTURNO
TIPO I (Area de silencio)	50	40
TIPO II (Area levemente ruidosa)	55	45
TIPO III (Area tolerablemente ruidosa)	65	55
TIPO IV (Area ruidosa)	70	60
TIPO V (Area especialmente ruidosa)	75	65

Por lo tanto, es necesario reconocer que el nivel sonoro realmente importante no es el que tiene lugar en las inmediaciones de la universidad sino en sus aulas, salas, corredores, laboratorios, etc. Es éste el nivel sonoro que es preciso acotar, y la reducción del ruido ambiente en las inmediaciones de los establecimientos, si bien deseable, no es el único remedio posible. En efecto, existen hoy en día recursos y técnicas de control de ruido muy efectivas para aislar los ambientes de las fuentes de ruido. A modo de ejemplo, con la inclusión de vidrios dobles y cierres de buena calidad, pueden lograr-se ventanas al exterior con una aislación acústica de 35 a 40 dB, lo cual significa que aún con un nivel de 70 dB en la parte exterior de la ventana, se lograría un nivel de ruido tan bajo como 30 a 35 dB dentro de la habitación.

CONCLUSIONES

Nos encontramos ante una reglamentación que si bien tiene el inmejorable propósito de mantener los niveles de ruido en las proximidades de la universidad de Nariño en valores propicios para crear el clima favorable de calma y tranquilidad que requieren la comunidad académica.

Indudablemente es responsabilidad de la universidad deliberante arbitrar los mecanismos y los medios para corregir la situación imperante en la actualidad en lo que a contaminación por ruidos se refiere, y los primeros pasos a dar son reconocer la existencia del problema y tomar la decisión de resolverlo.

Por debajo de los 45 dB nadie se siente molesto, pero cuando se alcanzan los 85 dB nadie deja de estarlo; por ello entre 60 y 65 dB para el ruido diurno, se suele situar el umbral tras el que comienza la molestia.

Los efectos negativos del ruido son: Incidencia sobre la salud de las personas, Efectos sobre la comunicación, La molestia psicológica y Efecto sobre animales e infraestructuras.

Los mapas presentados muestran una aproximación del ruido ya sea por bajas frecuencias (mínimos) frecuencias normales (medias) y altas frecuencias (máximas), en donde la exposición varía de un lugar a otro, si bien algunas áreas son más o menos sensibles que otros dependiendo de la configuración ambiental, localización de edificios, etc. razón por la cual se evidencian las diferencias entre los mapas.

Los datos obtenidos para mínimos, medios y máximos, tiene tratamientos diferentes, debido a que la zonificación e interpretación de los mismos se tratan por separado ya que sus resultados muestran el fenómeno de manera diferenciada.

RECOMENDACIONES

Se deben realizar campañas educativas tanto a personal académico como administrativo de la Universidad de Nariño, en cuanto a la revisión del tránsito y utilización de vehículos automotores.

Establecer áreas adecuadas al interior del campus para el desarrollo de actividades lúdico recreativas, de tal manera que no afecten la normalidad en el desarrollo de las actividades académicas y laborales de la comunidad universitaria.

Como parte del proceso educativo y pedagógico, realizar capacitaciones semanales, sobre normatividad ambiental vigente, que rige en materia de ruido y para la firma de compromisos, relacionados con la calibración de equipos de sonido y ejecución de adecuaciones locativas.

Propiciar el desarrollo y continuación de esta investigación que como un proceso experimental como trabajo de aplicación en el desarrollo del diplomado como requisito final del proceso evaluativo de trabajo de grado, es necesario realizar un mayor número de muestreos y seguimientos en un mayor lapso de tiempo para arrojar conclusiones más detalladas y que contribuyan a una sana convivencia al interior de la Universidad de Nariño.

Fomentar la investigación en los estudiantes del Departamento de Geografía en la línea de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos, ya que es una línea transversal que puede aportar en todos los campos y enfoques de la ciencia Geográfica.

BIBLIOGRAFIA

MYERS D.E (1998). Optimization of sampling locations for variogram calculations, water resources research.

ALFONSO DE ESTEBAN ALONSO (1992). Contaminación acústica y salud.

TIPPENS PAÚL E. (1991). Física. Conceptos y aplicaciones, tercera edición, McGraw-Hill.

HEWITT PAÚL G (2007). Física conceptual, décima edición, Pearson educación.

ROBERT BARTI (2010). Acústica Ambiental.

FALC EDVARD (2009). Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera,

RUZA F (1998). El ruido del tráfico: Evaluación y corrección de su impacto. Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC, España.

BRUUSGARD A., FORSSMAN S., GOLDWATER L., NORO L., SCHOID M., (1963): Occupational health for developing countries, Ginebra. O.M.S.

ELL ALAIN (1969). El Ruido, riesgo para la salud de los trabajadores y molestia para el público.

Organización Mundial de la Salud, O.M.S (1999). Guías para el ruido urbano.

Unión Europea, U.E (2007). Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas, Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local.

United States Environmental Protection Agency, E.P.A (1971). Effects of Noise on Wildlife and Other Animals.

Universidad de Málaga (2008). Bioestadística.

GIRALDO, Ramón, Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación, Universidad Nacional de Colombia, p. 17,18

MARTÍN A., LUNA DEL CASTILLO J. (1994). Bioestadística para las Ciencias de la salud.

KOCH A., CABRERA, P. (1997). Variografía.

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