

## METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO URBANO EN LA CIUDAD DE MACHALA

**Berrezueta Berrezueta, J.; Berrú Cabrera, J.; Oyola Estrada, E.; Zambrano Zambrano, W.**

**Universidad Técnica de Machala**

[jeberrezueta\\_est@utmachala.edu.ec](mailto:jeberrezueta_est@utmachala.edu.ec)

### RESUMEN

La presente investigación mantuvo como objetivo realizar el diagnóstico de la contaminación acústica en un área determinada de la zona céntrica de la ciudad de Machala, usando para ello un sonómetro analógico marca RadioShack para obtener los valores correspondientes de niveles sonoros en los 21 puntos críticos de afectación que abarca la zona y el software ArcGIS para generar los mapas acústicos respectivos. Se empleó para ello la recolección de datos en campo mediante el empleo de un sonómetro y encuestas elaboradas con la finalidad de realizar un diagnóstico acústico de la zona en estudio. Los estudios realizados fueron por medio de sondeos acústicos con una duración de seis horas y media diarias durante cinco días, proporcionando el nivel de presión sonora promedio por cada punto PCA, datos que fueron previamente analizados y llevados a la aplicación ArcMap por medio de dos de los métodos de interpolación con lo que cuenta el ArcGIS, métodos que nos permiten ponderar valores medidos para determinar una predicción de la ubicación de un valor sin mediciones, los IDW y Kriging. Los resultados obtenidos del mapeo acústico indican un alto índice de contaminación acústica en la zona de estudio, con valores superiores a los 64 dB para el horario diurno, niveles de ruido elevados para los establecimientos escolares que se encuentran en el área de estudio. Como conclusión final se tiene que en base a los resultados obtenidos se debe implementar mapas de ruido sectorizados, planes de acción contra el ruido y monitoreos acústicos permanentes en la Ciudad de Machala.

**Palabras clave:** IDW, TULSM, ArcMap, kriging, mapa de ruido, contaminación acústica, nivel de presión sonora.

### ABSTRACT

The present investigation aimed to perform the diagnosis of noise pollution in a specific area of the central area of the city of Machala, using an analogue sound meter RadioShack to obtain the corresponding values of sound levels in the 21 critical points of affectation which covers the ArcGIS zone and software to generate the respective acoustic maps. For this purpose, data were collected in the field using a sound level meter and surveys designed to perform an acoustic diagnosis of the area under study. The studies were performed by means of acoustic probes with a duration of six and a half hours for five days, providing the average sound pressure level for each PCA point, data that were previously analyzed and taken to the ArcMap application by means of

two the methods of interpolation with which ArcGIS counts, methods that allow us to weight measured values to determine a prediction of the location of a value without measurements, IDW and Kriging. The results obtained from acoustic mapping indicate a high rate of noise pollution in the study area, with values higher than 64 dB for daytime hours, high noise levels for school establishments in the study area. The final conclusion is that based on the results obtained should be implemented sectoralized noise maps, action plans against noise and permanent acoustic monitoring in the City of Machala.

**Keywords:** IDW, TULSMA, ArcGIS, kriging, noise map, noise pollution, sound pressure level.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la contaminación acústica se ha convertido en la segunda amenaza medioambiental, creciendo proporcionalmente al crecimiento de la población y con ella surgiendo nuevos cambios. Japón encabeza la lista como uno de los países con mayor contaminación acústica del planeta, con más de 130 millones de ciudadanos expuestos a niveles de ruido superior a los 65 dB, estos altos niveles son producidos principalmente por fuentes como el tráfico vehicular, actividad diaria del hombre, obras civiles, bocinas y sirenas de automóviles. En Europa, únicamente alrededor del 25% de la población se encuentra expuesta a los niveles de ruido recomendados durante el día y la noche.

Madrid realiza su primer mapa de ruido en el año 1989, un mapa incompleto que señalaba el ruido existente en el interior de la ciudad; en la actualidad la llegada de los mapas de ruido como una herramienta de gestión ambiental que permiten la evaluación de la condición acústica en un área determinada (Murillo Gómez, 2017), dando inicio a mapas que se utilizan como documentos básicos sobre la situación de ruido ambiental que afecta a una población, con la finalidad de desarrollar planes de acción que afronten las cuestiones relativas al ruido y sus efectos (Campello-Vicente, 2014).

En América Latina, Ecuador dispone en la Ley Ambiental que cada Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal con una población superior o igual a 250.000 habitantes deberá contar con su propio Mapa Acústico. La Universidad del Azuay ha ampliado sus puntos de muestreo, pasando de 30 a 119 puntos, determinando el nivel de presión sonora (Leq), índice utilizado para evaluar la contaminación acústica, y la unidad de medida es el decibelio (Fernández Gómez, 2012) y varía entre 0 dB (umbral de audición) y 120 dB (umbral de dolor) (Guzmán Luna, Cartagena Orrego & Restrepo Duque, 2016); dando como resultado el Mapa de Ruido correspondiente al año 2012 en donde se evalúa los cambios que ha sufrido la Ciudad en el transcurso del último muestreo y determinar si las acciones implementadas para disminuir el nivel de ruido surgió efecto alguno.

Los mapas de ruido se han convertido en las últimas décadas en un instrumento esencial para la caracterización del grado de contaminación acústica en las ciudades

y la generación de planes de mitigación sonora (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo & Rendón, 2012), son herramientas que permiten la evaluación de la condición acústica en un área determinada (Murillo Gómez, 2017), permitiendo mediante el mapa, determinar y catalogar los usos del suelo e implementar un plan de ordenamiento ambiental territorial sobre el ruido.

En la actualidad las ciudades están inmersas en un cúmulo de actividades de uso de suelo mixto que incluye zonas industriales, comerciales y residenciales (Terán Narváez & Guijarro Peralta, Valdez González, 1993). El índice de contaminación sonora de nuestro país es superior en las ciudades consideradas como punto clave de comercio, turismo o industria como lo son Guayaquil, Quito y Cuenca, según el estudio realizado por la Fundación Médica contra el Ruido, que reveló que Guayaquil y Quito sobrepasaban los 80 dB. (Terán Narváez & Guijarro Peralta, Joshelline Valdez González, 1993).

Machala como ciudad pionera en el Comercio no se queda atrás de este índice de contaminación. El Municipio de Machala con su departamento de Gestión Ambiental estará encargado del levantamiento, obtención y determinación de los niveles de ruido en la Ciudad aplicando la Norma Ambiental para la posterior elaboración de mapas acústicos, actualmente cuenta con un mapeo correspondiente al año 2014 que abarca únicamente la zona centro de la Ciudad.

Este estudio se enfocará en la metodología para la elaboración de mapas acústicos mediante el uso del sonómetro y la aplicación ArcMap del programa ArcGIS, es por ello que para un mejor estudio se consideró únicamente una zona que abarca a dos escuelas ubicadas en la zona céntrica, Luz de América y Sulima García Valarezo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para proceder con la metodología para la elaboración de mapas de ruido urbano en la Ciudad de Machala, se realizó dos tipos de levantamientos de información, uno se llevó a cabo mediante encuestas dirigidas a los moradores de la zona en estudio y a Autoridades Ambientales del Municipio de Machala puesto que el ruido urbano se ha convertido en uno de los contaminantes más molestos de la sociedad moderna que incide directamente sobre el bienestar de la población (Montaño, Medina & Caballero, 2012).

A partir de las encuestas realizadas se puede decir que la ciudadanía está al tanto sobre el problema que ocasiona la contaminación acústica en la salud pero desconoce sobre los niveles permisibles de presión sonora y de organismos de control contra el ruido, Y el otro consistió en 21 sondeos acústicos realizados en cada punto crítico de afectación previamente seleccionados de acuerdo al Anexo 5 del Libro VI del TULSMA.

- **Determinación de los Puntos Críticos de Afectación:** En este estudio para la obtención de los puntos de medición de PCA se consideró la Metodología de Zonas Específicas, teniendo en cuenta el siguiente parámetro: sitios donde la

emisión de ruido de la FFR es más alta se deberá realizar un sondeo del nivel de ruido específico en el perímetro exterior de la FFR.

En las dos figuras expuestas se observa el área en estudio con los PCA georeferenciados con GPS previamente determinados para el análisis acústico mediante el ArcMap, el área comprende las calles 9 de mayo hasta la Avda. Las Palmeras y las calles Sucre hasta la calle Boyacá.

- **Número mínimo de puntos de medición:** En la normativa ambiental no se dicta un número específico de puntos de nivel de ruido a considerar, pero para ello se debe tomar en cuenta los PCA cercanos y los NPS más altos emitidos por la fuente de ruido en su perímetro exterior.

**Tabla 1. Descripción por cada PCA**

| PC<br>A | COORDENADAS |            | DIRECCIÓN             |
|---------|-------------|------------|-----------------------|
|         | Nº          | X          | Y                     |
| 1       | 615952,80   | 9640176,81 | Sucre y 9 de Mayo     |
| 2       | 615993,26   | 9640217,87 | Olmedo y 9 de Mayo    |
| 3       | 616012,67   | 9640252,77 | Pasaje y 9 de Mayo    |
| 4       | 616078,80   | 9640324,60 | Boyacá y 9 de Mayo    |
| 5       | 615890,91   | 9640248,51 | Sucre y Guayas        |
| 6       | 615918,16   | 9640277,69 | Olmedo y Guayas       |
| 7       | 615951,53   | 9640311,08 | Pasaje y Guayas       |
| 8       | 616025,37   | 9640388,40 | Boyacá y Guayas       |
| 9       | 615816,28   | 9640335,83 | Sucre y Ayacucho      |
| 10      | 615834,53   | 9640355,57 | Olmedo y Ayacucho     |
| 11      | 615869,76   | 9640390,60 | Pasaje y Ayacucho     |
| 12      | 615945,47   | 9640474,01 | Boyacá y Ayacucho     |
| 13      | 615737,16   | 9640407,25 | Sucre y Santa Rosa    |
| 14      | 615790,66   | 9640466,21 | Pasaje y Santa Rosa   |
| 15      | 615878,40   | 9640553,48 | Boyacá y Santa Rosa   |
| 16      | 615666,01   | 9640490,50 | Sucre y Vela          |
| 17      | 615714,48   | 9640541,82 | Pasaje y Vela         |
| 18      | 615802,82   | 9640635,94 | Boyacá y Vela         |
| 19      | 615615,40   | 9640549,23 | Sucre y Las Palmeras  |
| 20      | 615657,28   | 9640598,38 | Pasaje y Las Palmeras |
| 21      | 615748,37   | 9640702,53 | Boyacá y Las Palmeras |

- **Ubicación del sonómetro:** Los sonómetros registran de forma directa el nivel de la presión sonora de un fenómeno acústico, y expresa el resultado en dB, con una presión sonora de referencia de 20 x 10<sup>6</sup> (Loureiro e Beaumont, 2016). Según el TULSMA se estipula que el sonómetro deberá estar colocado sobre un trípode a una altura  $\geq$  a 1,5 m de altura desde el suelo, direccionando el micrófono hacia la fuente con una inclinación de 45 a 90 grados, sobre su plano

horizontal. Durante la medición el operador debe estar alejado del equipo, al menos 1 metro.

- **Metodología para determinar los niveles del ruido específico y el LK<sub>eq</sub>:** Para la medición de ruido total y residual la norma ambiental contempla el uso de dos métodos que pueden ser usados, el Método de 15 segundos (Leq 15s) o el Método de 5 segundos (Leq 5s).

En este proyecto se hizo uso del Método (Leq 15s) en el cual se tomaron y reportaron un mínimo de 5 muestras de 15 segundos cada una. La serie de muestras se considerará válida cuando la diferencia entre los valores extremos sea menor o igual a 4 dB.

Con la finalidad de validar los niveles de ruido durante las mediciones y facilitar el análisis y comparación de las muestras, se reportará: el NPS mínimo (L<sub>Amin</sub>) y el NPS máximo (L<sub>Amáx</sub>). Y se realizó el promedio (L<sub>Ap</sub>) de los datos obtenidos por PCA mediante la fórmula estipulada en el TULSMA de cada muestra correspondiente.

$$L_{eq}Promedi = 10 \log \left[ \frac{1}{n_i} * (10^{0.1Leq_1} + 10^{0.1Leq_2} + \dots + 10^{0.1Leq_n}) \right]$$

Donde:

- L es el nivel de presión sonora.
- eq es la equivalencia.
- p es el promedio de los datos Leq (conocido como promedio logarítmico).

## RESULTADOS

A partir de los sondeos acústicos realizados, se obtiene como resultado que la zona centro de la Ciudad de Machala se encuentra en un índice elevado de contaminación acústica, superando los niveles de presión sonora establecidos en el TULSMA, los dos establecimientos escolares ubicados en esa zona están expuestos de igual manera a niveles superiores a lo recomendado, afectando tanto al alumnado como al docente.

Es por ello que la finalidad de la metodología para elaboración de mapas acústicos, es mediante la misma, realizar mapas de ruido sectorizados de la Ciudad, permitiendo de esta manera llevar un control acústico permanente de cada sector e implementar planes de acción contra el ruido y sus efectos en la salud del Ser Humano.

Es necesario aclarar que el control de ruido no es lo mismo que la reducción de ruido, ya que en el primer caso se toman en cuenta todas aquellas estrategias que permiten la mitigación del impacto del ruido en la salud de los trabajadores, mientras que el segundo caso el objetivo está orientado a la mitigación de la fuente (Rodríguez Rodríguez & Céspedes Torres, 2012).



En la tabla presentada a continuación se puede observar tres tipos de valores finales de nivel de presión sonora, valores de nivel de ruido mínimo, nivel de ruido máximo y el nivel de ruido promedio por cada punto PCA.

**Tabla 2. Nivel de presión sonora por cada PCA**

| HORARIO DIURNO<br>(6:30 am a 13:00 pm) |  |    |    |    |    |       |           |       |
|--|--|----|----|----|----|-------|-----------|-------|
| Método Leq 15 s                        |  |    |    |    |    |       |           |       |
| PCA                                    | NIVEL DE PRESION<br>SONORA<br>NPS (dB) |    |    |    |    | LAmin | LAmá<br>x | Lprom |
|  |  |    |    |    |    |       |           |       |
| 1                                      | 69                                     | 67 | 70 | 66 | 68 | 67    | 70        | 68,23 |
| 2                                      | 73                                     | 72 | 71 | 71 | 70 | 70    | 73        | 71,52 |
| 3                                      | 72                                     | 70 | 74 | 74 | 73 | 70    | 74        | 72,83 |
| 4                                      | 68                                     | 70 | 72 | 71 | 70 | 68    | 72        | 70,39 |
| 5                                      | 71                                     | 74 | 73 | 75 | 74 | 71    | 75        | 73,59 |
| 6                                      | 70                                     | 69 | 70 | 71 | 73 | 69    | 73        | 70,83 |
| 7                                      | 74                                     | 72 | 74 | 75 | 71 | 71    | 75        | 73,44 |
| 8                                      | 70                                     | 68 | 67 | 71 | 67 | 67    | 71        | 68,91 |
| 9                                      | 69                                     | 72 | 68 | 70 | 71 | 68    | 72        | 70,23 |
| 10                                     | 65                                     | 68 | 67 | 64 | 69 | 64    | 69        | 66,98 |
| 11                                     | 71                                     | 68 | 70 | 67 | 68 | 67    | 71        | 69,05 |
| 12                                     | 69                                     | 70 | 72 | 73 | 70 | 69    | 73        | 71,05 |
| 13                                     | 70                                     | 71 | 73 | 70 | 72 | 70    | 73        | 71,36 |
| 14                                     | 69                                     | 72 | 68 | 71 | 70 | 68    | 72        | 70,23 |
| 15                                     | 71                                     | 70 | 70 | 69 | 73 | 69    | 73        | 70,83 |
| 16                                     | 68                                     | 66 | 70 | 69 | 70 | 66    | 70        | 68,83 |
| 17                                     | 69                                     | 67 | 69 | 69 | 65 | 65    | 69        | 68,06 |
| 18                                     | 71                                     | 68 | 70 | 72 | 70 | 68    | 72        | 70,39 |
| 19                                     | 67                                     | 66 | 67 | 68 | 69 | 66    | 69        | 67,52 |
| 20                                     | 68                                     | 71 | 69 | 70 | 72 | 68    | 72        | 70,23 |
| 21                                     | 69                                     | 68 | 67 | 68 | 70 | 67    | 70        | 68,52 |

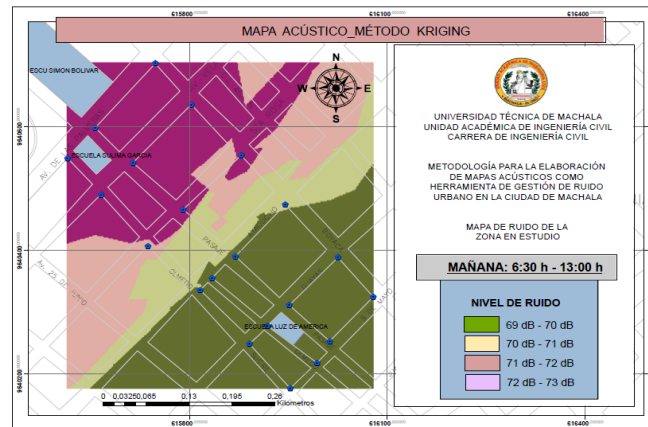
## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la elaboración del Mapa de Ruido se empleó dos de los métodos de interpolación existentes mediante la aplicación ArcMap del Software ArcGIS, muy usado en la elaboración de mapas de ruido, comprende una serie de aplicaciones que utilizadas en conjunto permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde creación de mapas, manejo y análisis de información edición de datos, metadatos y publicación de mapas en la Internet (INEC, 2012).

**Método Kriging** está basado en auto-correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de

puntos discretos. Asume que la media, aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias (Murillo et al., 2012).

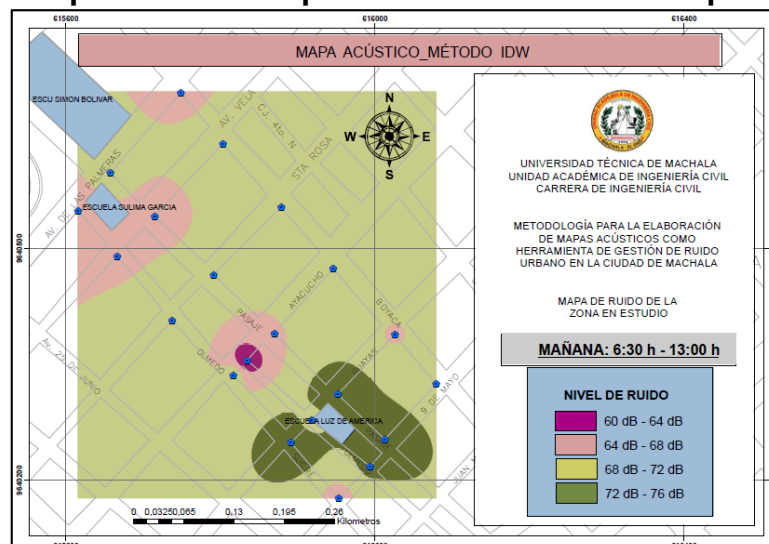
**Figura 2. Mapa acústico tomado en la mañana empleando el Método de Interpolación Kriging**



Una vez obtenido el mapa mediante uno de los métodos de interpolación Kriging del programa ArcGIS podemos determinar los niveles de ruido en la zona de estudio que van desde los 69 dB a 73 dB.

- **Método IDW** es un método matemático de interpolación que usa una función inversa de la distancia, parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto, tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar (Murillo et al., 2012).

**Figura 3. Mapa acústico empleando el Método de Interpolación IDW**



Obtenido el mapa mediante el método de interpolación IDW podemos determinar los niveles de ruido en la zona de estudio que van desde los 60 dB a 76 dB, siendo notorio la diferencia entre la ponderación de los dos métodos, encontrando una discrepancia

de la desviación estándar menor en el método Kriging por lo cual es uno de los más utilizados para la elaboración de mapas.

**Tabla 3. Intervalos de Nivel Sonoro con su respectivo tono de color y trama**

| Nivel Sonoro (dBA) | Color       | Nombre del Color | Tipo de ambiente |
|--------------------|-------------|------------------|------------------|
| <50                | Amarelo     | Amarillo         | Aceptable        |
| 50 - 55            | Ocre        | Ocre             |                  |
| 56 - 60            | Naranja     | Naranja          |                  |
| 60 - 65            | Cinabrio    | Cinabrio         | Tolerable        |
| 65 - 70            | Carmín      | Carmín           |                  |
| 70 - 75            | Rojo Lila   | Rojo Lila        | Molesto          |
| 75 - 80            | Azul        | Azul             |                  |
| >80                | Azul Oscuro | Azul Oscuro      | Inaceptable      |

Fuente: UNE ISO 1996-2:1997

Para la elaboración de mapas de ruido se debe seguir la normativa vigente del país donde se vaya a realizar el mapeo, en la tabla 3 se especifica los rangos de nivel de ruido expresado en decibeles con sus respectivos tonos de color y tipo de ambiente, tabla obtenida de la Norma ISO 1996-2-1997.

**Tabla 4. Niveles máximos de emisión de ruido para FFR**

| Uso de suelo                             | LKeq (dB)               |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|
|  | Periodo Diurno          | Periodo Nocturno        |
|  | 07:01 hasta 21:00 horas | 21:01 hasta 07:00 horas |
| Residencial (R1)                         | 55                      | 45                      |
| Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1) | 55                      | 45                      |
| Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2) | 60                      | 50                      |
| Comercial (CM)                           | 60                      | 50                      |

En la tabla 4 se expone los niveles máximos de emisión de ruido para periodo diurno y nocturno según el uso de suelo.

## CONCLUSIONES

Dos de los establecimientos escolares que conforman el área de estudio están expuestos a niveles de ruido superiores a 64 dB, valor considerado superior de acuerdo a lo establecido en la norma para Equipamientos de Servicios Sociales (EQ2) que equivale a 55 dB para el horario diurno, afectando considerablemente en el desarrollo académico de los estudiantes.



Mediante el análisis de los sondeos de ruido realizados se tiene que la zona céntrica de la Ciudad de Machala se considera como altamente ruidosa con valores promedios de niveles de ruido que se encuentran entre los 64 dB a 78 dB superando los permisibles establecidos en el TULSMA. Los niveles de ruido obtenidos durante la mañana, horario comprendido de 6:30 am a 13:00 pm, se encuentran en el rango de 64 dB a los 75 dB; por la mañana las actividades cotidianas empiezan, teniendo niveles de ruido no muy elevados. La elaboración de mapas de ruido actualmente se encuentra en innovadoras y continuas actualizaciones a nivel mundial, la metodología empleada es muy práctica al momento de realizar un mapa acústico sectorizado, el cual nos permitirá visualizar el comportamiento sonoro del lugar, los niveles máximos y mínimos y la comparación a su vez con los niveles máximos permitidos de emisión de ruido y construir planes de mitigación de ruido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campello-Vicente, H. (2014). *Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado nmpb-routes 2008 a la presencia de vehículos eléctricos*. La Rioja: Repositorio Unirioja.
- Guzmán Luna, J., Cartagena Orrego, J. & Restrepo Duque, J. (2016). Desarrollo de un sensor móvil para la medición de ruido ambiental. *QUID*, 26, 49–56.
- INEC. (2012). *Gestión Ambiental*. Quito: INEC.
- Loureiro e Beaumont, P. (2016). *Error al obtener la exposición diaria a ruido utilizando dosímetros frente a sonómetros*. La Rioja: Repositorio Unirioja.
- Montaño, F., Medina, O. & Caballero, P. (2012). Niveles de ruido y su relación con el aprendizaje y la percepción en escuelas primarias de Guadalajara, *Redalyc*, 16, 175–181.
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J., Pardo, A. & Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de Mapas de Ruido en entornos urbanos. *Revista de Ingenierías USBMed*, 3(1), 62–68.
- Murillo Gómez, D. (2017). Resolución espacial en la elaboración de mapas de ruido por interpolación. *Revista de Ingenierías USBMed*, 8(1), 56–62.
- Rodríguez, M. & Céspedes Torres, Y. (2012). Impacto del ruido en ambientes de trabajo. *Cap&amp*, 7(1), 1–9.
- Terán Narváez, I. & Guijarro Peralta, J., Valdez González, M. (1993). Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Samborondón en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(38), 43–56.
- Fernández Gómez, J. (2012). Análisis discriminante de algunas variables que influyen en la contaminación acústica debida al tráfico urbano en una gran ciudad. *Redalyc*, 11(21).