



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**Propuesta de diseño para el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de
Guayaquil.**

**Proyecto de Integración Curricular presentado como requisito parcial para optar al
título de:**

INGENIERA AMBIENTAL

Autor: Angy Ariana Mazzini Tomala

Docente: René Oscar Rodríguez Grimón, PhD.

SAMBORONDÓN, MARZO 2022

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Agradecimientos

A mis padres, Pedro y Victoria por enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa y que mientras confíes en tus habilidades y conocimientos, todo se puede lograr.

A mi tía Mariana, por ser mi segunda madre siendo luz y ejemplo para mi vida, por ser mi fortaleza y acompañarme en el transcurso del camino llamado vida.

Al Director de la carrera René Rodríguez, por resolver todas mis dudas y otorgarme disponibilidad de su tiempo a lo largo de mis estudios universitarios y proceso de titulación.

Al profesor Fabián Viteri, por brindarme información, ayuda e ideas constantes para el trabajo.

Al Blgo. Danilo Mejía, por su enorme colaboración en el diseño de mapas.

A la Municipalidad de Guayaquil, por brindarme información necesaria para realizar el trabajo de estudio.

A mi amiga la Ab. Daniela Solis, quien estuvo todo momento a mi lado.

A Leonardo Izurieta, quien estuvo para sostenerme en todo momento y darme alivio en los momentos más duros.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen Inmaculada
por su amor y apoyo espiritual.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Resumen

El aumento poblacional sumado al rápido crecimiento industrial ha generado la alteración de contaminantes en el aire ambiente. La contaminación atmosférica ha generado afectaciones en la salud como enfermedades catastróficas y muerte a nivel mundial debido a la dispersión de contaminantes procedentes de fuentes fijas. En la ciudad de Guayaquil, la información es limitada, de manera que no dispone de un sistema de alerta y vigilancia en tiempo real del comportamiento de los contaminantes en la calidad de aire. El objetivo principal del presente estudio fue proponer un diseño de red para el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Guayaquil y su concordancia con la localización y equipamiento de las estaciones de monitoreo para mejorar la calidad de aire y bienestar del área urbana. Las estaciones de monitoreo para la calidad de aire se determinaron por medio de densidad poblacional, usos de suelo industrial y productos satelitales provenientes de sensores remotos como TROPOMI Copernicus Sentinel 5P. Por ello, se establecieron estaciones para el monitoreo en Noroeste, Sur II y Oeste. Como resultado, en cada estación se encontraron desde uno hasta tres contaminantes, además el Uso de Suelo Industrial se presentó en diferentes sitios del área de estudio. Se concluyó que el análisis realizado estableció el sitio idóneo para cada estación de monitoreo enfatizando los criterios pertinentes junto a los contaminantes ya determinados por la normativa ambiental vigente. Sin embargo, por la falta de información actualizada se debe complementar el análisis con estudios bibliográficos vinculados a la temática.

Palabras clave: contaminación atmosférica, contaminantes criterio, densidad poblacional, criterios de selección, estaciones

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Abstract

The population increase added to the rapid industrial growth has generated the alteration of pollutants in the ambient air. Air pollution has generated health effects such as catastrophic diseases and death worldwide due to the dispersion of pollutants from fixed sources. In the city of Guayaquil, the information is limited and, at the same time, it does not have a real-time warning and monitoring system for pollutants and their behavior in air quality. The main objective of this study was to propose a network design for air quality monitoring in the city of Guayaquil and it is consistency with the location and equipment of monitoring stations to improve air quality and well-being in the urban area. The monitoring stations for air quality were determined by means of population density, meteorological parameters, selection criteria and satellite images such as Sentinel 5P and Copernicus. Therefore, three monitoring stations were established in the Northwest, South II and West. As a result, in each monitoring station from one to three contaminants were found, in addition, the Industrial Land Use was presented in different sites of the study area. It was concluded that the analysis carried out established the ideal site for each monitoring station, emphasizing the pertinent criteria together with the pollutants already determined by the current environmental regulations. However, due to the lack of updated information, the analysis must be complemented with bibliographic studies related to the subject.

Key words: air pollution, criteria pollutants, population density, selection criteria, stations

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación del aire representó un importante riesgo medioambiental para la salud, durante el 2016 se evidenció índices elevados de contaminación en las zonas urbanas y rurales, causando enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer, provocando a su vez defunciones cada año de 4.2 millones en todo el mundo (OMS, 2018). De acuerdo con el Banco Mundial y el Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud, las muertes repentinas generaron consigo pérdidas en el ámbito laboral con ingresos de \$225 mil millones de dólares alrededor del mundo (World Bank & Institute for Health Metrics and Evaluation, 2016).

La atmósfera terrestre siendo una capa principalmente gaseosa integra componentes indispensables para la vida en la Tierra, las sustancias liberadas con cantidades considerables y generadas por diversas fuentes que tenga la capacidad de perjudicar el confort, salud y bienestar del ser humano son consideradas como contaminantes criterios (García et al., 2007).

Por otro lado, la contaminación del aire específicamente en la ciudad de Guayaquil comenzó a generarse debido al déficit continuo en la planificación territorial de asentamientos humanos e industriales, el uso reiterado de tecnologías obsoletas para las actividades productivas, la pésima calidad del combustible y las explotaciones mineras precipitadas; adicionalmente, la gestión ambiental de la calidad de aire presentó desaciertos en cuanto al seguimiento de convenios y la dispersión de jurisdicción y competencias (Ministerio del Ambiente, 2010).

Se define como red de monitoreo de la calidad del aire a la articulación de dos o más equipos e instrumentos, permitiendo la medición de la concentración de contaminante teniendo presente una mayor cobertura de superficie geográfica (Instituto Nacional de Ecología, 2010).

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Guayaquil se estableció en 1976, en conjunto con la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, la red funcionó con ayuda de la Organización Mundial de la Salud; pero los estudios sobre los niveles de contaminación no se llevaron a cabo hasta la década de 1980, cabe señalar que hasta 1989, la red estuvo conformada por tres estaciones distribuidas en el norte, sur y centro de la urbe; mientras tanto, fue hasta 1994 que el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias del Ministerio de Salud (IEOS) estuvo a cargo de la red de monitoreo; luego, las primeras mediciones se realizaron de 1994 a 1996 sobre partículas totales en suspensión para ello se reinstaló la estación del centro pero la misma llegó a su fin en 1996, el siguiente año se gestionó el “Plan de Prevención y Control de la Contaminación Industrial y de Otras Fuentes”; mientras, el año

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

2000 la ciudad obtuvo una estación para el monitoreo móvil de parámetros ya determinados y se creó el Programa de Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Recurso Aire en la Ciudad de Guayaquil (Flasco et al., 2008).

Continuando con el desarrollo, en el año 2007, se elaboró el Plan de Gestión de la Calidad del Aire (2007-2012) para la ciudad de Guayaquil, donde se expuso el periodo de implementación, los programas para el monitoreo de emisiones al aire y el diagnóstico de la calidad del aire en base a estudios anteriores (Municipalidad de Guayaquil & Fundación Natura, 2007). Posteriormente, en 2015, se estableció el diseño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en la ciudad de Guayaquil, asimismo, en 2016 se puso en funcionamiento una estación la cual se situó en Vía a la Costa (Municipalidad de Guayaquil, 2019).

En estudios sobre la contaminación y calidad del aire en Guayaquil se ha evidenciado por medio de datos antiguos y actualizados, un elevado índice de concentraciones como material particulado y gases, especialmente de CO y SO₂, la evaluación no pudo concluirse debido a la falta de información específicamente de datos a largo plazo por parte de las entidades pertinentes (Ministerio de Ambiente, 2010). Además de ello, en un estudio sobre la descripción y análisis de la situación actual de la calidad del aire e inventario de emisiones, se obtuvo un aumento considerado de las concentraciones de contaminantes establecidos en la urbe porteña (Municipalidad de Guayaquil, 2015).

Considerando los antecedentes expuestos, se ha propuesto realizar este tipo de estudio para la ciudad de Guayaquil, debido a que actualmente la urbe carece de una red de monitoreo permanente y constante que permita el control y medición con precisión de las concentraciones de contaminantes. En relación a la temática, existen diversos estudios donde se realizan monitoreos de calidad de aire y se evalúan las concentraciones y dispersión de los contaminantes optimizando la calidad de vida del entorno; un ejemplo claro es la ciudad de Kaohsiung que durante el año 1995 por medio de un estudio se determinó que debido al incremento de las precipitaciones y al aumento de complejos industriales se presentaron concentraciones de contaminantes como Dióxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃) y Material Particulado Mayor a 10 Micras (PM₁₀) que incumplían con la normativa en los últimos años (Chang & Tseng, 1997).

Por otra parte, en la ciudad de Bogotá se determinó por medio de un análisis de monitoreo en el 2006 que las principales fuentes de emisiones al aire y con altos grados de contaminantes eran las industrias, presentando concentraciones de contaminantes como Dióxido de Azufre (SO₂) y Material Particulado Mayor a 10 Micras (PM₁₀), los cuales

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

infringían con la normativa anual local, a su vez las condiciones climáticas contribuyeron a la disminución de las concentraciones (Gaitán et al., 2007). En lo que respecta a Costa Rica se realizó un análisis de contaminantes con periodos de tres años (2008-2010) en ciudades como San José, Cartago, Heredia, entre otros donde se presentó un aumento significativo de Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂), los cuales provenían de las fuentes fijas industriales (Valdés et al., 2010). Mientras que en la ciudad de Guadalajara en el año 2020 en las estaciones de monitoreo se reportó un elevado índice de Ozono (O₃) el cual fue generado por las industrias e incumplía los límites establecidos en la ciudad (Peniche & Cortez, 2020).

De esta manera, la propuesta de diseñar una red para el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Guayaquil, propone combatir los problemas de contaminación atmosférica en la urbe y al mismo tiempo garantizar una mejor calidad de vida para los ciudadanos. Como se ha mencionado con anterioridad, existen pocos estudios sobre datos precisos de calidad de aire y los niveles de contaminantes que persisten en el área urbana de Guayaquil, de manera que el estudio acerca del diseño de red de monitoreo, ayuda a determinar la cantidad de estaciones, su localización y las concentraciones de contaminantes dentro de la urbe.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un diseño de red de monitoreo para la evaluación de la calidad del aire para la ciudad de Guayaquil.

Objetivos Específicos

- Estimar el número de estaciones específicas para el monitoreo de calidad de aire.
- Determinar la localización de estaciones en la ciudad de Guayaquil.
- Determinar el equipamiento mínimo requerido para las estaciones de monitoreo conforme a la delimitación del área.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La ciudad de Guayaquil posee una extensión de 6.106,65 km² (Municipalidad de Guayaquil, 2019); siendo la segunda ciudad más poblada del Ecuador con un total aproximado de 2 '350.915 habitantes (INEC, 2010). Para este estudio se utilizó el Anexo 1 del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097A, donde se describe la clasificación del uso de suelo (Ministerio de Ambiente, 2015).

La urbe porteña está situada en la costa ecuatoriana y cuenta con periodos climáticos como las temporadas secas y lluviosas donde la temperatura promedio se encuentra en 25.77°C; además, las precipitaciones varían entre 361 y 1.442 mm/año y esto se debe a la corriente de Humboldt (fría) y la corriente de El Niño (cálida), las cuales determinan el periodo climático en la zona costera; su clima se clasifica en Tropical Megatérmico Semi-Húmedo, Tropical Megatérmico Seco y Tropical Megatérmico Semi-Árido; a su vez la urbe posee una altitud promedio de 4 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Municipalidad de Guayaquil, 2021).

Otro aspecto importante de la ciudad es que se asienta en el extremo suroriental la cordillera Chongón – Colonche, la cual presenta una altitud mayor a 200 metros sobre el nivel del mar (msnm) en cuanto al relieve y se extiende hasta la Provincia de Manabí (Ministerio de Ambiente, 2013).

El área urbana del cantón Guayaquil ha sido dividida por distritos de planificación como lo expone el Plan de Uso y Gestión del Suelo de la ciudad, tomando en consideración proyecciones de la densidad poblacional, accesibilidad a los servicios, ubicación geográfica y extensión (Municipalidad de Guayaquil, 2021). Teniendo presente esta premisa, el área de estudio consideró la división de los distritos de planificación en la ciudad (Figura 1).

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

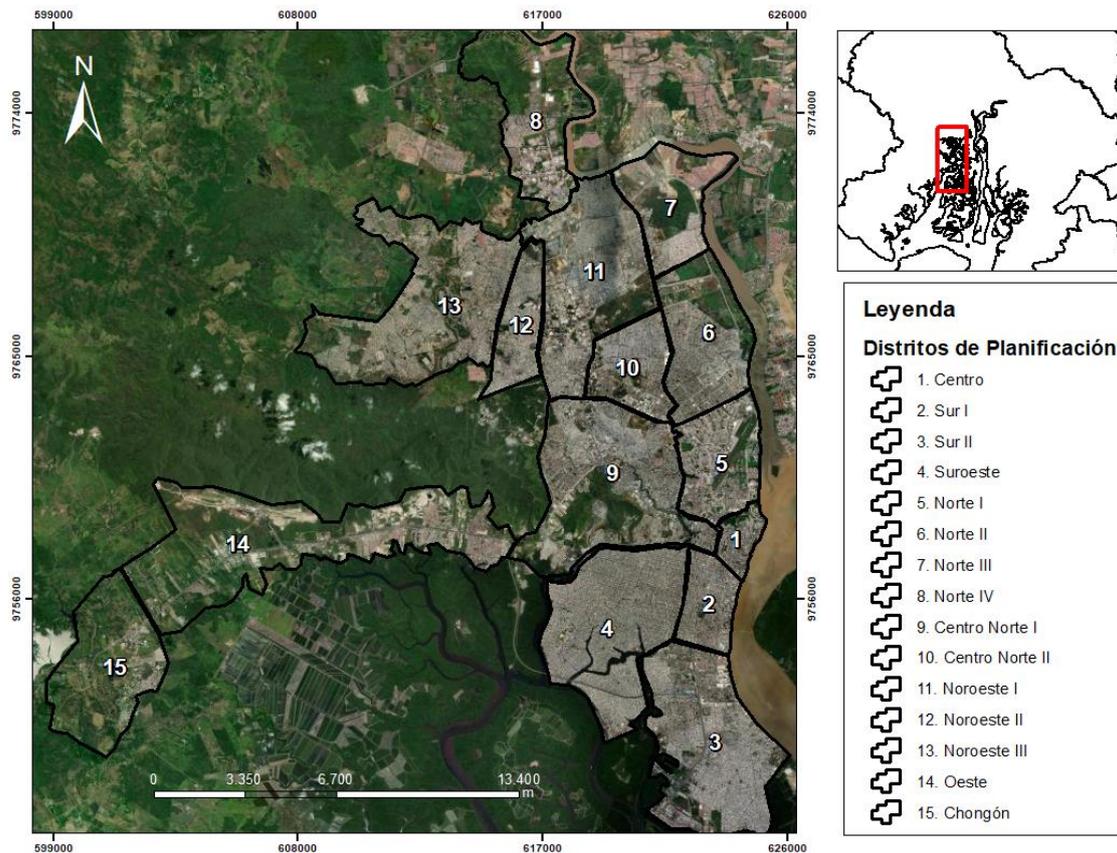


Figura 1. Ubicación de la ciudad de Guayaquil - Ecuador.

Las concentraciones de población urbana han ocasionado problemas puntuales en relación a las actividades industriales debido al aumento del uso constante de combustible y energía, equivalentes al consumo de gas licuado de petróleo y gas; por otro lado, la contaminación atmosférica en la urbe está fuertemente relacionada con el desordenado crecimiento industrial, lo cual ha colocado a Guayaquil como la segunda ciudad más industrializada de Ecuador; cabe recalcar, que el desarrollo de la ciudad en conjunto con las condiciones urbanísticas y geográficas han facilitado la dispersión de los contaminantes en la zona, lo cual ha causado consigo la acumulación de contaminantes en diferentes sitios de la ciudad; la demanda de combustible y energía asociado a la concentración del sector industrial, ha generado un riesgo medioambiental de contaminación en el aire; cabe recalcar, que el desarrollo de la ciudad mejoro la calidad de vida (Flacso et al., 2008).

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Diseño

Estimación del número de estaciones

Para la selección del número de estaciones primó la variable referente a densidad poblacional de la urbe porteña, la cual se encuentra dividida en distritos de planificación, establecidos en la ordenanza municipal, para ello, se utilizó el Anexo 1 (Municipalidad de Guayaquil, 2021), de dichas aproximaciones se escogieron los sectores con mayor y menor número de habitantes, los cuales fueron establecidos en un mapa de calor para su análisis mediante la herramienta ARCGIS.

A la par, la Organización Mundial de la Salud en base al Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos estableció el número de estaciones requeridos en base a la población urbana para cada contaminante y parámetros meteorológicos que subyace en el área definida, se utilizó Anexo 2 (DIGESA, 2005).

Para la escala de representación espacial del monitoreo de aire, se definió un nivel de microescala asociada al volumen de aire de las dimensiones del área hasta 100 metros para cada contaminante que subyace en la zona, ya que la misma asegura mediciones significativas y representativas, abarcando altas concentraciones de contaminantes en puntos específicos para el monitoreo; para ello, se hizo uso del Anexo 3 donde se establece la definición y categorización de escala para el monitoreo de calidad de aire (USEPA, 2017).

Determinación de localización de las estaciones de monitoreo

A partir de datos y documentación levantada referente a principales actividades industriales (Cámara de Industrias, 2020), proyecciones censales previamente establecidas (Municipalidad de Guayaquil, 2021), y concentraciones de contaminantes (Google Earth Engine, 2021) que subyacen en cada área predeterminada, se establecieron zonas geográficas las cuales fueron seleccionadas como áreas con problemas potenciales de calidad de aire en la urbe; para ello, se determinaron puntos de monitoreo específicos.

Para el estudio de la localización de estaciones en primera instancia se analizaron las zonas del área de interés donde se concentraban los principales parques industriales de la urbe como termoeléctricas, industrias manufactureras, fabricación de metales, extracción minera, entre otros; la selección se llevó a cabo por medio de la ubicación de la industria y las principales actividades industriales (Cámara de Industrias, 2020); asimismo, se consideró el uso de suelo de la urbe el cual permitió conocer las áreas donde se sitúan los parques industriales.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Otro aspecto importante de acotación fueron la dispersión y concentraciones de los contaminantes; para ello, se realizó la descarga de productos satelitales encargadas de monitorear la contaminación atmosférica como del sensor TROPOMI de la misión Copernicus Sentinel-5 Precursor (5P), estos datos de calidad del aire, proporcionaron datos reales de dispersión y niveles de concentración de contaminantes, los cuales fueron obtenidos con meses de Enero a Diciembre del 2021 por medio de un lenguaje de programación como JavaScript, los cuales se llevaron a cabo mediante la herramienta Google Earth Engine (Google Earth Engine, 2021).

Criterios de Selección

La selección de criterios que fueron considerados para la investigación, se basó en un estudio realizado por el Programa de las Naciones Unidas de los Estados Unidos (USEPA, 2017), el cual abordó criterios como seguridad del área de estudio, accesibilidad al sitio, uso de suelo adyacente, densidad poblacional y logística.

Equipamiento mínimo requerido para las estaciones

Acorde con (Cámara de Industrias, 2020), se estableció un análisis de contaminantes basados en las principales actividades industriales situados en la ciudad; tal como se muestra en el Anexo 4.

Para determinar la cantidad de estaciones posibles y localización de las mismas, se realizó una matriz donde se describen las diferentes redes de monitoreo a nivel de las capitales Latinoamericanas en conjunto con el número de habitantes; a su vez, se realizó un modelo de regresión lineal donde se observó la relación que existe entre el número de habitantes y en las estaciones de monitoreo, para ello, se utilizó la tabla 1 y figura 9.

Método de Monitoreo

De acuerdo con (PNUMA, 2002), se estableció cinco técnicas de monitoreo que pueden ser aplicadas de manera mundial, el rango de costos y los niveles de precisión varían de acuerdo al método que se utilice tal como se muestra en el Anexo 5.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Análisis de Datos

Para el análisis de la distribución poblacional de la urbe se realizó un mapa de calor con el software ARCGIS, versión 10.5 (ARCGIS, 2019), donde se representó la densidad población distribuido por distritos de planificación; tal como se muestra en la figura 2.

Con respecto a las industrias, se utilizó el software ARCGIS, versión 10.5 (ARCGIS, 2019) para la realización de un mapa donde se representó el uso de suelo Industrial, el cual permitió la identificación de las zonas industriales; tal como se muestra en la figura 3.

Con los resultados obtenidos provenientes de Google Earth Engine sobre las concentraciones de contaminantes como Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado Mayor a 10 Micras (PM₁₀), Material Particulado Menor a 2.5 Micras (PM_{2.5}), Ozono (O₃) y Aerosoles; se procedió a realizar mapas de calor con meses del 01 de Enero al 31 de Diciembre del 2021 con el software ARCGIS, versión 10.5 (ARCGIS, 2019), tal como se muestran en las figuras de la 4 a la 8.

Por último, se utilizó la herramienta de Excel para la elaboración de una matriz, la cual expuso las diferentes redes de monitoreo de las capitales de países Latinoamericanos en conjunto con el número de población y los diferentes tipos de contaminantes que son medidos en cada estación de monitoreo, tal como se muestra en la tabla 1; asimismo, se realizó un modelo de regresión lineal, el cual permitió demostrar la relación y la aleatoriedad de las estaciones de monitoreo de calidad de aire basados en el número de habitantes establecidos en las distintas capitales, tal como se muestra en la figura 9.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

RESULTADOS

Estimación del número de estaciones

El análisis de selección del número de estaciones se basó primordialmente en la influencia directa que tuvo la densidad poblacional en relación a los distritos de planificación; para ello, se observó el aumento y descenso de la distribución poblacional urbana en diferentes sectores de la urbe, mediante una clasificación y representación espacial de la información de densidad población, basada en la metodología de quiebres naturales de Jenks (Natural Breaks), por tanto, se consideró la priorización del sector Suroeste el cual contó con 247,5 habitantes en el área; mientras, las menores densidades de habitantes se situaron en sectores como Oeste con cifras de 7,22 y Norte IV con valores de 6,07. Cabe recalcar, que la variación de los valores se relacionó en función al área y distribución de la población en los sectores de la urbe (Figura 2).

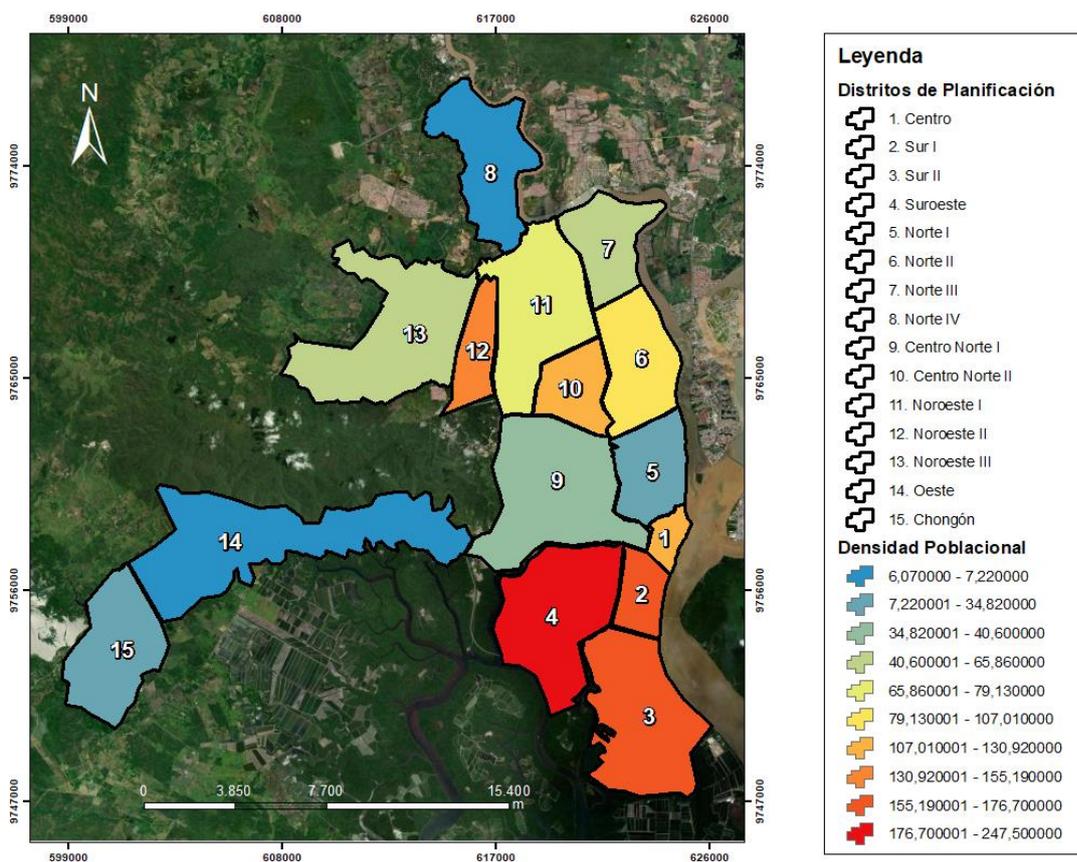


Figura 2. Mapa de Distribución Poblacional Urbana de la ciudad de Guayaquil, Periodo 2021.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Determinación de localización de las estaciones de monitoreo

Relación entre el uso de suelo industrial y los distritos de planificación

A lo largo del área de estudio, se identificó el Uso de Suelo Industrial el cual es compatible con el uso de suelo dispuesto por la ordenanza municipal. Cabe mencionar, que el uso de suelo Industrial permitió la identificación de las zonas industriales en mayor y menor magnitud. En el distrito Sur II se localizó un volumen de industrias mayor en comparación con los distritos Oeste y Chongon. Por otro lado, se notó la predominancia del uso de suelo Industrial en distritos como Norte IV, Centro Norte I, Centro Norte II, Noroeste I y Noroeste II; los mismos que hicieron referencia a las zonas industriales con mayores dimensiones distribuidas en la metrópoli (Figura 3).

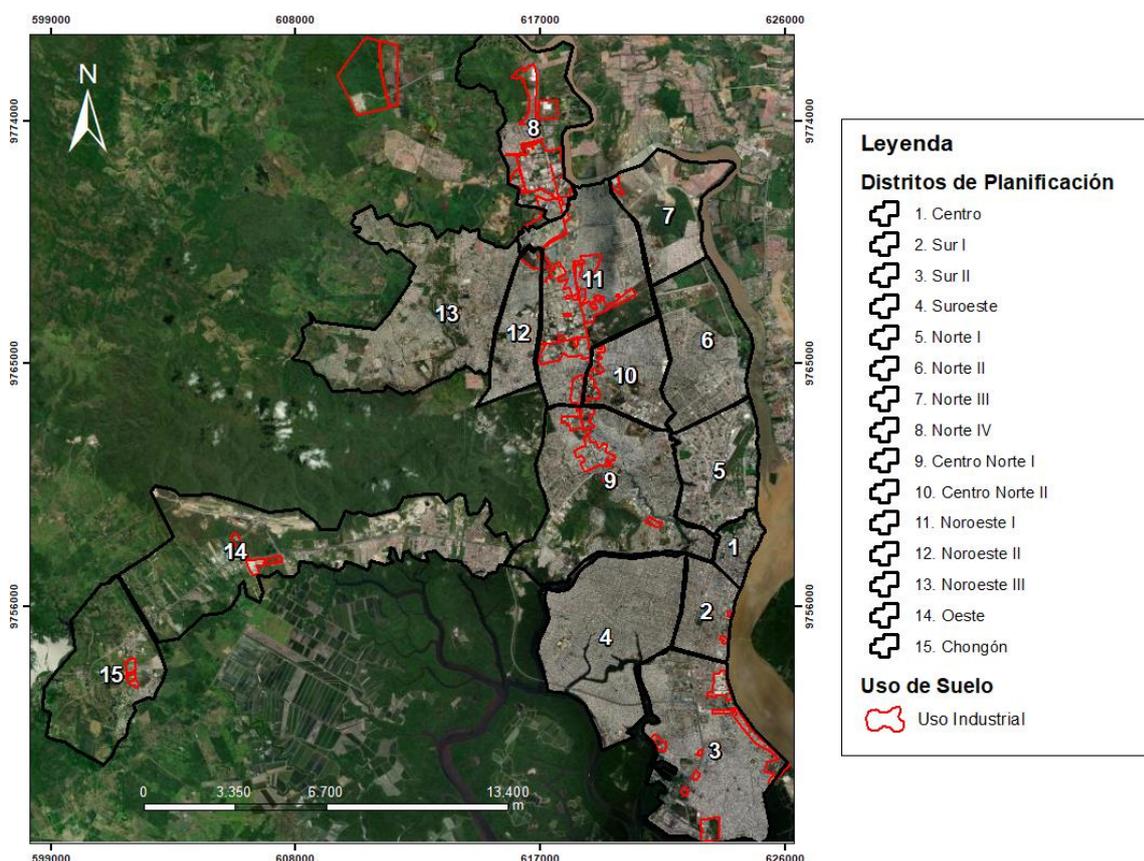


Figura 3. Mapa de Uso de Suelo Industrial de la ciudad de Guayaquil, Periodo 2021.

Relación entre los distritos de planificación y las concentraciones de contaminantes

En base a la descarga y recolección de datos de Sentinel 5P y Copernicus procedentes de google earth engine de los periodos del 01 de Enero del 2021 hasta el 31 de Diciembre del

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

2021, procedentes de los distritos de planificación en la ciudad de Guayaquil y en unión a los niveles de concentraciones de contaminantes, se evidenció que contaminantes como Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Aerosoles se concentraron en mayor magnitud en distritos como Noroeste I, Noroeste II y Noroeste III. Por otra parte, contaminantes como Ozono se presenció en mayores concentraciones en el distrito Sur II; mientras, el Dióxido de Azufre se distribuyó en distritos como Norte II y Centro Norte II (Figuras 4 – 8).

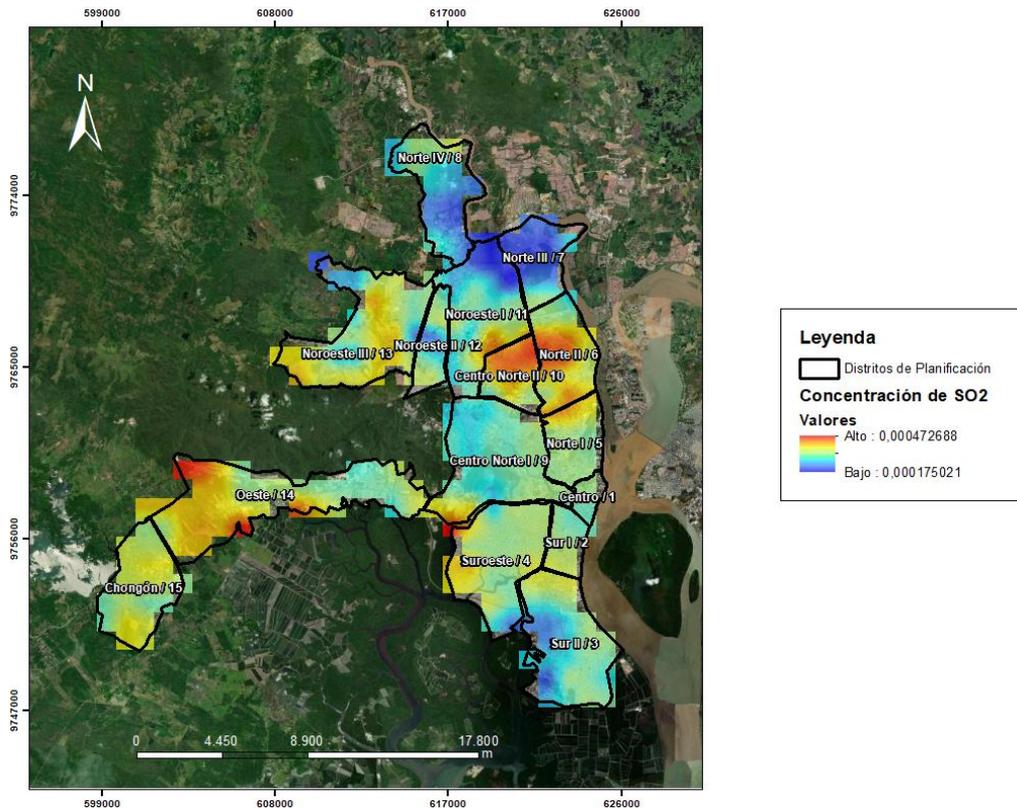


Figura 4. Localización de concentraciones de Dióxido de Azufre en conjunto con los Distritos de Planificación de la ciudad de Guayaquil, Enero a Diciembre del 2021.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

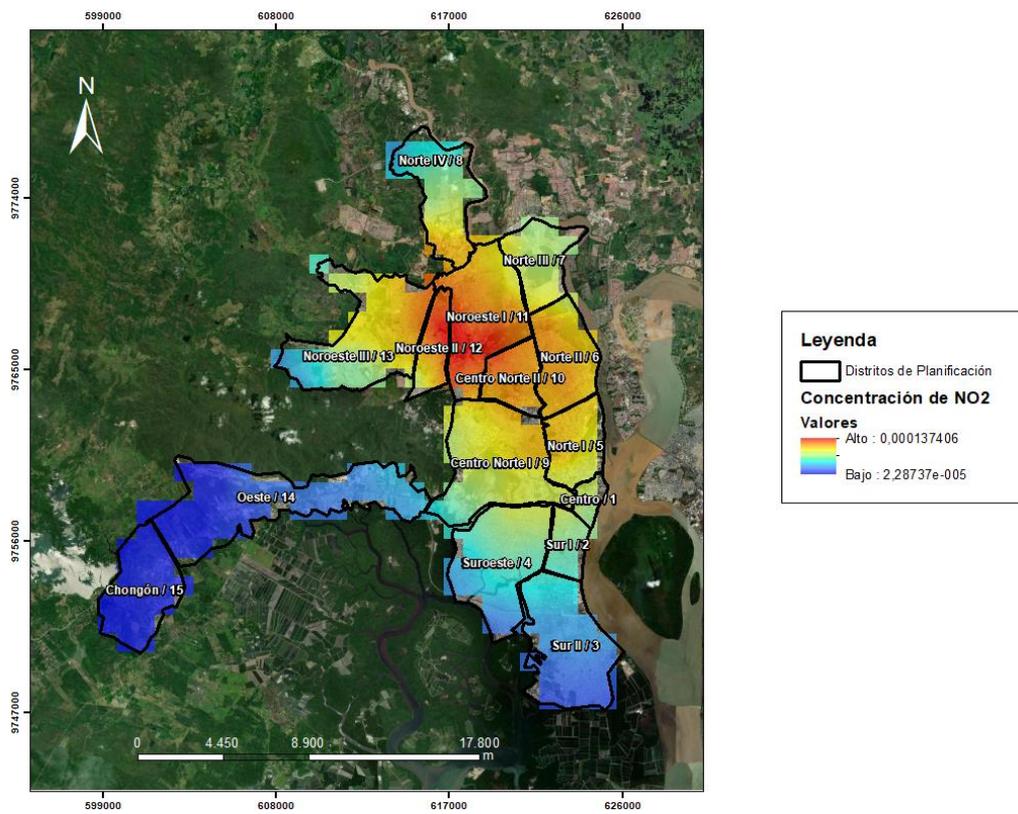


Figura 5. Localización de concentraciones de Dióxido de Nitrógeno en conjunto con los Distritos de Planificación de la ciudad de Guayaquil, Enero a Diciembre del 2021.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

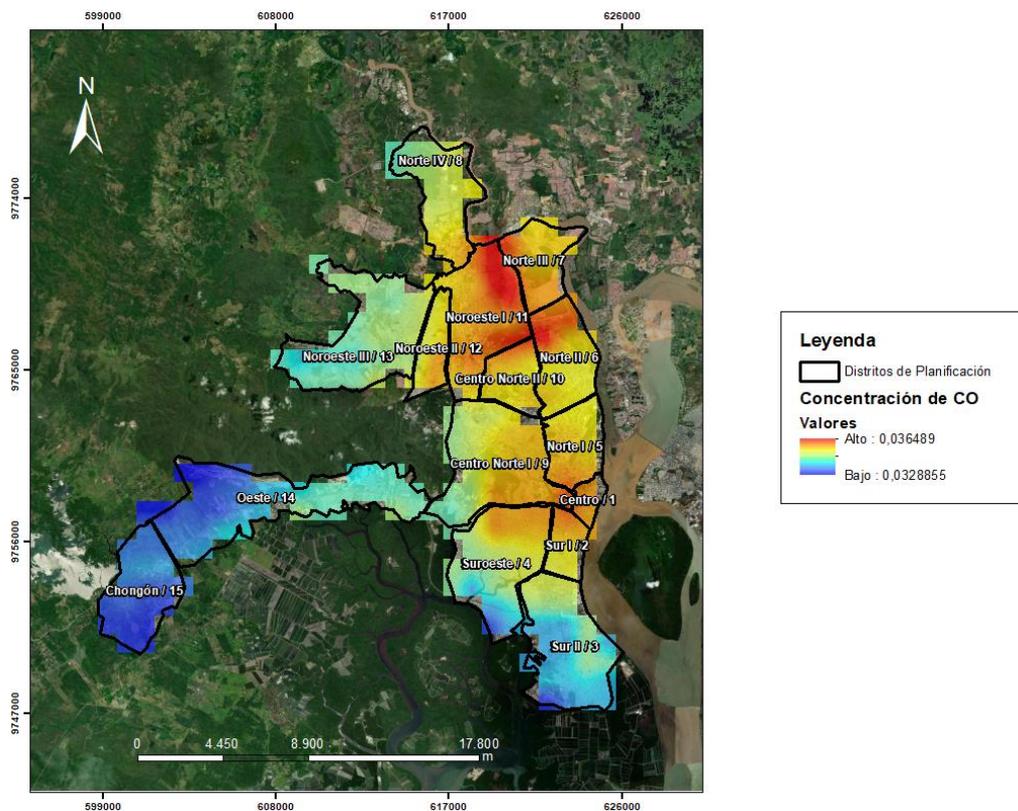


Figura 6. Localización de concentraciones de Monóxido de Carbono en conjunto con los Distritos de Planificación de la ciudad de Guayaquil, Enero a Diciembre del 2021.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

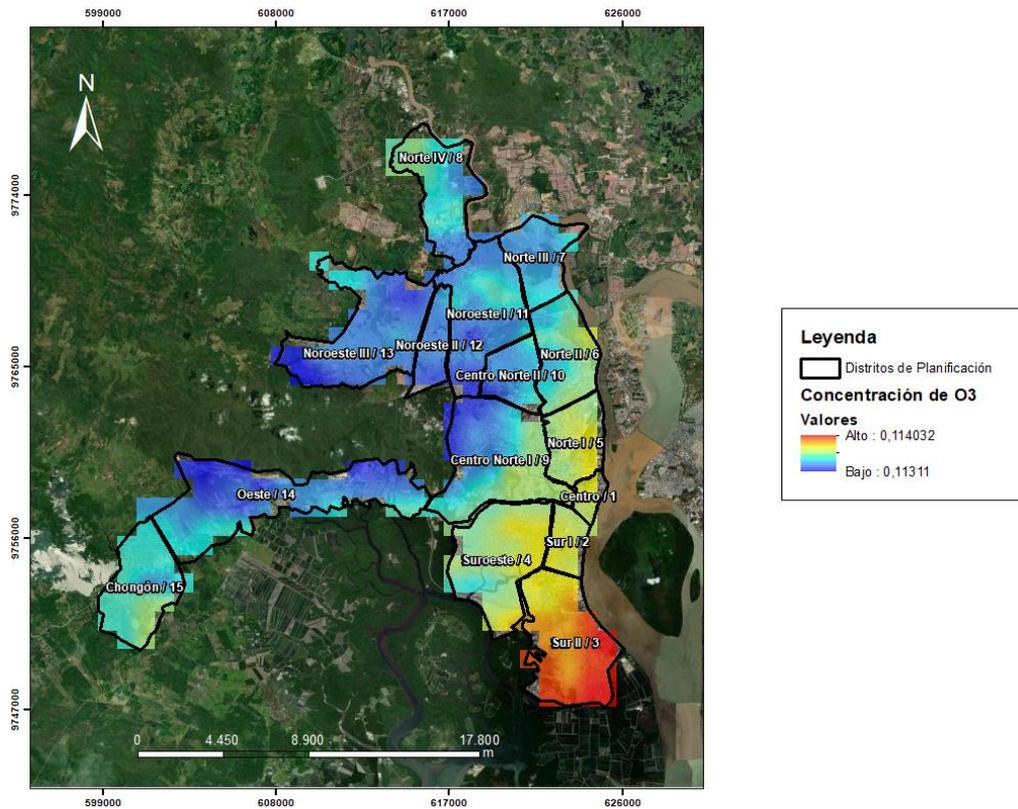


Figura 7. Localización de concentraciones de Ozono en conjunto con los Distritos de Planificación de la ciudad de Guayaquil, Enero a Diciembre del 2021.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

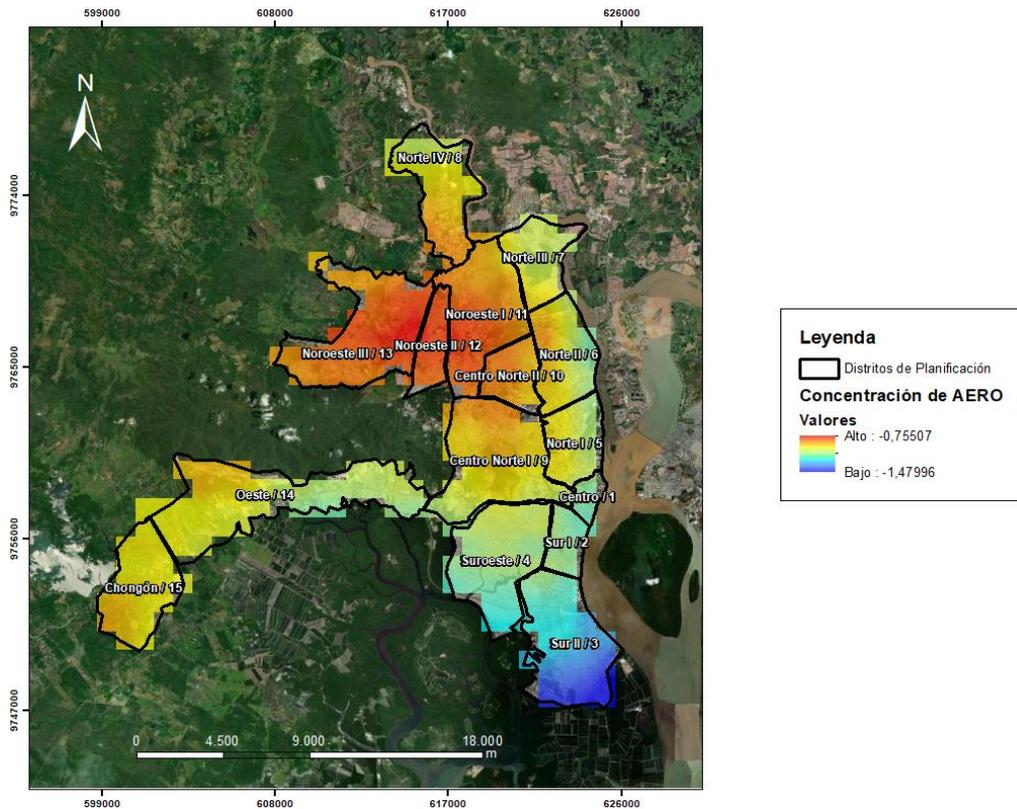


Figura 8. Localización de concentraciones de Aerosol en conjunto con los Distritos de Planificación de la ciudad de Guayaquil, Enero a Diciembre del 2021.

Equipamiento mínimo requerido para las estaciones

Evaluación entre las estaciones de monitoreo y el número de población

En la matriz de cantidades de estaciones de monitoreo según la población en capitales de países latinoamericanos, se seleccionaron 14 ciudades que poseen estaciones de monitoreo de calidad del aire. Asimismo, se contabilizaron 12 variables como PM10, PM2.5, O3, SO2, NO2, CO, PTS, TRS, PS, Sedimentación Ácida, PB y HAP's; sin embargo, las variables que más se monitorearon en las capitales latinoamericanas fueron PM10, PM2.5, O3, SO2, NO2, CO. Por otro lado, se observó que la ciudad de Bogotá cuenta con 20 estaciones de monitoreo, teniendo en su poder a 7.181.469 de habitantes; mientras que la ciudad de Asunción cuenta con 1 estación de monitoreo y un número de habitantes de 521.101, considerando este último, la ciudad que menos estaciones tiene en comparación con las otras ciudades expuestas en la matriz. Cabe recalcar, que a mayor número de habitantes mayor será el número de estaciones y viceversa (Tabla 1).

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Tabla 1. Matriz sobre cantidad de estaciones de monitoreo según la población en capitales de países latinoamericanos.

No.	Países Latinoamericanos	Ciudades (Capitales)	Número de Habitantes	Número de Estaciones	PM10	PM2.5	O3	SO2	NO2	CO	PTS	TRS	PS	Sedimentación Ácida	PB	HAP's
1	Argentina	Buenos Aires	2.890.151	8	3	0	2	2	4	4	0	0	4	0	0	0
2	Brasil	Brasilia	3.094.325	5	5	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
3	Chile	Santiago	7.112.808	6	6	6	6	2	6	6	0	0	0	0	0	0
4	Colombia	Bogotá	7.181.469	20	20	20	20	20	20	20	0	0	0	0	0	0
5	Costa Rica	San José	3.290.000	5	5	4	3	4	4	2	0	0	0	0	5	3
6	Ecuador	Quito	2.239.191	9	4	4	7	7	7	7	3	0	0	0	0	0
7	El Salvador	San Salvador	1.567.156	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Guatemala	Guatemala	3.015.081	6	0	6	0	6	6	0	0	0	0	4	0	0
9	Honduras	Tegucigalpa	1.674.986	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	México	Ciudad de México (D.F.)	9.209.944	13	6	5	12	4	3	4	0	0	0	0	0	0
11	Panamá	Panamá	1.713.070	5	5	5	3	2	2	0	0	0	0	0	2	0
12	Paraguay	Asunción	521.101	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13	Perú	Lima	9.485.405	8	8	8	3	7	7	2	0	0	0	0	0	0
14	Uruguay	Montevideo	1.319.108	7	2	5	2	3	5	2	0	1	0	0	0	0

Nota. Los números establecidos en los contaminantes representan la cantidad de estaciones donde se monitorean cada contaminante. Siendo PTS= Partículas Suspendidas Totales; TRS= Compuestos Reducidos de Azufre; PS= Partículas Sedimentales; HAP's= Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

La relación de las estaciones de monitoreo y el número de habitantes de las capitales latinoamericanas, se analizó por medio de un modelo de regresión lineal el cual no fue significativo para ciudades como Asunción debido a su baja tendencia en número de habitantes y estaciones de monitoreo. Sin embargo, fue significativo para la ciudad de Bogotá mostrando una tendencia mayor en ambas designaciones (Figura 9).

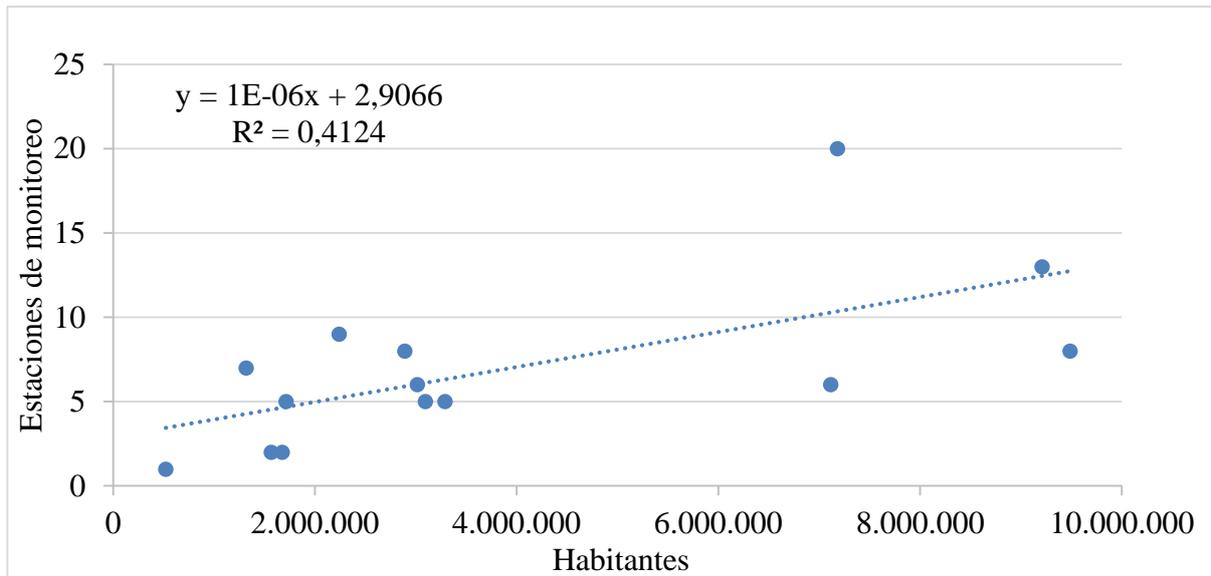


Figura 9. Modelo de regresión lineal entre las estaciones de monitoreo y el número de habitantes.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo la intención de proponer un análisis de diseño para una red de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Guayaquil, el cual dio a conocer que este tipo de contaminación puede producir afectaciones graves en la salud de las personas; especialmente, para aquellos que habitan en los alrededores de las zonas industriales, los cuales se encuentran expuestos a los altos niveles de concentraciones de contaminantes criterio provenientes de las fuentes fijas. El análisis sobre el diseño para el monitoreo de la calidad de aire en la ciudad, se llevó a cabo en función a la cantidad, localización y equipamiento que requieren las estaciones; para ello, se consideró información como distribución poblacional, uso de suelo dando como referencia el sitio donde se sitúan las zonas industriales y por último concentraciones de contaminantes, los cuales permitieron descubrir los puntos con mayor afectación en el área de estudio.

Con el fin de establecer si la cantidad, localización y equipamiento, constituyen como parte fundamental de la implementación de las estaciones de monitoreo, las mismas fueron comparadas con el Manual de Garantía de Calidad para Sistemas de Medición de la Contaminación del Aire de los Estados Unidos [zona de mayor concentración de contaminantes, concentraciones en áreas de alta densidad poblacional, localización para el monitoreo, concentración de áreas industriales] (USEPA, 2017). Se consideró que las variables como densidad poblacional, zonas industriales y concentraciones de contaminantes son imprescindibles para el establecimiento de las estaciones de monitoreo; en base, a lo estipulado por la Agencia de los Estados Unidos de América.

Aquello está fuertemente ligado con la calidad de aire que se genera debido a las fuentes fijas de los parques industriales, originadas por el tipo de combustible que utilizan las industrias, por lo tanto hay que considerar que a diferencia de otros países, las industrias más antiguas en la ciudad de Guayaquil no les dan un mejor uso a sus recursos, atribuyendo de esa manera a que industrias más modernas reutilicen las tecnologías generando consigo una óptima calidad del combustible y mejor aprovechamiento de los recursos (Ministerio de Ambiente, 2010).

Los resultados se mostraron significativos en relación a la distribución poblacional y los distritos de planificación de la ciudad de Guayaquil, atribuyendo que la división de esta última en unión al número de habitantes generó variabilidad con respecto a los datos. En referencia al uso de suelo industrial y como se entrelaza con los distritos de planificación, confirma que la mayoría de las industrias se establecen en sectores específicos haciendo que

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

las concentraciones de contaminantes se centren mucho más en una área en comparación a los demás distritos (Municipalidad de Guayaquil & Fundación Natura, 2007).

Se presume que las altas concentraciones de contaminantes en ciertos sectores se debe a la influencia directa de los parques industriales donde diversas industrias realizan actividades como fabricación de metales comunes [NO₂], manufacturas [CO, O₃, Aero], termoeléctricas [SO₂, NO₂, CO, O₃, Aero, PM_{2.5}], producción de caucho y plásticos [Aero]; asimismo, las áreas industriales en conjunto con los distritos de planificación y la densidad poblacional, puesto que el NO₂, CO y Aero se situaron en sectores definidos a diferencia de los otros contaminantes que se encontraron dispersos en otras áreas de la urbe. La marcada tendencia de los contaminantes tienen conexión directa con los distritos de planificación, densidad poblacional y uso de suelo industrial manteniendo una ligera relación con otros resultados similares (Municipalidad de Guayaquil, 2015).

Por otro lado, el número de estaciones de monitoreo mantuvo una estrecha relación con el número de habitantes de las ciudades latinoamericanas (DIGESA, 2005), en comparación con otras capitales de la región, la única ciudad que mantuvo el número de estaciones de monitoreo para la mayoría de sus contaminantes y teniendo un número significativo de habitantes fue Bogotá [20 estaciones], mientras que las otras ciudades restantes tuvieron menos estaciones debido al número de habitantes.

Se han realizado diversos enfoques sobre inventarios y planes en relación a la implementación de estaciones para el monitoreo de la calidad del aire en Guayaquil; las estaciones de monitoreo en la ciudad dependerá de la demanda que exista entre los recursos económicos [presupuestos] y logísticos (Municipalidad de Guayaquil & Fundación Natura, 2007). Sin embargo, ningún plan se ha podido implementar debido a la falta de aquellos recursos; cabe recalcar, que a pesar de ello se implementó una estación de monitoreo en el sector de Vía a la Costa (Municipalidad de Guayaquil, 2019).

Como se ha mencionado anteriormente, la cantidad, localización y equipamiento de las estaciones de monitoreo constituyen una estrategia al momento de la implementación; debido a ello, el presente estudio proporciona y asegura un sustento teórico y metodológico que se entrelazan con las variables expuestas. En base a la información y resultados obtenidos mediante el presente estudio, el mismo puede ser de interés para la dirección de gestión ambiental municipal de Guayaquil, para el restablecimiento de las estaciones de monitoreo y la evaluación de la calidad del aire en la ciudad. Además, el análisis permitió determinar la

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

carencia de una red de monitoreo y las mejoras que se pueden realizar previo y durante a su implementación.

Fortalezas y Limitaciones

Entre las fortalezas del análisis se obtuvieron estudios con relación a planes de diseño de monitoreo realizados en la ciudad de Guayaquil, los cuales aportaron significativamente. Sin embargo, la principal limitante fue la falta de acceso y disponibilidad de información para el público; en otras palabras, la demora para la obtención de la misma y la falta de información actualizada diariamente de datos sobre el estado de la calidad de aire y las concentraciones de contaminantes.

Estudios futuros

Tomando en consideración los resultados, se recomienda el uso de sensores remotos como método de monitoreo debido a que tiene un mayor alcance para medición de contaminantes y parámetros meteorológicos. Se sugiere también la creación de una plataforma del Índice de Calidad de Aire (ICA) donde refleje en tiempo real los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo, incluyendo horarios y días de la semana del comportamiento de los contaminantes y las variaciones meteorológicas en zonas donde se establezcan las estaciones.

Por ese motivo, se aconseja al mismo tiempo analizar las concentraciones de contaminantes convencionales como Benceno, Cadmio, Mercurio Inorgánico, variables como el tráfico vehicular en relación a los horarios de exposición de los contaminantes y actividades agrícolas en función al tipo de contaminante que se genere. A su vez, se propone la creación de un presupuesto económico destinado a la implementación de la red de estaciones para el monitoreo en coordinación con la contratación de personal técnico capacitado para realización de mantenimiento en las estaciones.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

CONCLUSIÓN

En adhesión con la información recopilada de las características urbanas de la ciudad de Guayaquil, y en conjunto con las concentraciones de contaminantes se determinaron puntos críticos de afectación. Para el análisis se incluyeron contaminantes criterio como SO₂, NO₂, CO, O₃, PM_{2.5}, Aerosoles, los cuales están presentes en la normativa ambiental vigente. Los contaminantes que más se evidenciaron en el uso de suelo industrial más vasto fueron NO₂, CO y Aerosoles. Las concentraciones de contaminantes estuvieron relacionadas en función a la densidad poblacional y uso de suelo industrial. Además, se pudo determinar que para la implementación de las estaciones de monitoreo es recomendable por el momento la colocación de tres estaciones de monitoreo, del mismo modo se debe considerar que en aproximadamente diez años la población urbana tendrá un crecimiento considerable, ocasionando que se realice la implementación de una o dos estaciones más para el monitoreo de la calidad de aire. En relación a la distribución de las estaciones se determinó que deben ser situadas en distritos como Noroeste, Sur II y Oeste; debido, a la mayor concentración de habitantes en conjunto a las actividades industriales en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil. Sin embargo, se requiere de una entidad que regule e implemente las estaciones para llevar una información clara y detallada de la situación actual.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCGIS (2019). Geographic Information System (Version 10.5). Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
- Billet, S., Garçon, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D., Aboukais, A., Shirali, P. (2007). Ambient Particulate Matter (PM_{2.5}): Physicochemical Characterization and Metabolic Activation of the Organic Fraction in Human Lung Epithelial Cells (A549). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.03.001>
- Cámara de Industrias. (2020). Cámara de Industrias de Guayaquil: 84 años en una ciudad con tradición industrial. *Revista Industrias*. <https://revistaindustrias.com/camara-de-industrias-de-guayaquil-84-anos-en-una-ciudad-con-tradicion-industrial/>
- Chang, N., Tseng, C. (1997). OPTIMAL DESIGN OF A MULTI-POLLUTANT AIR QUALITY MONITORING NETWORK IN A METROPOLITAN REGION USING KAOHSIUNG, TAIWAN AS AN EXAMPLE. Obtenido de Department of Environmental Engineering National Cheng-Kung University Tainan, Taiwan, R.O.C. <https://doi.org/10.1023/A:1005992712569>
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (2005). Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos. Recuperado de https://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf
- Dirección General del Aire. (2021). Estación de Monitoreo de Calidad de Aire de Asunción. Recuperado de <https://www.mades.gov.py/2021/04/04/>
- Flacso, Mae, Pnuma. (2008). Geo Ecuador: Informe sobre el Estado del Medio Ambiente (p. 51)
- García, J., Grutter, M., Cintora, D. (2007). EVALUACIÓN DEL RIESGO POR CONTAMINANTES CRITERIO Y FORMALDEHÍDO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. (p. 170).
- Google Earth Engine. (2021). Imágenes Satelitales Sentinel 5P y Copernicus. <https://code.earthengine.google.com/e4c5863012ab3807f6cdb8a245889a62?noload=1>
- Instituto Nacional de Ecología. (2010). Manual 1: Principios de Medición de la Calidad del Aire. Recuperado de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Instituto de Hidráulica Ambiental. (2015). Emisiones de Contaminantes Atmosféricos. Recuperado de https://dpu.mupa.gob.pa/wp-content/uploads/2017/06/Anexo-7_Contaminacion-atmosferica.pdf
- Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR). (2021). Estaciones Meteorológicas Costeras. Recuperado de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/estaciones-meteorologicas>
- Ministerio de Ambiente. (2010). Plan Nacional de Calidad de Aire. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2013). MAE Trabaja en Programas de Mitigación y Adaptación para Reducir Emisiones de CO₂ en Ecuador. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/>

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

- Ministerio de Ambiente. (2013). Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (p. 72-75).
- Ministerio de Ambiente. (2014). Red de Monitoreo de Partículas Suspensas en el Aire en Tegucigalpa. Recuperado de http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/libroscescco/None/2018-06-07/21%3A45%3A25%2B00%3A00/02_Red_Monitoreo_TPS_2013_-_2014.pdf
- Ministerio de Ambiente. (2015). Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo Ministerial 097A. Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas y Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión. Editorial Lexis. (p. 39., p. 54).
- Ministerio de Ambiente. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre el Cambio Climático. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2020). Red de Monitoreo de la Calidad de Aire en Montevideo. Recuperado de <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-del-aire/red-de-monitoreo>
- Ministerio de Ambiente. (2022). Medición de la Calidad de Aire de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado de <https://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/control-ambiental/laboratorio-ambiental/calidad-de-aire>
- Ministerio de Ambiente. (2022). Monitoreo de la Calidad de Aire para Lima Metropolitana. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=lima&p=calidad-del-aire>
- Ministerio de Ambiente de Brasil. (2022). Mapas de estaciones de monitoreo de Brasilia. Recuperado de https://public.tableau.com/app/profile/helen.cristina.de.lima.e.sousa/viz/PlataformaQArV4_2021_16218689328810/Mapadeestaesdemonitoramento_1
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales. Recuperado de <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/monitoreo/satelite/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Estaciones de Monitoreo de la Calidad del Aire Región Metropolitana de Santiago. Recuperado de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/M>
- Municipalidad de Guayaquil., Fundación Natura. (2007). Plan de Gestión de la Calidad del Aire en la Ciudad de Guayaquil. vol. II.
- Municipalidad de Guayaquil. (2015). Tomo I: Descripción y Análisis de la Situación Actual de la Calidad de Aire (p. 113).
- Municipalidad de Guayaquil. (2019). Memoria de Gestión Ambiental (p. 70 - 71)
- Municipalidad de Guayaquil. (2021). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2030; y, del Plan de Uso y Gestión del Suelo. (p. 605-606).
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2004). Guías para la Calidad del Aire.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Calidad del Aire y Salud. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Contaminación del Aire de Interiores y Salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. Recuperado de <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Peniche, S., Cortez, M. (2020). La costumbre al envenenamiento: El caso de los contaminantes atmosféricos de la ciudad de Guadalajara, México. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*. Vol 54(2): 1-19. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.1>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2002). Serie de Manuales de Metodología – Aseguramiento de la Calidad en el Monitoreo de la Calidad del Aire Urbano vol. I. (p. 10).
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO 6. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Secretaría de Ambiente. (2022). Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Recuperado de <https://ambientebogota.gov.co/es/estaciones-rmcab>
- Secretaría de Ambiente. (2022). Red Metropolitana Ambiental de Quito. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/los-chillos>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. vol. II (p. 59 - 62). https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/final_handbook_document_1_17.pdf
- Valdés, J., Esquivel, G., Morales, J. (2010). Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Provenientes desde Fuentes Fijas. Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/7458/Emisiones%20de%20contaminantes%20atmosf%c3%a9ricos%20provenientes%20desde%20fuentes%20fijas%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. (2016). The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25013/108141.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

ANEXOS

Anexo 1: Superficie, población y densidad de los quince distritos

	Área Urbana			
	Denominación	Superficie Total (ha.)	Población con Proyección al 2020 (hab.)	Densidad Poblacional (hab./ha.)
DISTRITO	Centro	859,72	102.501	119,23
	Sur I	893,68	157.912	176,7
	Sur II	2.543,82	425.243	167,17
	Suroeste	2.256,88	558.574	247,5
	Norte I	1.437,99	50.075	34,82
	Norte II	1.707,62	182.521	107,01
	Norte III	1.561,28	87.494	56,04
	Norte IV	5.488,87	33.316	6,07
	Centro Norte	2.064,43	83.816	40,6
	Centro Norte II	2.230,44	292.006	130,92
	Noroeste I	2.169,41	171.674	79,13
	Noroeste II	1.724,21	267.577	155,19
	Noroeste III	2.822,23	185.882	65,86
	Oeste	4.353,35	31.412	7,22
	Chongón	1.025,28	30.384	29,63

Anexo 2: Definición y categorización de escala para el monitoreo

Categoría de Escalas	Definiciones
Microescala	Volúmenes de aire asociados con dimensiones de área hasta 100 metros.
Escala Media	Dimensiones desde 100 metros hasta 0.5 kilómetros.
Escala Local	Dimensiones desde 0.5 hasta 4.0 kilómetros.
Escala Urbana	Dimensiones con rango de 4 a 50 kilómetros.
Escala Regional	Área rural que se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros.
Escala Nacional o Global	Representan concentraciones características de la nación o del mundo como un todo.

Anexo 3: Niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) para fuentes fijas de ruido

Niveles Máximos de Emisión de Ruido para FFR	
Uso de Suelo	LKeq (dB)

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

	Periodo Diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Periodo Nocturno 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
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el LK _{eq} más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación. Ejemplo: Uso de suelo: Residencial + ID2 LK _{eq} para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del LK _{eq} para estos casos se llevará a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4.	

Anexo 4: Análisis de contaminantes por actividad industrial

Matriz de Análisis de Contaminantes por Actividad Industrial	
Tipo de Contaminante	Actividad
Monóxido de Carbono (Co)	Termoeléctricas
	Industria de manufactura - Por Proceso
	Extracción minera y Producción de minerales no metálicos
Dióxido de Azufre (So ₂)	Fabricación de sustancias y productos químicos
	Termoeléctricas
	Industria de Manufactura - Por Combustión
Dióxido de Azufre (So ₂)	Extracción minera y Producción de minerales no metálicos
	Fabricación de sustancias y productos químicos
	Fabricación de sustancias y productos químicos

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Ozono (O3)	Termoeléctricas Industria de Manufactura - Por Combustión
Dióxido de Nitrógeno (No2)	Termoeléctricas Fabricación de metales comunes Fabricación de sustancias y productos químicos Termoeléctricas Industria de manufactura - Por Proceso
Material Particulado (PM10)	Extracción minera y Producción de minerales no metálicos Fabricación de sustancias y productos químicos Termoeléctricas Industria de manufactura - Por Proceso
Material Particulado (PM2.5)	Extracción minera y Producción de minerales no metálicos Fabricación de sustancias y productos químicos Fabricación de sustancias y productos químicos Fabricación de productos textiles Productos caucho y plástico
Aerosoles	Industria de manufactura - Por Proceso Extracción minera y Producción de minerales no metálicos Fabricación de metales comunes

Anexo 5: Técnicas para el monitoreo de la calidad de aire

Técnicas de Monitoreo				
Técnica	Ventaja	Desventaja	Tipo de Contaminante	Costo del Equipo
Bioindicadores	<ul style="list-style-type: none"> - Muy económicos. - Abundancia de especies. - Sin mantenimiento. - Sin electricidad. - Fácil de operar 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento lento de especies. - Requiere mano de obra experimentada y análisis de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> - O3 - So2 - Co - PM10 - Metales Pesados - No2 	-

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

Muestreadores Pasivos	<ul style="list-style-type: none"> - Muy económicos. - Muy simples. - No dependen de cables de electricidad. - Se pueden colocar en números muy grandes. - Útiles para sondeos, mapeos y estudios de línea de base. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se han probado para algunos contaminantes. - Por lo general, solo suministran promedios mensuales y semanales. - Requieren mano de obra intensiva para su funcionamiento y el consiguiente análisis. - No existe un método de referencia para monitorear el cumplimiento. - Lento rendimiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - So₂ - No₂ - O₃ 	De \$10 a \$70 por muestra
Muestreadores Activos	<ul style="list-style-type: none"> - Económico. - De fácil manejo. - Operación y rendimiento confiables. - Cuentan con base de datos históricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suministran promedios diarios. - Requieren mano de obra intensiva para la recolección y análisis de muestras. - Requieren análisis de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> - PM₁₀ - PM_{2.5} - Gases - Aerosoles 	De \$1.000 a \$3.000 por unidad
Analizadores Automáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Han sido debidamente probados. - Alto rendimiento. - Datos horarios. - Información en línea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sofisticados. - Costosos. - Demandan alta calificación. - Altos costos recurrentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - So₂ - Co - No₂ - COV - PM₁₀ - PM_{2.5} 	De \$10.000 a \$15.000 por analizador
Sensores Remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionan datos en función de la ruta y del rango de concentración. - Útiles cerca de las fuentes. - Mediciones de componentes múltiples. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy sofisticados y costosos. - Soporte, operación, calibración y validación difíciles. - No se pueden comparar fácilmente con mediciones puntuales. - Visibilidad atmosférica e interferencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - So₂ - Co - NH₄ - No₂ - PM₁₀ - PM_{2.5} - Hidrocarburos - Aerosoles - Formaldehídos 	De \$70.000 a \$150.000 por sensor o más