

## PROPUESTA DE RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN TEGUCIGALPA Y COMAYAGÜELA

Antonio B. Carias Arias \*

Los datos para el análisis y generación de los mapas fueron unas bases de datos en Excel la cual contiene información desde los años 1997 hasta el 2004 dichos datos fueron proporcionados por la Ing. Luisa Mariela Turcios del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).

Los demás datos geográficos se citan a continuación:

- GDEM: ASTER, <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>
- Imagen Aérea: PATH
- Datos Meteorológicos: Depto. Física UNAH
- Imágenes satelitales: <http://landsat.org/>
- Datos Población: INE-JICA

### RESUMEN

Una red de monitoreo está constituida por el conjunto de sitios o estaciones de muestreo, generalmente fijas y continuas, que se establecen para medir los parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos fijados. El diseño de la red de monitoreo fue orientado a evaluar el impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire del Distrito Central, y determinar la concentración máxima a la que están expuestas las personas que transitan por la calle o que trabajan en ella (vendedores ambulantes, agentes de tránsito, entre otros).

---

Investigador: MsC. Antonio B. Carias Arias  
Departamento de Ciencias y Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH  
Email: [antoniocarias@gmail.com](mailto:antoniocarias@gmail.com) Teléfono: +504 22394948  
Dirección: Facultad de Ciencias Espaciales

Este método de medición es conocido como KerbSide los equipos de muestreo se ubican hasta una distancia de 2 metros de la calle y a una altura de 1.5-3.0 metros. Para ello fueron seleccionados una red de sitios para la toma de muestras de aire que cumplieren con varios criterios técnicos entre los cuales el de mayor relevancia fue el flujo vehicular, categorizando los sitios como bajo, medio y alto flujo vehicular. El sitio de muestreo se localiza a lo largo de la trayectoria de la calle o vía, considerándosele como lineal y de micro escala, ya que la concentración es representativa de un área de 10-100 metros.

**Palabras Clave:** Red de monitoreo, Calidad del aire, Sistemas de información geográfica.

## **ABSTRACT**

A monitoring network consists of the set of sites or sampling stations, usually fixed and continuous down to measure environmental parameters required to meet targets. The design of the monitoring network was designed to assess the impact of vehicle emissions on air quality in the Central District and to determine the maximum concentration to which people are exposed to passing down the street or working in it (sellers hawkers, traffic police, among others). This measurement method is known as kerbside sampling equipment are located to within 2 meters of the street at a height of 1.5-3.0 meters. This was a network of sites selected for sampling air technicians meet several criteria including the most important was the traffic flow, categorizing sites as low, medium and high traffic flow. The sampling site is located along the path of the street or road, considerándosele as linear and micro scale, since the concentration is representative of an area of 10-100 meters.

**Keywords:** Network monitoring, air quality, Geographic Information Systems

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional que el Distrito Central de Tegucigalpa-Comayagüela (Honduras) ha experimentado en los últimos 15 años y junto a ello la evolución de los procesos activos “positivos y negativos” producidos por la evolución permanente de la dinámica social, ambiental y económica ha generado un importante desequilibrio ambiental en varios niveles. Uno de estos desequilibrios está altamente relacionado con la emisión de residuos sólidos antropogénicos gaseosos polutivos y es por esto que resulta necesario conocer e identificar las zonas urbanas vulnerables producto de esta situación.

La generación de smog es un fenómeno típico de las zonas urbanas y alrededores con mucha circulación automovilística y con un alto nivel de insolación. Esta niebla se forma cuando reaccionan los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos con una fuerte irradiación solar. El producto final de estas reacciones son los gases oxidantes, como el ozono.

Los efectos son muy diversos; irritan las mucosas, son lacrimógenos, envejecen prematuramente los pulmones, retardan el crecimiento vegetal y son muy corrosivos.

Por lo tanto es necesario realizar y poner en funcionamiento una nueva red de monitoreo de gases troposféricos que sea económica a la hora de recoger las muestras y que abarque el nuevo perímetro urbano con el que cuenta el Distrito Central, la cual se transforme en una herramienta útil de planificación territorial y toma de decisiones precisas en relación a la salud de la sociedad y el ambiente las cuales adquieren un papel central en el desarrollo de toda ciudad.

## **MÉTODO.**

### **1. Red de Monitoreo Actual:**

El diseño de la red de monitoreo actual fue orientado a evaluar el impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire del Distrito Central, y determinar la concentración máxima a la que están expuestas las personas que transitan por la calle o que trabajan en ella (vendedores ambulantes, agentes de tránsito, entre otros). Este método de medición es conocido como "KerbSide"<sup>2</sup>, los equipos de muestreo se ubican hasta una distancia de 2 metros de la calle y a una altura de 1.5-3.0 metros. Para ello fueron seleccionados unos sitios que conforman una red para la toma de muestras de aire que cumpliesen con varios criterios técnicos entre los cuales el de mayor relevancia fue el flujo vehicular, categorizando los sitios como bajo, medio y alto flujo vehicular. El sitio de muestreo se localiza a lo largo de la trayectoria de la calle o vía, considerándosele como lineal y de micro escala, ya que la concentración es representativa de un área de 10-100 metros. (CESCCO, 2005).

Durante el primer año del programa solamente se monitorearon las concentraciones de dos indicadores de contaminación atmosférica: total de partículas en suspensión (TPS) y plomo (Pb).

A partir de 1995 se implementó la metodología para la determinación de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>) mediante métodos pasivos (ver fig. 1.) y en el año 1997 se incorpora la medición de partículas menores de 10 micrómetros (Pm<sub>10</sub>).

En 2004, las Municipalidades del Distrito Central y San Pedro Sula, adquirieron cabinas automáticas para la vigilancia de la calidad del aire (ver Fig 2. ). En la ciudad de San Pedro Sula el sistema está conformado por una cabina y en la ciudad de Tegucigalpa por tres cabinas localizadas en el Parque Central, Centro de Meteorología de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y en el barrio La Granja de Comayagüela. Este sistema tiene la capacidad para analizar de manera continua siete parámetros indicadores de contaminación del aire: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de nitrógeno (NO), ozono (O<sub>3</sub>) y partículas en suspensión (TPS), actualmente este sistema está fuera de funcionamiento debido a la falta de mantenimiento. (Padilla, A. 2003).



**Figura 1.** Sensor pasivo (CESCCO 2005)



**Figura 2.** Cabina Automática en el Parque Central (CESCCO 2005)



**Figura 3.** Ubicación de los siete sitios de muestreo distribuidos en las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela (Distrito Central)

El diseño de la red de monitoreo aire, fue orientado para medir la concentración y el impacto de las emisiones vehiculares en la población que transitan o trabajan cerca de las calles del Distrito Central.

Los equipos de muestreo se ubican hasta una distancia de 2mts de la calle y a una altura de 1.5-3mts. Para ello fueron seleccionadas una red de sitios para la toma de muestra de aire (ver Fig. 3.)

Esta selección de sitios tuvo como criterio principal el flujo vehicular categorizado como bajo, medio y alto.

## **2. Propuesta de la Nueva Red de Monitoreo de La Calidad de Aire**

Para el diseño e implementación de la nueva red de monitoreo de calidad del aire, es importante definir los objetivos que va a perseguir dicho monitoreo, alcance espacial, parámetros ambientales, el número de sitios, el espacio territorial y temporal para que la evaluación de dispersión de contaminantes atmosféricos en la troposfera sea optimizada.

### **2.1 Los objetivos básicos que persigue la nueva red de monitoreo son:**

- Observación de la tendencia de la contaminación a largo plazo
- Calibración del modelo urbano de dispersión
- Identificación de los sitios críticos en la zona de estudio
- Investigación del impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población
- Supervisión del cumplimiento de las normas de la calidad del aire.

Es importante resaltar que para el monitoreo en tiempo real se puede lograr únicamente con analizadores automáticos, mientras que con los métodos activos y pasivos dan buenos resultados en monitoreo de áreas a largo plazo.

### **2.2 Alcance espacial**

La nueva red monitoreara la calidad de aire tendrá un alcance espacial en escala urbana, el presupuesto es otro factor muy importante a considerar ya que los analizadores automáticos son muy costosos en adquisición y en mantenimiento preventivo.

### **2.3 Elección de parámetros ambientales**

Para realizar un estudio sobre la calidad del aire se toman en cuenta los contaminantes nombrados como “contaminantes criterio” según la OMS se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos, con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido adoptado en muchos países, y son:

- Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Material Particulado (PM)
- Plomo (Pb)
- Monóxido de carbono (CO)
- Ozono (O<sub>3</sub>)

Otros parámetros importantes de tomarse en cuenta son los parámetros meteorológicos y topográficos ya que estos están estrechamente relacionados con la dispersión de los contaminantes atmosféricos, la temperatura, la humedad, la precipitación, la radiación solar, la dirección y la velocidad del viento son factores que también contribuyen una gran influencia sobre la calidad del aire en una región (OPS, 1997)

### **2.4 Elección de cantidad de sitios de monitoreo**

Para la cantidad tenemos la premisa de que a mayor cantidad mayor precisión de resultados pero la compra, mantenimiento y recolección de muestras eleva el costo de acceso y operación de la red, debido a esos factores se necesitan aproximadamente de 4-6 pasivos y 5 automáticos o de monitoreo continuo para un monitoreo eficiente.



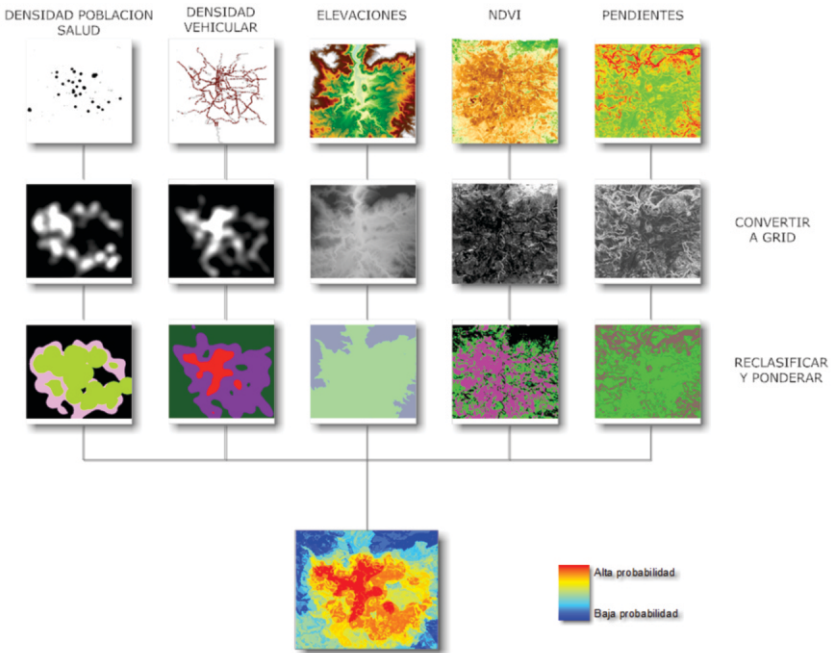
## 2.5 Elección de los sitios de monitoreo

En el modelo de elección de sitios de monitoreo se utilizó un método con los criterios y objetivos ya definidos, formados por capas geográficas, tales como densidad vehicular, densidad de población combinada con centros de salud, elevaciones, NDVI y pendientes, estas capas son compiladas y mezcladas para desarrollar un mapa que represente la combinación de los criterios que se definieron como importantes en dicha área. A cada capa geográfica se le asigna un peso de importancia el cual fue valorado según preguntas al azar a los estudiantes de la universidad, en el estudio anterior la variable de tráfico vehicular fue la más importante en el estudio actual arrojó el dato que densidad de población + salud es el más importante. El resultado identifica en la leyenda que el color rojo es el de alta probabilidad o los lugares ideales para colocar los sensores ya sean activos o pasivos, una vez teniendo este mapa se procede a elegir cada sitio manualmente teniendo en cuenta:

- La entrada y salida de aire en la zona.
- Lugares de bajo vandalismos o actos delictivos.
- Lugares con propiedad de instituciones gubernamentales o privadas para proteger el equipo a instalar.
- Lugares con acceso a electricidad.

Estos criterios se dieron fuera del modelo ya que no se contaba con dichas capas geográficas.

A continuación el modelo, (Fig. 4.):



*Figura 4. Diagrama conceptual del modelo de sitios idóneos para monitoreo*

En este modelo conceptual se propone la optimización de la red de monitoreo existente, este modelo nos da a conocer en qué lugar es favorable instalar los nuevos captadores con los criterios ya establecidos.

## RESULTADOS

Básicamente los criterios que fueron utilizados para la elección de los nuevos sitios de monitoreo se basaron en el diagrama de flujo de la figura 4 en los cuales se eligieron 5 capas de información cada una ponderada con un peso según su importancia, (Tabla 1):

CAPA DE INFORMACIÓN	PESO PONDERADO
Densidad de Población + Salud	0.27
Densidad Vehicular	0.25
Elevaciones	0.25
Pendientes	0.15
NDVI	0.08

**Tabla 1.** *Tabla de ponderación*

La ponderación se tomó del resultado de consultar con alumnos de universidades valorando la importancia de cada capa geográfica para el estudio.

Se tomaron en cuenta también entrada y salida de aire subjetivas ya que no se cuenta con esos datos a esas escalas urbanas, estas son importantes monitorear ya que es necesario saber la calidad del aire entrante así como la calidad del aire de salida de nuestra ciudad.

Con la capa de densidad poblacional se tomó muy en cuenta la ubicación de los centros de salud ponderando con más valor dicha capa ya que es importante evaluar el tipo de aire que están cerca de los centros hospitalarios.

La capa de densidad vehicular fue un extracto de la imagen aérea del año 2004 categorizando autobuses y carros livianos en donde se encuentran más aglomerados ya que el automóvil genera más contaminación cuando está en tráfico.

En la capa de elevaciones se tomó un rango de 890-1100mts ya que la mayoría de los contaminantes aéreos o aerosoles circulan en verticalidad de 1km, lo mismo con la información de pendientes se clasifico un rango de 0-14° ya que la instalación de los monitores o captadores debe de ser en lugares planos y lejos de accidentes geográficos.

Con el NDVI se trató de bajarle el peso ya que hay ciertas vegetaciones que emanan ciertos tipos de olores que interfieren con la lectura del dato.

Luego se realizó un algebra de mapa la cual consiste en multiplicar el valor ponderado y combinar las capas geográficas ya ponderadas, dando como resultado el mapa propuesta.

A continuación el mapa de sitios de monitoreo, (Fig. 5):

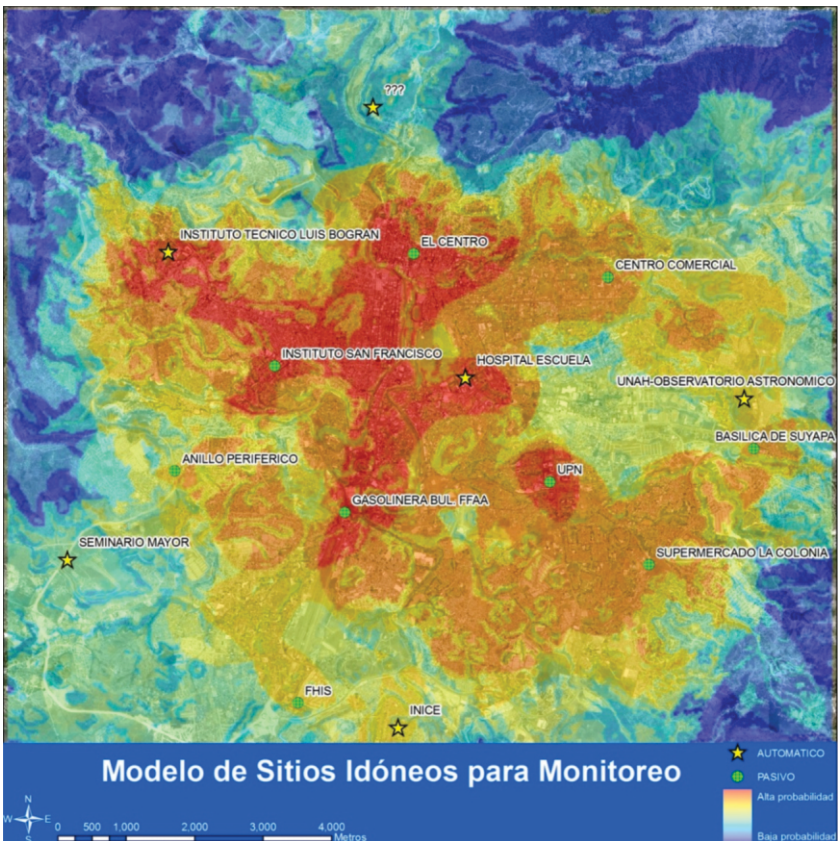


Figura 5. Sitios Idóneos para Monitoreo

## CONCLUSIONES

Es importante reforzar y reformular la red de monitoreo actual, aumentando o densificando ya sea con monitores automáticos y en combinación con varios pasivos que refuercen y cotejen la información que levantan diariamente las estaciones automáticas, dicha información actualizada diariamente podría generar mediante técnicas geo-estadísticas un mapa de distribución de ozono troposférico a nivel urbano en el área de interés, este mapa podría ser en tiempo real o actualizado diariamente dependiendo del sistema de recolección que se instale o se decida en la **red de monitoreo**.

## BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. EPA. 2003. Factores de emisión. En: <http://www.epa.gov/chief>

Bernard, N.L., Gerber, M.J., Astre, C.M. and Saintot, M.J., 1999. Ozone measurement with passive samplers: Validation and use for ozone pollution assessment in Montpellier, France. *Environmental Science & Technology*

Bosque Sendra, J (1992): *Sistemas de Información Geográfica* Madrid, Ed. Rialp.

Buonocore, A. y Davis, W. 1994. *Air pollution engineering manual*. Edit. Van Nostrand Reinhold. New York.

Cámara de Comercio e Industrias de Tegucigalpa, 2007. *Acciones para Tegucigalpa y su Desarrollo Sostenible Agenda 21 Para el Distrito Central, Honduras, C.A.*

CEPIS. 1982. *Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES)*, Informe final 1967-1980. Lima: CEPIS.

CESCO, 2003. *Monitoreo de la Calidad del Aire en Tegucigalpa y Comayagüela 1994-2003*

Contaminación Atmosférica 2003 En:

<http://www.biologiamango.metropoliglobal.com/Atmosfera/>

Delgado, Juana Maria, 2004. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en una área costera mediterránea, Tesis Doctoral.

Martínez A. P. y Romieu I., "Introducción al Monitoreo Atmosférico", OPS, GTZ y DDF, México, 1997.

Moragues Jaime A., Hernandez Ana María., "Uso de la Información Espacial para la Vigilancia del Medio Ambiente y Recursos Naturales" 2002

Padilla, A. (2003-2008). Acciones para Tegucigalpa y su desarrollo sostenible, Cámara de Comercio. Tegucigalpa.