

CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Nelson Jiménez
PETROECUADOR

E-mail: njimenez@petroecuador.com.ec

De La Rosa A., D. Montesdeoca y J. A. Medina

Universidad Central del Ecuador
Ingeniería Química

E-mail: eiq.uc@andinanet.net

1. INTRODUCCIÓN

Las entidades municipales están muy interesadas en conocer las características del aire de sus urbes, con el propósito de asegurar una mejor salud para los habitantes. Guayaquil desde hace algún tiempo, ha incorporado la variable ambiental en sus planes de gestión municipal.

Las autoridades del Muy Ilustre Municipio de Guayaquil concedoras del apoyo que brinda Petroecuador para este tipo de investigaciones, obtuvieron la aceptación para firmar un convenio interinstitucional con la participación de la Universidad Central para que sea la encargada de dar el soporte tecnológico y científico requerido para este propósito.

La Dirección de Medio Ambiente del Muy Ilustre Municipio de Guayaquil ⁽¹⁾ ha realizado algunos estudios parciales de ciertos contaminantes y a la fecha cuenta con una estación de monitorización localizada en uno de los parques del centro de la ciudad, que realiza un registro continuo de la contaminación en ese sector de la ciudad.

Si, se toma en consideración las características topográficas de Guayaquil, sus edificaciones, y la influencia del viento, hace pensar que el mayor problema de contaminación se presentará en la zona céntrica, mientras que en los sectores adyacentes, la misma será menor. De igual manera, el parque automotor y la concentración de azufre de los combustibles, contribuirán a que el dióxido de azufre se encuentre por encima de los límites permitidos para este contaminante.

La ejecución del proyecto fue posible gracias al financiamiento de PETROECUADOR. La coordinación general les correspondió a la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR y la Dirección de Medio Ambiente del Muy Ilustre Municipio de Guayaquil, mientras que la actividad investigativa la realizó un grupo de ingenieros de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central.

La presente investigación cubrió el estudio de la contaminación procedente de las emisiones de tubos de escape, caracterización de combustibles y la cuantificación de la concentración de los contaminantes del aire urbano. Para la realización de estos estudios, se utilizó equipos que permiten medir in situ las concentraciones de los contaminantes, tanto de los procedentes de los tubos de escape como los presentes en el aire; mientras que, para la caracterización de combustibles se utilizó un laboratorio especializado para ensayos normalizados del petróleo y sus derivados, en tanto que los aromáticos fueron cuantificación mediante el empleo de un cromatógrafo de gases.

Para el estudio de la contaminación del aire urbano se identificó 60 sitios que por sus características, tales como: flujo de vehículos, afluencia de peatones, sitios empelados como paradas de buses, intersección de vías de circulación, presencia de industrias, se constituirían en los sectores más representativos para evaluar la calidad del aire de esta ciudad. Este número de sitios fueron reducidos a un total de 51 puntos, los que fueron analizados en una primera etapa; luego, basándonos en las concentraciones registradas de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, se seleccionó los 25 puntos más contaminados para ser sometidos a una nueva inspección en una segunda etapa.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que el monóxido de carbono, ozono, límite de explosividad, compuestos orgánicos volátiles y aromáticos, se encuentran por debajo de los límites permisibles; mientras que, el dióxido de azufre y ruido son los contaminantes que rebasan o están al límite de lo permitido.

La calidad del aire de la ciudad de Guayaquil interpretada en función del índice ORAQUI, indica en forma general que es aceptable, pues los valores del citado índice oscilan entre 30 y 100 salvo pocas excepciones, que corresponden a situaciones muy singulares, debido a la hora del día, congestión de vehículos y baja velocidad del viento.

2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

2.1 AIRE LIMPIO

Aire Limpio es un término que se usa para describir la mezcla de gases existentes en una capa relativamente delgada alrededor de la tierra. La composición de esta mezcla, desde el nivel del suelo hasta una altura de 100 km. es constante.

Se define como aire limpio ⁽²⁾, aquel cuya composición en condiciones estándar, tiene las siguientes concentraciones.

Tabla 2.1-1 Composición del aire limpio y seco

COMPONENTES PRINCIPALES	CONCENTRACIÓN (% Volumen)	PESO TOTAL (Millones de toneladas)
Nitrógeno (N ₂)	78.09	4 220 000 000
Oxígeno (O ₂)	20.95	1 290 000 000
Argón (Ar.)	0.93	72 000 000
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0.032	2 700 000
Componentes Menores	0.03	99 456

Se considera muestra representativa del denominado aire limpio, aquella que se la obtiene de las regiones sobre los océanos lo más alejados de la influencia de las fuentes de emisión de los contaminantes.

El agua no se incluye en la tabla 2.1-1, debido a que, a diferencia de los otros componentes, el vapor de agua se encuentra en el aire limpio en cantidades variables. Dependiendo de la temperatura y de la tasa de evaporación a partir de fuentes disponibles de agua, el contenido atmosférico en la misma oscila entre el 0.01 % y el 5%.

2.2 AIRE CONTAMINADO

La adición de cualquier sustancia altera en cierto grado las propiedades físicas y químicas del aire puro. Se clasifican como contaminantes aquellas sustancias que, añadidas en suficientes cantidades, causan efectos mensurables sobre los seres humanos, los animales, la vegetación o los materiales. Según esto, casi cualquier sustancia natural o sintética capaz de ser transportada por el viento puede clasificarse como contaminante. Tales sustancias pueden presentarse como partículas sólidas, gotas líquidas, gases o mezclas de estas formas.

2.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las **naturales** y las **antropogénicas**. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas.

Las emisiones primarias originadas por los focos naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos. Por su parte, los principales focos antropogénicos de emisiones primarias son las industrias y el parque automotor.

2.4 TIPOS DE CONTAMINANTES

Los contaminantes se clasifican en: primarios y secundarios ⁽³⁾. Los primarios son aquellos emitidos directamente por las fuentes, que se encuentran en la atmósfera sin transformación por efectos de la luz solar o por interacción con otros contaminantes.

Los secundarios, aquellos que no son emitidos a la atmósfera directamente sino que son el producto de la interacción de los contaminantes primarios con uno o más componentes del aire y la acción de la luz solar.

2.1. CONTAMINANTES PRIMARIOS

- Monóxido de carbono, CO
- Dióxido de azufre, SO₂
- Óxidos de nitrógeno, NO_x (principalmente NO y NO₂)
- Material particulado, (MP)
- Compuestos orgánicos volátiles, VOC (principalmente hidrocarburos aromáticos B,T,X)

2.2. CONTAMINANTES SECUNDARIOS

- Ozono, O₃
- Ácido Sulfúrico, H₂SO₄
- Trióxido de azufre, SO₃
- Peroxiacilnitratos.
- Peróxido de hidrógeno, H₂O₂
- Radicales hidroxilo, OH

En la actualidad, se discute sobre considerar al dióxido de carbono como un contaminante; se considera que es uno de las principales causantes del efecto invernadero.

3. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

3.1. BASES GENERALES

Desde hace años atrás se han intentado determinar métodos, sistemas, índices o indicadores que reflejen del modo más comprensible posible la calidad del aire a través de su composición, de la presencia de agentes extraños o de de la concentración de éstos, o mediante los efectos sobre determinados componentes del medio.

Así surgieron primero en el medio industrial los indicadores químicos de contaminación atmosférica, que reflejaban (algunos de ellos) por su simple presencia, contaminación. Después se fue más allá y se determinó la concentración como factor para evaluar la gravedad de la situación.

Por otra parte y mucho después, se empezó a utilizar índices de contaminación atmosférica, y finalmente los indicadores biológicos y bioquímicos, utilizando básicamente receptores biológicos y bioquímicos muy sensibles, y muchos de ellos especializados.

3.2. INDICE DE CALIDAD ORAQUI

W. A. Thomas y otros (1971), mediante estudios realizados en el Oak Ridge Nacional Laboratory de USA, junto con la National Science Foundation, propusieron un índice sencillo, el ORAQUI⁽⁴⁾, mediante el que se controla la calidad del aire. El Oraqui, es útil para los contaminantes siguientes:

- CO
- SO₂ y derivados (óxidos)
- Oxidantes en general (incluidos en esta misma norma están los hidrocarburos, entre ellos el benceno, tolueno, xileno)
- Partículas sólidas
- NO₂ y derivados (óxidos)

Se fundamenta en las normas de calidad promulgadas por la EPA (1971 y posteriores), y se representa mediante la ecuación:

$$ORAQUI = \left[5.7 \sum \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \right]^{1.37} \quad \text{Ec. 3.2-1}$$

Donde:

- C_i = Concentración del contaminante i
 S_i = Norma EPA del contaminante i

El coeficiente 5.7 y el exponente 1.37 se utilizan para calibrar el índice, de modo que, en ambientes no contaminados, ORAQUI = 10, y en medios muy contaminados, puede pasar de 100, teniendo en cuenta el cuadro de normas, donde la concentración de fondo es la de ambientes no contaminados.

Tabla 3.2-1 Normas EPA de calidad de aire

Agente	Norma (24h)		Concentración, ppm*	
	µg/m ³	ppm	Fondo	Urbana
Oxidantes (OX)	59	0.03	0.02	0.03
Partículas Sólidas (PS)	150	---	37 µg/m ³	120 µg/m ³
SO _x	266	0.1	0.0002	0.05
NO ₂	400	0.2	0.001	0.04
CO	7800	7	0.1	7

(*) La concentración está dada en ppm para todos los casos, excepto para las partículas sólidas, que está dada en µg/m³.

4. INSPECCIÓN AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

4.1 SECTORIZACIÓN DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Con la ayuda de funcionarios de la Dirección de Medio Ambiente del M. I. Municipio de Guayaquil, se estableció en forma preliminar 80 puntos de muestreo en toda ciudad, tomando en cuenta los siguientes factores:

- Afluencia de vehículos
- Congestión de vías
- Presencia de industrias
- Ubicación de estaciones de servicio de combustibles

Los puntos definitivos de muestreo fueron establecidos mediante una inspección ambiental preliminar, la cual consistió en un recorrido breve por la mayoría de los puntos pre-establecidos, y realizando tanto una inspección visual como una medición de algunos gases contaminantes, entre ellos: monóxido de carbono, dióxido de azufre y ozono, además de material particulado.

4.2 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN AMBIENTAL

Las lecturas y toma de muestras en el lugar de inspección ambiental se realizaron observando los siguientes criterios:

- A una altura de 1.50 m. (altura de inmisión)
- El lugar no debe ser cerrado, que no exista la interferencia de construcciones, 20 m. a la redonda de ser posible.
- Debe encontrarse a 20 m de distancia de las fuentes de emisión.

El equipo realiza la inspección ambiental del lugar designado de acuerdo al cronograma, registrando en cada lugar las concentraciones de los contaminantes y las condiciones meteorológicas.

4.3. RESULTADOS

Tabla 4.3-1 Porcentaje de Vehículos que cumplen con la normativa tanto para HC y CO, según tipo de funcionamiento

FUNCIONAMIENTO	CUMPLE		NO CUMPLE	
	Número	%	Número	%
Inyección	101	81.45	23	0.19
Carburación	240	45.71	218	41.52

Tabla 4.3-2 Porcentaje de Vehículos que cumplen con la normativa solo para CO, según tipo de funcionamiento

FUNCIONAMIENTO	Cumple		No cumple	
	Numero	%	Numero	%
Inyección	110	88.71	14	11.29
Carburación	240	45.71	285	54.29

Tabla 4.3-3 Porcentaje de Vehículos que cumplen con la normativa solo para HC, según tipo de funcionamiento

FUNCIONAMIENTO	Cumple		No cumple	
	Numero	%	Numero	%
Inyección	101	81.45	23	18.55
Carburación	268	51.05	257	48.95

**Tabla 4.3-4 ÍNDICE ORAQUI DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL
(Primera Etapa)**

SITIO	FECHA	HORA	ÍNDICE ORAQUI
10 de Agosto y Malecón	15/12/2003	11:50	89
	16/12/2003	7:50	24
	17/12/2003	14:52	22
Aguirre y Pedro Carbo (El Correo)	15/12/2003	12:09	431
	16/12/2003	8:07	103
	17/12/2003	15:38	57
Universidad Laica	15/12/2003	12:30	11
	16/12/2003	8:35	5
	17/12/2003	16:05	7
Universidad de Guayaquil (F. de Odontología)	15/12/2003	12:50	61
	16/12/2003	8:52	14
	17/12/2003	16:26	3
Clínica Kennedy	15/12/2003	13:13	116
	16/12/2003	9:34	31
	17/12/2003	16:45	23
Hilton Colon	15/12/2003	14:03	9
	16/12/2003	10:05	17
	17/12/2003	17:07	4
Iglesia de La Alborada	15/12/2003	14:20	30
	16/12/2003	10:27	9
	17/12/2003	17:24	34
Terminal Terrestre	15/12/2003	14:42	42
	16/12/2003	10:47	5
	18/12/2003	7:57	6
Gasolinera de la Mobil (Base Naval Norte)	15/12/2003	15:02	1
	16/12/2003	11:06	1
	18/12/2003	8:20	9
Puente de La Unidad Nacional	15/12/2003	15:18	6
	16/12/2003	11:27	39
	18/12/2003	8:36	35
Coca Cola (Juan Tanca Marengo)	15/12/2003	15:45	34
	16/12/2003	11:54	13
	18/12/2003	9:13	132
Parque Industria Km. 10 Vía a Daule	15/12/2003	16:09	0
	16/12/2003	12:16	1
	18/12/2003	9:45	6
La Florida Km. 8 ½ Vía a Daule	15/12/2003	16:27	1
	16/12/2003	12:35	16
	18/12/2003	10:04	9

**Tabla 4.3-5 ÍNDICE ORAQUI DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL
(Segunda Etapa)**

SITIO	FECHA	HORA	ÍNDICE ORAQUI
Universidad Católica de Guayaquil	12/01/2004	11:20	3
	13/01/2004	7:57	2
	14/01/2004	13:57	1
Puente de La Portete Policía Judicial	12/01/2004	11:54	70
	13/01/2004	8:24	19
	14/01/2004	14:18	41
La 29 y Portete	12/01/2004	12:10	78
	13/01/2004	8:39	51
	14/01/2004	14:36	113
Tungurahua y Vélez	12/01/2004	12:37	144
	13/01/2004	9:04	26
	14/01/2004	15:02	56
25 de Julio y Pío Jaramillo	12/01/2004	13:03	63
	13/01/2004	9:44	38
	14/01/2004	15:26	20
Ernesto Albán y 25 de Julio	12/01/2004	13:42	65
	13/01/2004	10:19	16
	14/01/2004	15:41	17
25 de Julio y J. V. Trujillo	12/01/2004	13:58	49
	13/01/2004	10:36	46
	14/01/2004	15:56	13
Quito y Portete	12/01/2004	14:19	5
	13/01/2004	10:59	9
	14/01/2004	16:12	48
Quito y 10 de Agosto	12/01/2004	14:57	7
	13/01/2004	11:30	2
	14/01/2004	16:34	45
10 de Agosto y Boyacá	12/01/2004	15:13	7
	13/01/2004	11:58	24
	14/01/2004	16:54	154
Cinco Esquinas	12/01/2004	15:31	1
	13/01/2004	12:15	11
	14/01/2004	17:26	84
Rumichaca y Aguirre	12/01/2004	15:48	115
	13/01/2004	12:32	63
	14/01/2004	17:42	150

5. DISCUSIÓN

1. Dadas las múltiples variables que determinan la calidad del aire urbano, se consideró conveniente efectuar las siguientes inspecciones: cuantificación de contaminantes en el aire, caracterización de los gases de combustión de los escapes de vehículos y análisis de calidad de los combustibles que se distribuyen en Guayaquil.
2. El procedimiento seguido consistió de dos etapas; en la primera se monitorizó todos los sitios seleccionados, para identificar los lugares mas representativos que aseguren confiabilidad en los resultados, llegándose a definir que 25 eran los que debían darse mayor acuciosidad, debido al nivel de contaminación registrados y que fueron inspeccionados en la segunda etapa.
3. Los contaminantes analizados en el aire fueron: monóxido de carbono, CO; dióxido de azufre, SO₂; dióxido de nitrógeno, NO₂; compuestos orgánicos volátiles, VOC's; compuestos aromáticos: benceno, tolueno, xileno (BTX); límite de explosividad, LEL; ozono, O₃; material particulado, PM₁₀ y ruido. Todas estas determinaciones se efectuaron midiendo las condiciones meteorológicas imperantes durante el tiempo de análisis.
4. Las condiciones del aire al no permanecer constantes, debido a los efectos atmosféricos, flujo de vehicular y diferentes obras civiles en construcción, entre otras, hacen que la contaminación no permanezca estable; por tanto, la inspección se efectuó en tres horarios distintos durante el día, para de este modo tener resultados que reflejen el estado de la contaminación del aire urbano.

6. CONCLUSIONES

1. Los niveles de contaminación en la ciudad de Guayaquil no son uniformes, pues varían dependiendo del sector; como se puede apreciar con el índice de calidad del aire Oraqui.
2. Los índices de calidad de aire no permanecen constantes porque las emisiones gaseosas son función de múltiples variables, tales como flujo vehicular, condiciones atmosféricas, período del día, lo cual hace que el mencionado índice cambie permanentemente.
3. Es conveniente puntualizar que durante el período en el que se realizó esta investigación, varios sectores, en especial el céntrico se encontraban en procesos de reparación de avenidas y calles, lo que agravó aun más la contaminación propia del sector. Esto obliga a que cuando dichos trabajos concluyan se haga una nueva monitorización para tener datos mas representativos de la nueva situación.
4. Los máximos valores de concentraciones de contaminantes corresponden a los períodos de mayor congestión del tránsito, debido a que la parada y arranque a que son sometidos los vehículos hacen que se generen y acumulen en mayor grado Las emisiones.
5. Las características urbanísticas y geográficas de la ciudad de Guayaquil, facilitan la dispersión de los contaminantes al no presentar las denominadas zonas o puntos muertos donde se produce la acumulación y confinamiento de los mismos.

7. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Municipio de Guayaquil, Dirección de Medio Ambiente, Informe Técnico Interno, Guayaquil, 2001
2. Stocker H. S. y S. L. Seager, Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua, Trad. del inglés, Primera edición, Barcelona, Blume, 1981, p. 12
3. IBID, p.14.
4. Seoáñez C., Tratado de la Contaminación Atmosférica, Sin Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2002, p. 846.