

UNA
UNIVERSIDAD NACIONAL
COSTA RICA



Informe Calidad del Aire

2 AREA METROPOLITANA

COSTA RICA: 2009

Segundo Informe de Calidad del Aire del Área Metropolitana de Costa Rica: 2009

DIRECTORIO

Dra. María Luisa Ávila Agüero
Ministra de Salud

Ing. Teófilo de la Torre Argüello
Ministro de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones

MSc. Francisco Jiménez Reyes
Ministro de Obras Públicas y Transportes

Licda. Sandra León Coto
Rectora Universidad Nacional

Ing. Johnny Araya Monge
Alcalde Municipalidad de San José

COORDINADOR DEL INFORME:

Dr. Jorge Herrera Murillo
Coordinador
Laboratorio de Análisis Ambiental
UNIVERSIDAD NACIONAL

INVESTIGADORES PARTICIPANTES:

Licda. Susana Rodríguez Román
Lic. José Félix Rojas Marín
BQ. María del Carmen Chávez Villalobos
Laboratorio de Análisis Ambiental
UNIVERSIDAD NACIONAL

INSTITUCIONES PARTICIPANTES:

Departamento de Gestión Ambiental, Municipalidad de San José
Oficina del Ambiente, Municipalidad de Belén
Dirección de Gestión de la Calidad Ambiental (DIGECA), Ministerio de
Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
Ministerio de Salud
Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Presentación

El Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, la Municipalidad de San José y la Universidad Nacional concientes de su responsabilidad de garantizar a los habitantes del Área Metropolitana del país su derecho a gozar de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, han conformado una comisión de trabajo interinstitucional cuyo objetivo primordial es el de coordinar y potenciar los esfuerzos ejecutados en el país, en materia de gestión de calidad del aire.

Como parte de las actividades desarrolladas, en los últimos años, se ha liderado la instrumentación de programas para reducir la concentración de los contaminantes en el aire ambiente, en donde se incluyen las tareas no sólo de vigilancia del estado de la calidad del aire, sino también la de mantener permanentemente informada a la población sobre su condición y los riesgos de su deterioro. Este trabajo de monitoreo sin duda contribuye a la protección de la salud pública, a garantizar el derecho a la información, a evaluar el avance de las políticas de gestión y a conocer más sobre el origen y las causas del problema de la contaminación atmosférica.

Es por esto que nos complace presentar el Informe 2009 de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Costa Rica. En él encontrarán información sobre la situación actual de la calidad del aire, el nivel de cumplimiento de la normatividad nacional e internacional, las tendencias actualizadas de los principales contaminantes del aire e información detallada sobre las causas e impacto de la contaminación en el área metropolitana del país

Dr. Jorge Herrera Murillo
UNIVERSIDAD NACIONAL

Índice

	Página
PRESENTACION	5
INDICE	6
GLOSARIO	7
ANTECEDENTES	9
RESULTADOS DE MONITOREO: 2009	15
CONCLUSIONES	40
ACCIONES EJECUTADAS POR LAS INSTITUCIONES EN MATERIA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE	41
BIBLIOGRAFIA	43

Glosario

AEROSOL MARINO	Sustancia sólida o líquida que permanece suspendida en los gases de la atmósfera y tiene la misma composición del agua de mar (agua y cloruro sódico, sales de magnesio, calcio, potasio y sulfatos).
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	Se refiere a todos aquellos hidrocarburos que se encuentran en forma de gas o vapor a las condiciones ambientales de Costa Rica. Se producen durante la quema parcial de los combustibles fósiles, durante los incendios forestales y de la evaporación de solventes y combustibles. Las plantas pueden producir también este tipo de hidrocarburos y a estos se les denomina como biogénicos. Los COV al mezclarse con otros contaminantes atmosféricos forman el <i>smog</i> fotoquímico.
DIFUSION	Es el proceso por el cual el oxígeno se desplaza de los alvéolos a la sangre a través de pequeños vasos sanguíneos (capilares) que recubren las paredes alveolares. Una vez en la sangre, la hemoglobina realiza el transporte de oxígeno.
EFFECTOS AGUDOS	Se refiere a los efectos en la salud provocados por la exposición de corta duración a altas concentraciones de un contaminante.
EFFECTOS CRONICOS	Se refiere a los efectos en la salud provocados por la exposición de larga duración a concentraciones moderadas de un contaminante.
EMISIONES ANTROPOGÉNICAS	Se refieren a las emisiones contaminantes producidas por cualquier actividad realizada por y para el ser humano.
MORBILIDAD	Tasa de enfermedades o de discapacidad, por lo general expresada por cada 1000 habitantes.
MORTALIDAD	Tasa de defunciones por cantidad de población, por lo

general expresada por cada 1000 habitantes.

OXIDACION

Reacción química en la que una sustancia se combina con oxígeno. En contaminación atmosférica, un ejemplo de ello es la formación de contaminantes secundarios que se producen como consecuencia de las reacciones físicas y químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera.

RADICAL HIDROXILO

Es la forma neutra del ion hidroxilo (OH^-), se forma en la atmósfera de la reacción entre el oxígeno atómico con el agua. Es una molécula fundamental en muchas de las reacciones que ocurren en la atmósfera, por ejemplo en la producción de ozono y de otros contaminantes secundarios.

Antecedentes

En los últimos 15 años se ha producido un avance en la investigación científica sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud y en la actualidad es ampliamente aceptado que la exposición a la contaminación del aire urbano está asociada con una amplia gama de efectos agudos y crónicos, que van desde leves perturbaciones fisiológicas hasta la muerte prematura por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Cohen *et al.*,2004).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que a nivel mundial alrededor de 1500 millones de personas viven en áreas con niveles peligrosamente elevados de contaminación del aire (Chelala, 1999). Más de dos millones de muertes prematuras se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados, y más de la mitad ocurre en poblaciones de países en desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2006a). Dependiendo de la edad, género, estado de salud, condición física y nivel socioeconómico, los efectos negativos de la contaminación del aire en la salud humana pueden ser evidentes o asintomáticos, aún en condiciones en las que aparentemente no existen molestias puede existir un daño subclínico. La evidencia científica indica que los aumentos menores de algunos contaminantes pueden provocar incrementos pequeños, pero cuantificables, en las visitas a salas de emergencia, en admisiones hospitalarias y casos de muerte (Organización Mundial de la Salud, 2006b).

Cada contaminante en la atmósfera debe ser medido de manera apropiada, de forma que se produzcan resultados ciertos y reproducibles, y para ello se han desarrollado técnicas y aparatos o equipos de medición idóneos que permiten determinar la evolución de los contaminantes tanto temporal como espacialmente y así poder evaluar los niveles de exposición de la población. Los resultados obtenidos del monitoreo de la contaminación del aire deben ser comparados con valores criterio o normas establecidas de acuerdo con estudios toxicológicos, con el fin de poder generar un dictamen sobre la calidad del aire de una determinada región.

En Costa Rica, existe el Decreto 30221-SALUD “**Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos**”, publicado el 21 de marzo de 2002 en el alcance

25 del Diario Oficial La Gaceta, el cual contiene las normas nacionales de calidad del aire. Dichas normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no debieran sobrepasarse, para que pueda garantizarse que se protege adecuadamente la salud de la población, inclusive la de los grupos más susceptibles como los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias crónicas, entre otros. Estas normas fueron elaboradas por el Ministerio de Salud con la participación de representantes de la academia, de los sectores productivos y otras instituciones de gobierno.

Algunos de los contaminantes incluidos en dicha norma y otros monitoreados en el Área Metropolitana de Costa Rica, se describen a continuación:

1. Dióxido de Nitrógeno (NO₂):

Los óxidos de nitrógeno incluyen varias especies que contienen oxígeno y nitrógeno, sin embargo, desde el punto de vista de la salud humana el dióxido de nitrógeno es el más importante. El dióxido de nitrógeno es un fuerte oxidante y reacciona fácilmente con el agua para formar ácido nítrico y óxido nítrico. Este contaminante se produce durante la combustión pero en menores cantidades que el monóxido de nitrógeno (óxido nítrico), la mayor parte del dióxido de nitrógeno se genera por la oxidación del monóxido de nitrógeno en presencia de radicales orgánicos (Finlayson-Pitts y Pitts, 1986). En la tropósfera, este contaminante juega un papel importante en la producción fotoquímica del ozono y su presencia regula las concentraciones de ozono durante el día.

Además de los efectos que produce en la salud, el dióxido de nitrógeno puede absorber parte de la radiación solar y junto con las partículas suspendidas es responsable de la disminución de la visibilidad, es precursor de la lluvia ácida y también juega un papel importante en el cambio climático global. Junto con el óxido nítrico es un regulador de las capacidades oxidativas en la tropósfera al controlar el desarrollo y destino de los radicales, incluyendo el radical hidroxilo.

La principal ruta de exposición en los seres humanos es durante la respiración. Una gran parte del dióxido de nitrógeno se remueve en la nasofaringe, sin embargo, durante la realización de ejercicio puede alcanzar regiones más bajas del sistema respiratorio.

Algunos estudios han demostrado que el dióxido de nitrógeno o algunos de sus derivados químicos, pueden permanecer dentro de los pulmones por períodos prolongados de tiempo. Se ha observado también la presencia de óxido nítrico y

nitroso o sus sales en la sangre u orina después de una exposición al dióxido de nitrógeno. En varios estudios experimentales de toxicología humana de corta duración, se han observado efectos agudos tras la exposición a concentraciones de dióxido de nitrógeno mayores a $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.339 ppm) durante una hora. El nivel más bajo de exposición a dióxido de nitrógeno que ha mostrado un efecto directo en la función pulmonar de los asmáticos es de $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.380 ppm), no obstante, los estudios realizados sobre la capacidad de respuesta bronquial en los asmáticos parecen indicar que aumenta con niveles superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente a 0.136 ppm (Organización Mundial de la Salud, 2006b).

2. Partículas Suspendidas:

Las partículas suspendidas son una mezcla compleja de componentes con diversas características químicas y físicas. Esta complejidad junto con la potencialidad que tienen para causar daños varía con el tamaño, composición, fuentes y características físicas. Las partículas se presentan en el aire ambiente en una gran variedad de formas, tamaños, origen y composición. Las partículas más grandes pueden permanecer en suspensión algunos minutos y recorrer distancias cortas, mientras que las más pequeñas permanecen en suspensión por períodos de días hasta semanas y pueden recorrer grandes distancias.

Las partículas pueden ser emitidas directamente por las fuentes de emisión o producirse de la transformación de gases y vapores en el aire ambiente.

Las partículas originadas por el polvo del suelo, las generadas por los procesos de trituración y las emitidas en el humo de los escapes, se conocen como partículas primarias. Las partículas producidas por transformaciones químicas en la atmósfera se conocen como partículas secundarias. La inhalación de las partículas suspendidas puede provocar diferentes daños en la salud de la población expuesta. Varios estudios epidemiológicos asocian a las partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) con daños que incluyen la mortalidad prematura, problemas respiratorios crónicos, visitas a salas de emergencia y admisiones hospitalarias, agravación del asma, síntomas respiratorios agudos y una disminución en la función pulmonar. Al igual que en el caso de otros contaminantes criterio, los grupos más afectados son los adultos mayores, los niños y las personas con enfermedades previas. Los adultos mayores son más sensibles a los daños por las partículas porque sus reservas fisiológicas han disminuido con la edad y tienen una mayor incidencia de condiciones

cardiorespiratorias, mientras que en los niños el sistema respiratorio se encuentra en desarrollo y permanecen más tiempo en exteriores.

Los individuos con problemas cardíacos, respiratorios y los asmáticos son más sensibles a los daños por las partículas. Las partículas más pequeñas representan un mayor riesgo para la población, ya que su tamaño permite que penetren fácilmente hasta regiones profundas en el tracto respiratorio y contienen una gran proporción de metales tóxicos, compuestos orgánicos de gran toxicidad y ácidos.

Una gran cantidad de estudios han demostrado la asociación entre la morbilidad y mortalidad diaria y la contaminación atmosférica por partículas suspendidas, incluyendo exacerbaciones de asma, incremento en los síntomas respiratorios y cardíacos, decremento en la función pulmonar, incremento en el uso de medicamentos e incremento en la admisión hospitalaria. Se ha reportado que incluso a bajas concentraciones se pueden incrementar los riesgos de bronquitis y otras enfermedades respiratorias. Sintomatología como tos crónica, bronquitis y otras enfermedades pulmonares podría estar asociada al incremento de los niveles de partículas suspendidas y muy específicamente de las partículas menores a 2.5 micrómetros (Cortez, 2002). Múltiples estudios realizados en Europa (29 ciudades) y en los Estados Unidos (20 ciudades) notificaron efectos de mortalidad a corto plazo de 0.62 y 0.46%, respectivamente, por exposición a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} como media de 24 horas.

3. Carbonilos:

Los compuestos carbonílicos se encuentran presentes en la atmósfera urbana, ya que son emitidos directamente de la combustión incompleta de biomasa y combustibles fósiles; y formados indirectamente por la foto-oxidación atmosférica de compuestos orgánicos volátiles (COV's) emitidos por fuentes antropogénicas y naturales. Los carbonilos juegan un papel vital en la fotoquímica atmosférica ya que son casi intermediarios obligatorios de la foto-oxidación de hidrocarburos. También los carbonilos están involucrados en reacciones secundarias que contribuyen a la producción de ozono y peróxidos en el ambiente. La presencia de estos compuestos en la atmósfera pueden darse tanto como gases o aerosoles o una mezcla de ambos, la cuál se ve afectada por las condiciones climatológicas, principalmente por la deposición húmeda ya que muchos de estos compuestos son solubles en agua.

Los carbonilos son contaminantes atmosféricos que pueden ser producidos de forma primaria y secundaria. En la forma primaria se refiere a la emisión directa de estos compuestos por fuentes móviles y fijas, y de forma secundaria es través de reacciones secundarias que ocurren en la atmósfera.

Entre las principales fuentes primarias tenemos (USEPA, 1999):

- Emisiones biogénicas: los bosques son importantes emisores de algunos aldehídos. Algunos aldehídos olefínicos y aromáticos están presentes en algunos aceites esenciales de plantas y frutas. Sin embargo no se considera importante su contribución de carbonilos a la contaminación atmosférica de forma directa.
- Emisiones industriales: varios aldehídos son comercialmente manufacturados a través de reacciones de oxidación de hidrocarburos, hidroformulación de alquenos, deshidrogenación de alcoholes y reacciones de adición entre aldehídos y otros compuestos. Se utilizan principalmente como materia prima para la preparación de hules, papel, perfumes procesos de teñido, en la industria alimentaria y como intermediario en la síntesis orgánica de compuestos orgánicos como alcoholes, ácidos carboxílicos, tintes y medicamentos.
- Emisiones móviles: las emisiones de la combustión de los motores de los vehículos se consideran como la principal fuente antropogénica, en particular de formaldehído que es el carbonilo más común presente en la atmósfera.

La principal fuente secundaria son las reacciones atmosféricas a través de complejos mecanismos de foto-oxidación que involucran compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno. Tanto las emisiones biogénicas como las antropogénicas de hidrocarburos conllevan a la formación *in situ* de carbonilos (USEPA, 1999).

El mecanismo completo de foto-oxidación es muy complejo y no está del todo claro, sin embargo este se basa en el hecho de que cuando los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno están en la atmósfera y son irradiados por la luz solar, se perturba su equilibrio en el estado foto-estacionario. Este estado se define como el equilibrio entre dióxido de nitrógeno (NO_2), óxido nítrico (NO) y ozono (O_3). Este equilibrio se mantiene teóricamente hasta que compuestos orgánicos volátiles (entre ellos aldehídos y cetonas) son introducidos en la atmósfera, ya que estos reaccionan con el radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), generado en

reacciones secundarias, y producen los radicales RO_2 que oxidan el NO a NO_2 destruyendo el estado foto-estacionario. Los carbonilos también reaccionan con el OH· produciendo más radicales RO_2 , lo cual lleva a los siguientes eventos:

- Acumulación de ozono.
- Oxidación de hidrocarburos a aldehídos y cetonas, lo cual continúa la producción radicales HO_2^* y OH^* (precursores del *smog* fotoquímico).

Debido a lo anterior, es importante monitorear la presencia de aldehídos y cetonas en el ambiente por su importante rol como generadores del *smog* fotoquímico y productores de radicales libres lo cual lleva a la generación de otros contaminantes secundarios.

Los compuestos carbonílicos son tóxicos y los efectos tóxicos más observados son irritación de la piel, ojos y membranas nasofarinjales, además de irritación pulmonar. Sin embargo la razón más importante de su estudio es que algunos (como formaldehído y acroleína) se sospecha que presentan efectos cancerígenos y por lo tanto su presencia en el ambiente es de gran preocupación sobre la salud humana especialmente en ciudades altamente pobladas (Baez et al., 1995). Varios estudios en animales indican que la exposición a altas concentraciones puede dañar los pulmones y otros órganos del cuerpo; además de olores desagradables. Adicionalmente los aldehídos pueden ocasionar daños a la vegetación (USEPA, 1999).

Resultados del monitoreo: 2009

1. Partículas PM₁₀:

1.1. Metodología:

1.1.1. Se seleccionaron cinco sitios de medición localizados de acuerdo con lo indicado en el cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución de los sitios de monitoreo de partículas PM₁₀ en el Área Metropolitana de Costa Rica

Código del sitio	Provincia	Cantón	Representatividad	Frecuencia de recolección de muestras
CAT-SJ	San José	Central	Zona comercial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
JE-SJ	San José	Central	Transición zona comercial-zona residencial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
REC-HE	Heredia	Central	Zona Comercial de alto flujo vehicular	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
RIB-BE	Heredia	Belén	Zona Residencial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
AS-BE	Heredia	Belén	Zona Industrial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)

1.1.2. Para la colección de las muestras se utilizaron cinco muestreadores de aire de alto volumen marca Thermo Andersen modelo MFC, en donde el aire ambiente es aspirado en forma simétrica (independientemente de la dirección del viento), durante (24 ± 1) h a una velocidad de $(1,13 \pm 10\%)$ m^3min^{-1} .

1.1.3. Una vez cada tres muestreos, se realizó una curva de calibración del flujo de cada uno de los muestreadores de aire comparando las lecturas de caída de presión generadas por el flujo al pasar por un orificio crítico calibrado VARIFLO modelo 454, con respecto a las indicaciones del equipo.

1.1.4. En la colección de las partículas, se utilizaron filtros de fibra de vidrio marca Whatman CAT No 1829-932 dos veces por semana y filtros de cuarzo

Whatman CAT 1851-865, para el análisis posterior de metales en al menos una ocasión a la semana.

1.1.5. De cada uno de los filtros se cortó una tira de 2,54 cm de ancho y 23,0 cm de largo, la cual se colocó en un beaker de 150 ml y se extrajo con agua desionizada utilizando un baño ultrasónico temperado a 35°C durante 60 minutos. El extracto obtenido se trasvasó cuantitativamente a un balón aforado de 100 ml. El análisis de las especies iónicas (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) se realizó mediante cromatografía de intercambio iónico microbore con supresión empleando un equipo marca DIONEX ICS-3000 equipado con una bomba cuaternaria.

1.1.6. Solamente de los filtros de cuarzo, se cortó una tira de 2,54 cm de ancho y 23,0 cm de largo, la cual se colocó en un beaker de 150 ml al cual se le agregaron 25 ml de agua desionizada y 2,5 ml de ácido nítrico concentrado. Las muestras se llevaron hasta casi sequedad en una plantilla de calentamiento y el remanente se trasvasó cuantitativamente a un balón aforado de 25,00 ml. El análisis de los metales (V, Cr, Cu, Mn, Fe, Al, Pb, Ni) se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito empleando un equipo marca PERKIN ELMER AANALYST 700, provisto de automuestreador. El análisis de Ca, Mg, Na y K se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica por llama.

1.2. Valor normado en el decreto 30221-S para partículas PM_{10} :

Promedio Anual: $50 \mu g/m^3$

Promedio 24 horas: $150 \mu g/m^3$

1.3. Resultados del monitoreo:

Cuadro 2. Promedios anuales de partículas PM_{10} registrados en los sitios de monitoreo ubicados en el Área Metropolitana de Costa Rica, año 2009.

	CAT-SJ	JE-SJ	REC-HE	RIB-BE	AS-BE
Promedio Anual ($\mu g/m^3$)	27	28	40	38	51
Desviación Estándar ($\mu g/m^3$)	9,0	7,8	18	12	11
Valor máximo registrado en 24 horas ($\mu g/m^3$)	73	59	78	95	68

Cuadro 3. Resultados de la caracterización química (iones y metales) de las partículas PM_{10} colectadas en los sitios de monitoreo ubicados en el Área Metropolitana de Costa Rica, año 2009.

Concentración (μgm^{-3})	SAN JOSE			HEREDIA		Promedio
	CAT-SJ	JE-SJ	REC-HE	AS-BE	RIB-BE	
PM ₁₀	27 ± 9	28 ± 8	40 ± 18	51 ± 11	38 ± 12	37
F ⁻	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,11 ± 0,04	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,05	0,10
Cl ⁻	1,24 ± 0,58	1,19 ± 0,56	1,77 ± 1,47	1,19 ± 0,55	1,06 ± 0,50	1,29
NO ₃ ⁻	0,95 ± 0,37	0,90 ± 0,32	0,88 ± 0,27	0,88 ± 0,26	0,84 ± 0,23	0,89
NO ₂ ⁻	0,14 ± 0,03	0,16 ± 0,06	0,17 ± 0,06	0,15 ± 0,03	0,69 ± 0,20	0,26
PO ₄ ⁻³	0,50 ± 0,14	0,54 ± 0,15	0,50 ± 0,17	0,43 ± 0,14	0,43 ± 0,20	0,48
SO ₄ ⁻²	3,01 ± 1,50	3,03 ± 1,52	2,64 ± 1,11	3,22 ± 0,99	3,03 ± 0,94	2,99
Na ⁺	0,62 ± 0,26	0,57 ± 0,20	1,29 ± 0,40	1,49 ± 0,28	1,11 ± 0,40	1,02
K ⁺	0,14 ± 0,07	0,13 ± 0,06	0,15 ± 0,03	0,30 ± 0,14	0,20 ± 0,06	0,18
Mg ⁺²	0,10 ± 0,08	0,07 ± 0,04	0,10 ± 0,05	0,19 ± 0,06	0,11 ± 0,04	0,11
Ca ⁺²	0,22 ± 0,09	0,21 ± 0,11	0,24 ± 0,11	0,37 ± 0,13	0,25 ± 0,12	0,26
Metales (ngm⁻³)						
V	5,0 ± 4,7	5,2 ± 4,9	3,8 ± 0,9	14,6 ± 5,3	9,7 ± 6,1	7,7
Pb	4,2 ± 4,1	6,2 ± 5,9	5,8 ± 4,2	7,4 ± 4,3	5,6 ± 7,1	5,8
Cr	10,1 ± 6,5	11,0 ± 6,3	8,8 ± 2,9	35 ± 14	28 ± 17	18,6
Cu	13,4 ± 3,5	11,8 ± 4,8	51 ± 47	82 ± 20	43 ± 23	40,2
Ni	1,20 ± 0,80	1,20 ± 0,85	1,37 ± 0,38	7,2 ± 2,5	5,9 ± 4,6	3,4
Mn	25 ± 9	23 ± 8	101 ± 43	49 ± 21	50 ± 47	50
Al	178 ± 129	174 ± 104	302 ± 173	817 ± 211	424 ± 174	588
Fe	329 ± 179	340 ± 96	370 ± 121	714 ± 203	459 ± 187	442

El valor reportado con el signo ± corresponde a la desviación estándar de los datos

Para los sitios de muestreo, los aniones predominantes resultaron ser el SO₄⁻² y el Cl⁻, seguidos del NO₃⁻ y PO₄⁻³. En el caso de los metales, el Na, Fe y Al, mostraron las concentraciones mayores en las partículas PM₁₀, mientras que el Ni y el Pb fueron las especies menos abundantes.

1.4. Análisis de resultados:

1.4.1. Tendencias:

Al analizar la tendencia registrada por los datos de partículas PM_{10} para los cinco sitios de monitoreo en los últimos tres años (2007-2009) se puede observar que se presenta una marcada tendencia al descenso en todos los sitios de medición (figura1).

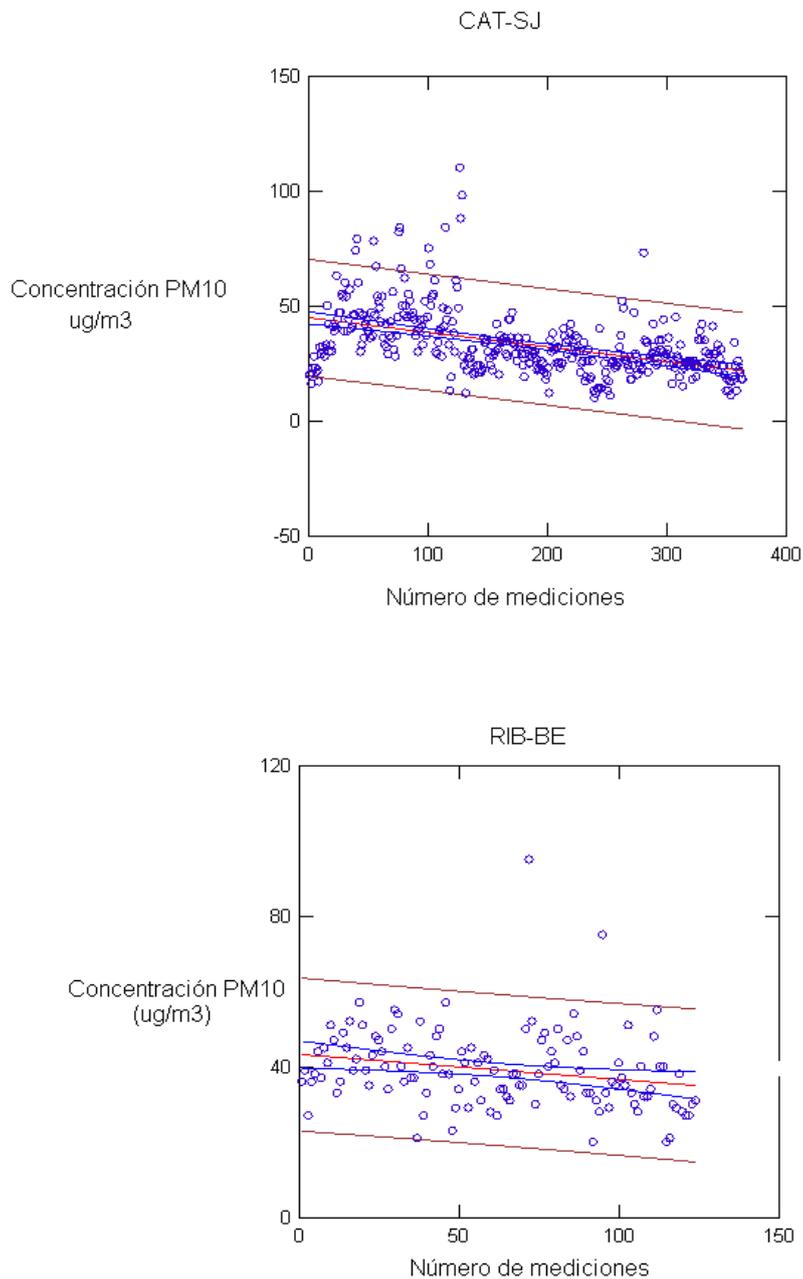


Figura 1. Tendencia de los valores de PM_{10} registrados para las estaciones CAT-SJ y RIB-BE, años 2007-2009.

De esta forma se presentan tasas de disminución que varían desde 6,3% anual para el caso de CAT-SJ (cuadro 4) y 6,6% para RIB-BE hasta un 14,3% anual

para REC-HE ubicado en la ciudad de Heredia. Este descenso en los niveles de partículas pudiera deberse a la disminución sostenida del contenido de azufre en el diesel (2500 a 500 ppm) ejecutado por la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), el cual se encuentra directamente relacionado con las emisiones de partículas en fuentes móviles, especialmente de autobuses y vehículos de carga pesada.

Cuadro 4. Variación de los promedios anuales de la concentración de PM₁₀ (µg/m³) en los dos sitios de muestreo ubicados en la Ciudad de San José, 2004-2009.

	Catedral Metropolitana						Junta de Educación					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	46	41	33	44	29	27	26	28	26	30	26	28
Máximo	66	51	41	53	37	73	32	40	32	37	32	59
Mínimo	31	31	27	22	23	11	18	21	18	20	21	11
s	12	7	4	9	5	9	5	6	4	5	4	8

A pesar de que se ha reducido el contenido de azufre en diesel a partir del año 2008, si se analiza la evolución de la relación de masa entre $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (figura2),

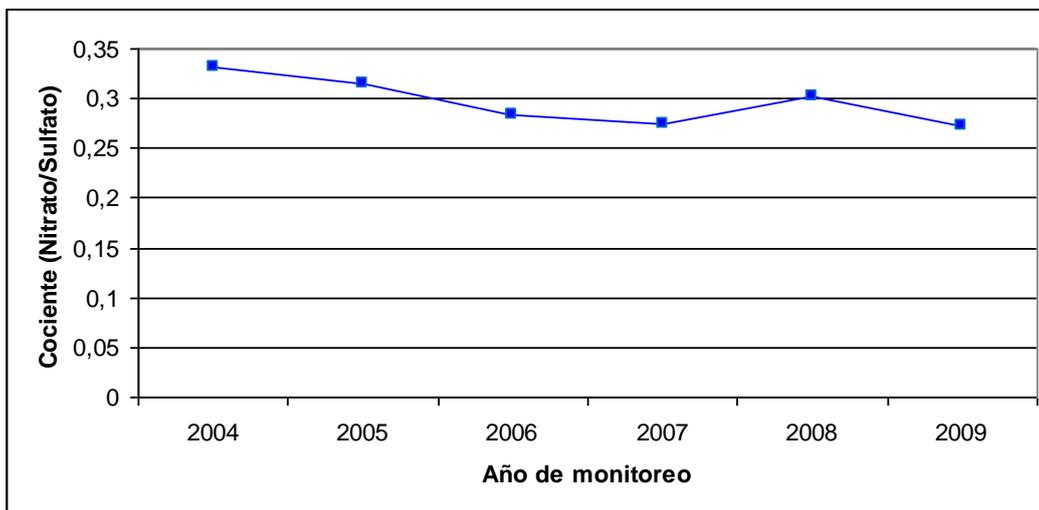


Figura 2. Evolución del cociente $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ presente en las partículas PM colectadas en el sitio de monitoreo JE-SJ (2004-2009)

la cual ha sido utilizada como un indicador de la importancia relativa de fuentes móviles versus fuentes estacionarias en el origen tanto del N como del S presente en la atmósfera (Arimoto et al., 1996; Yao et al., 2002; Xiao and Liu, 2004), se puede observar que esta presenta una tendencia a la baja, reforzando la importancia de las emisiones de SO₂ provenientes de fuentes estacionarias.

1.4.2. Contribución del aerosol marino:

El patrón de vientos predominantes en el Área Metropolitana de Costa Rica favorece el transporte de masas de aire desde los océanos hasta la meseta central, debido a lo anterior es sumamente importante estimar el aporte del aerosol marino a la composición química de las partículas. Basado en la relación de masa de los iones con respecto al Na, el componente debido al aerosol marino se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Duce et al., 1983):

$$[X]_{nam} = Mx - [X/Na]_{am} M_{Na}$$

donde la expresión $[X/Na]_{am}$ denota la relación de masa del ion X con respecto al Na⁺ en el agua de mar, M_x y M_{Na} la concentración del ion X y del Na⁺ en las partículas PM₁₀. De acuerdo con Berg y Winchester (1978), la relación de masa de las siguientes especies: SO₄⁻², K, Mg y Ca con respecto al Na en agua de mar es de 0,25, 0,037, 0,12 y 0,038 respectivamente. La diferencia entre la concentración del ion presente en las partículas y el componente debido a la contribución marina, corresponde a la fracción originada por fuentes diferentes al aerosol marino $[X]_{nam}$. La figura 3 muestra la distribución, tanto de la fracción debida al aerosol marino como la atribuida a otras fuentes. Si se analiza el caso del SO₄⁻², se puede apreciar que aproximadamente el 81% de la concentración másica de este ion tiene un origen distinto al aerosol marino; en el caso del K⁺ y el Ca⁺² esta fracción representa como mínimo el 90% en los diferentes sitios de muestreo. Sobre el continente, la fracción de SO₄⁻² que no proviene del aerosol marino constituye un trazador de actividades antropogénicas y de quema de combustibles fósiles, el K_{nam} se origina mayoritariamente por quema de biomasa mientras que el Ca_{nam} tiene un origen predominantemente crustal.

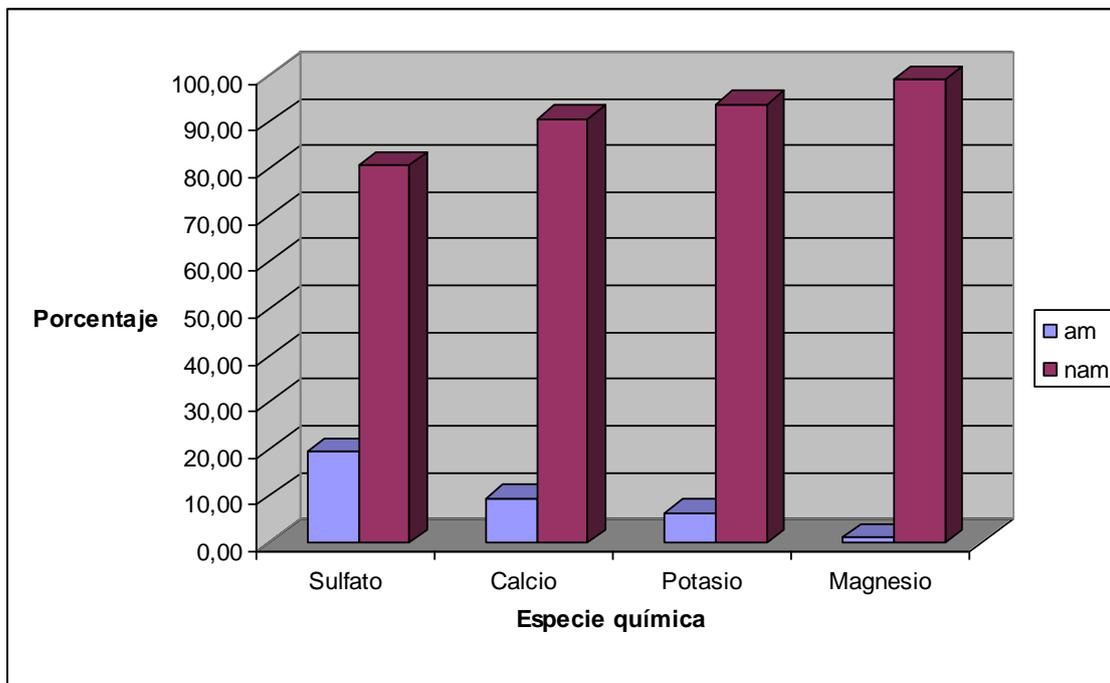


Figura 3. Contribución del aerosol marino a la composición química de las partículas colectadas en los cinco sitios de monitoreo ubicados en el área metropolitana de Costa Rica, 2009

1.4.3. Factores de enriquecimiento para especies metálicas:

Las relaciones elementales en muestras de aerosoles pueden proporcionar información importante para entender su posible origen. De esta forma, los factores de enriquecimiento de los elementos presentes en esta matriz, con respecto a la concentración existente en el material crustal, se suelen calcular con el fin de identificar las posibles fuentes y la contribución de las emisiones antropogénicas a los niveles de metales en las partículas PM_{10} (Duce et al., 1975). Si el valor del factor de enriquecimiento es cercano a la unidad, el elemento presenta un origen predominantemente crustal. Sin embargo, debido a las diferencias existentes entre la composición crustal en las distintas regiones del planeta, los valores de factor de enriquecimiento comprendidos entre 1-10, se consideran de origen natural.

Elementos como el Al, Si, Ti, Fe se usan comúnmente como elemento de referencia para el cálculo de los factores, debido a que son muy abundantes en el material crustal y no son significativamente afectados por la contaminación. En el presente estudio, para estimar dichos factores se utilizó como referencia el Fe y la concentración crustal continental superior se tomó de Taylor y McLennan (1985).

El factor de enriquecimiento de un elemento FE en una muestra de aerosol, se define como:

$$FE = (E/R) \text{ Aire} / (E/R) \text{ suelo}$$

donde R es el elemento de referencia.

Los valores de factores de enriquecimiento calculados a partir de los datos de concentración de metales, presentes en las partículas colectadas en el área metropolitana de Costa Rica, se muestran en el cuadro 5 y siguen la siguiente secuencia: Pb > Cu > V > Mn > Ni > Fe > Al > Cr para el caso de los sitios ubicados en la ciudad de San José, mientras que para los sitios de Heredia y Belén el Cu presenta factores de enriquecimientos mayores a los registrados para San José.

Cuadro 5. Factores de enriquecimiento para las concentraciones de especies metálicas obtenidas en los sitios de muestreo de partículas PM₁₀ ubicados en el Área Metropolitana de Costa Rica, 2009.

Sitio de muestreo	V	Pb	Cr	Cu	Ni	Mn	Al
CAT-SJ	5,4	84,6	0,5	40,5	2,9	3,4	0,7
JE-SJ	7,6	139,9	0,6	51,4	4,2	4,2	0,4
REC-HE	2,3	51,2	6,1	73,4	2,2	13,2	0,5
RIB-BE	10,8	44	11,5	59,4	8,4	5,4	0,6
AS-BE	6,8	22	10,5	135	2,5	3,4	0,7

El Pb y Cu presentan valores de FE en el rango de 10-1000 lo que indica que la concentración de estos elementos en las partículas es enriquecida por fuentes que no son de origen crustal tales como: combustión de hidrocarburos fósiles, tráfico vehicular, emisiones de industrias metalmeccánicas, etc. Para el resto de los metales, los FE resultaron ser pequeños, situación que pudiera deberse a que la composición media de los suelos en Costa Rica fuese diferente a la media universal utilizada para el cálculo de los factores, por lo que no se puede descartar la contribución antropogénica.

1.4.4. Variación Temporal:

Si se estudia la variación estacional de la composición de las partículas PM_{10} (cuadro 6), para los sitios de monitoreo, la concentración de PM_{10} resulta ser significativamente menor en época seca, lo anterior debido al hecho de que durante estos meses, la velocidad promedio de los vientos en el área metropolitana aumenta como producto del incremento de los vientos alisios procedentes del Mar Caribe, situación que causa un ascenso en el potencial de remoción de contaminantes en la zona de estudio. Durante la época lluviosa, los vientos alisios disminuyen su intensidad, y permiten el ingreso al área metropolitana de brisas del Pacífico (responsables de la generación de lluvias), causando un descenso en la velocidad del viento cercano al 42% con respecto a la época seca, desfavoreciendo el transporte de contaminantes a otras regiones.

Las especies químicas que tienen un origen que puede ser razonablemente atribuido al efecto del aerosol marino (Na y Cl), poseen una fuerte correlación positiva con la velocidad del viento ocurrida durante el muestreo, tal como se muestra en el cuadro 7. La concentración de estas especies disminuye al descender la velocidad de las corrientes de aire, responsables del arrastre de aerosol marino. Para la mayoría de las especies metálicas analizadas, el comportamiento es inverso debido a que al descender la velocidad de las masas de aire que ingresan al Área Metropolitana, disminuye la capacidad de remover los contaminantes generados en los principales centros urbanos del país.

Cuadro 6. Concentración promedio de metales e iones inorgánicos presentes en las partículas PM₁₀ obtenidas, durante la época lluviosa (mayo-noviembre 2009) y seca (enero-abril 2009), para los sitios de monitoreo.

Concentración (µg/m ³)	CAT-SJ		REC-HE		RIB-BE	
	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa
PM ₁₀	24	32	27	47	31	38
Cl ⁻	1,45	0,83	1,45	1,45	1,53	1,02
NO ₃ ⁻	0,88	1,07	0,88	0,88	0,82	0,85
SO ₄ ²⁻	3,68	3,05	3,68	3,68	2,07	3,45
Metales (ng/m³)						
V	4,4	5,9	1,1	2,1	5,4	11,7
Pb	0,9	5,0	4,2	6,7	4,2	6,3
Cr	7,1	12,3	9,8	7,4	6,9	23,5
Ni	0,63	1,52	1,3	1,4	6,9	5,4
K	106	175	0,14	0,15	169	213
Na	670	561	1443	1205	1281	1034
Al	138	193	224	445	384	443
Fe	238	383	363	394	381	447

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Spearman existente entre las principales especies químicas presentes en las partículas PM₁₀ y las variables meteorológicas prevalecientes durante el muestreo para el sitio CAT-SJ, 2009.

IONES												
	PM ₁₀	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	K	Mg	Ca	VV	T	P	
VV	-0,67	0,74	0,35	-0,38	0,72	0,23	0,27	0,63	1,00			
T	0,31	-0,86	-0,37	0,11	-0,77	-0,50	-0,44	-0,62	-0,72	1,00		
P	0,70	-0,82	0,29	0,25	-0,73	-0,38	-0,33	-0,75	-0,94	0,71	1,00	
METALES PESADOS												
	PM ₁₀	V	Pb	Cr	Cu	Ni	Mn	Al	Fe	VV	T	P
VV	-0,64	-0,40	0,38	0,36	0,47	0,54	-0,20	-0,11	-0,22	1,00		
T	0,32	0,32	0,45	-0,51	-0,31	0,60	0,49	0,34	0,34	-0,76	1,00	
P	0,74	0,69	0,59	-0,23	0,36	0,68	0,79	0,85	0,87	-0,93	0,77	1,00

VV: Velocidad del viento, T: Temperatura, P: Precipitación. Los números en negrillas representan correlaciones significativas a p < 0,05, N = 25.

2. Carbonilos:

2.1. Metodología:

2.1.1. Se seleccionaron tres sitios de medición localizados de acuerdo con lo indicado en el cuadro 8

Cuadro 8. Distribución de los sitios de monitoreo de carbonilos en el Área Metropolitana de Costa Rica

Código del sitio	Provincia	Cantón	Representatividad	Frecuencia de recolección de muestras
CAT-SJ	San José	Central	Zona comercial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
REC-HE	Heredia	Central	Zona Comercial de alto flujo vehicular	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)
RIB-BE	Heredia	Belén	Zona Residencial	3 veces /semana (Lunes-Miércoles-Jueves)

2.1.2. En cada sitio de monitoreo, se colocó una caja de muestreo construida en estructura de aluminio y con material acrílico oscuro para ser expuestas a la intemperie. En está, se colocó una bomba pequeña de vacío conectada a un sistema de restricción de flujo y mediante una manguera que sale fuera de la caja y se conecta al tubo de captura, el cual tiene un “denuder” acoplado. En la figura 4, se muestra un diagrama del equipo utilizado para la colección de las muestras de aire.

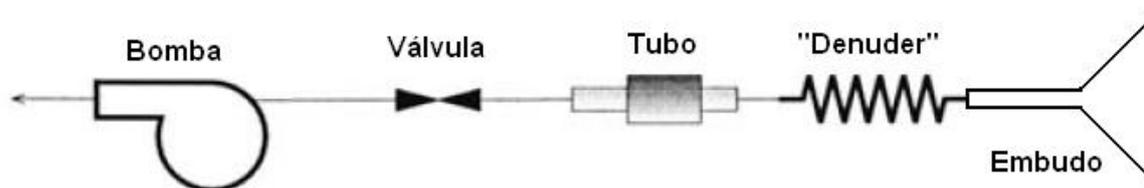


Figura 4. Diagrama del equipo de muestreo para carbonilos

2.1.3. Como sistema de restricción de flujo se utilizó una válvula de aguja para regular el flujo de muestreo a 1 litro por minuto. El “denuder” se fabricó utilizando un metro de tubería de cobre de un cuarto de pulgada enrollado en forma de resorte con un diámetro de 3 pulgadas al cual se acoplaron uniones de bronce provistas de férulas de teflón para asegurar el tubo de muestreo (figura 5).

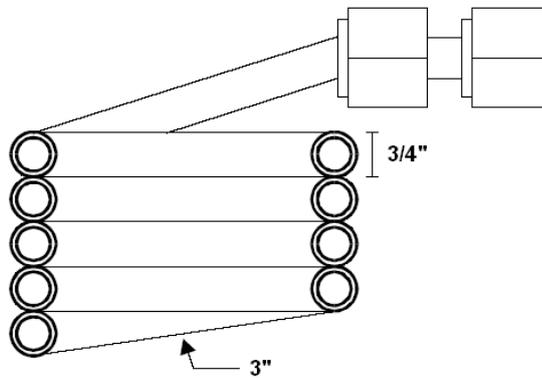


Figura 5. “Denuder” utilizado para los muestreos

El “denuder” fue impregnado en su interior con una disolución saturada de yoduro de potasio (KI). Para esto se hizo pasar la disolución saturada de KI a través del “denuder” y se dejó reposar durante una hora, luego se vació y se dejó secar con una corriente de nitrógeno de ultra alta pureza. Al “denuder” se le acopla en la entrada un cono plástico para evitar la entrada de agua durante las lluvias.

2.1.4. Para los muestreos se utilizaron tubos de vidrio sellados que contienen gel de sílice impregnado con 2,4-Dinitrofenilhidrazina, marca SKC (número de catálogo 226-119). Estos se mantienen en el congelador de la refrigeradora antes y después del muestreo. El tubo de muestreo se llevó al campo y se rompieron ambos extremos de este y se conectó al “denuder” y a la manguera de succión, respetando la dirección de flujo de aire ya indicada en el tubo. Antes de iniciar el muestreo, el tubo se cubrió con papel aluminio para bloquear el efecto de los rayos solares.

2.1.5. Posteriormente se encendió la bomba, se anotó el tiempo de inicio y se ajustó el flujo de muestreo utilizando la válvula de regulación y un calibrador de flujo primario marca Bios International, modelo DryCAL M. Se anotaron las condiciones iniciales de temperatura ambiente y presión atmosférica. Finalmente se ubicó el tubo en un punto elevado donde existe una buena circulación de aire.

2.1.6. Una vez transcurridas aproximadamente 24 horas de muestreo se visitó el sitio de muestreo para medir el flujo de muestreo final, apagar la bomba, anotar el tiempo y las condiciones ambientales finales. Se retiró el tubo, se le colocaron tapones plásticos a ambos lados, se envolvieron en papel aluminio y se etiquetaron. Al llegar al laboratorio se almacenaron en el congelador hasta un máximo de 30 días.

Tanto el procedimiento de muestreo como de análisis se basaron en los métodos estandarizados ASTM D5197-03 y USEPA TO11A.

2.1.7. Una vez colectada la muestra, se quitó el tapón del extremo que corresponde a la entrada de flujo de aire del tubo de muestreo, y se rompió dicho extremo con mucho cuidado de tal manera que se pudiera acceder a su contenido. Con una ganzúa se removió el tapón de fibra de vidrio y se vació el contenido en un vial de 5 ml con tapa con sello de teflón. Luego se removió el segundo tapón de fibra de vidrio y se vació el resto del contenido en el mismo vial. Utilizando una micropipeta se adicionaron 3 ml de acetonitrilo calidad para cromatografía (marca Fisher, presentación "Optima"), se cerró el vial, se agitó vigorosamente y se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad o cubierto con papel aluminio.

2.1.8. De cada vial se toma 1 ml del líquido supernatante a viales especiales para el cromatógrafo, los cuales cuentan con tapa con septum de silicón con teflón. Luego se colocan en el cromatógrafo permitiendo que estos se acondicionen a 20 °C. Para el análisis de los compuestos se utilizó un cromatógrafo líquido marca DIONEX modelo ICS-3000 con las siguientes indicadas en el cuadro 9.

Cuadro 9. Descripción de los componentes del cromatógrafo ICS-3000.

Módulo	Características
Automuestreador	Modelo AS-1: con control de temperatura constante.
Compartimento para columnas	Modelo DC-1: con control de temperatura constante.
Bomba	Modelo DP-1: con gradiente para fase móvil.
Detector	Modelo VWD-1: ultravioleta/visible de un solo canal.
Columnas	Acclaim 120, Fase estacionaria C18 de 5 µm y 120 Å. Dimensiones: 4,6 x 250 mm. Con precolumna.

El equipo se configuró bajo las condiciones señaladas en el cuadro 10.

El cromatógrafo se dejó acondicionando con la fase móvil al menos una hora, antes de iniciar el análisis, hasta que mostró una señal estable, posteriormente se cargaron las muestras y se corrió el programa del equipo (Chromaleon versión 6.80

SR6) para el análisis de los patrones de calibración y las muestras. Para la preparación de la curva de calibración se utilizó una disolución madre certificada que contenía una mezcla de 15 derivados de aldehídos y cetonas de 15 mg/l, marca SUPELCO con número de catálogo 4M7285-U. Este contempla los siguientes compuestos: formaldehído, acetaldehído, acroleína, acetona, propionaldehído, crotonaldehído, butiraldehído, benzaldehído, isovaleraldehído, valeraldehído, o-tolualdehído, m-tolualdehído, p-tolualdehído, hexaldehído y 2,5-Dimetilbenzaldehído.

Cuadro 10. Condiciones instrumentales empleadas en la determinación de carbonilos.

Flujo de fase móvil	1 ml/min		
Gradiente de fase móvil, con rampa lineal	Tiempo (min)	% Acetonitrilo	% Agua desionizada
	0	60	40
	21,4	75	25
	32,0	100	0
	33,0	60	40
	38	60	40
Gradiente forzado de temperatura de la columna	Tiempo (min)		Temperatura (°C)
	0		30,00
	11,7		20,00
	31,0		30,00
Temperatura del automuestreador	20,00 °C		
Volumen de inyección	25 µl		
Detector UV/VIS	360 nm		

2.2. Resultados del monitoreo:

En el cuadro 11, se presentan los valores promedio y desviación estándar de los principales carbonilos analizados en los sitios de monitoreo del área metropolitana de Costa Rica.

Los resultados varían de un sitio a otro, como era de esperarse, ya que estos representan zonas urbanas de alto flujo vehicular (Heredia), zonas comerciales de bajo flujo vehicular (San José) y sectores industriales (Belén). En general, los carbonilos predominantes resultaron ser, en orden de mayor a menor concentración, la acetona, el acetaldehído y el formaldehído, con excepción del ubicado en la ciudad de San José donde el formaldehído sustituye a la acetona, como el carbonilo más abundante. La acetona es la cetona más simple, la cual posee una longevidad considerable en la troposfera (Chatfield et al.; 1987). Los

altos niveles de acetona provienen de una mezcla de emisiones directas, más la oxidación de hidrocarburos que ocurre principalmente durante horas del día. Chatfield et al. (1987) reportó que la formación de la acetona en la troposfera se produce a través del ataque de radicales OH sobre algunos alcanos y alquenos.

Tal como lo señala Della et al. (2001), la concentración de los carbonilos en aire tiende a disminuir conforme aumenta su número de átomos de carbono.

La relación formaldehído/ acetaldehído (cuadro 12) se utiliza para comparar los resultados de mediciones de carbonilos en distintas localidades (Grosjean y Williams, 1993). En ambientes rurales, los valores para esta relación van desde 1 hasta 10. Los valores de este cociente pueden reflejar la participación local de hidrocarburos reactivos naturales, cuya oxidación permite una mayor generación de formaldehído en comparación con el acetaldehído o la influencia de otras importantes fuentes de formaldehído como la combustión de madera.

Por otra parte, en sitios urbanos, varios autores reportan valores entre 0,22 y 2,6 para este cociente (Shepson et al., 1991; Grosjean et al.; 2002; Báez et al., 2003). El valor obtenido en las muestras analizadas para la ciudad de San José y Belén, corresponde a 1,03 y 0,23 sugiriendo que la participación local de hidrocarburos antropogénicos es importante en la generación de aldehídos en el sitio de muestreo.

La relación acetaldehído/propionaldehído ha sido propuesta como otro indicador del origen antropogénico de los aldehídos encontrados en muestras de aire ambiente, ya que el propionaldehído está asociado únicamente a fuentes antropogénicas (Anderson et al., 2006). El valor de este cociente para la ciudad de San José y Belén corresponde a 24,5 y 32 respectivamente. Dichos valores coinciden con los reportados para centros urbanos con bajos niveles de contaminación.

La figura 6 muestra la variación temporal de las concentraciones de carbonilos, tanto en la época seca, como en la época lluviosa para los sitios de muestreo ubicados en San José y Belén. Para el caso del acetaldehído, la acetona y el propionaldehído las concentraciones mayores se presentan en la época lluviosa. Lo anterior, podría ser explicado por el hecho de que durante la época lluviosa, los vientos alisios disminuyen su intensidad, y permiten el ingreso al área metropolitana de brisas del Pacífico (responsables de la generación de lluvias), causando un descenso en la velocidad del viento cercano al 42% con respecto a la época seca, desfavoreciendo el transporte de contaminantes a otras regiones.

Cuadro 11. Resumen de los resultados de la concentración de aldehídos y cetonas en aire ambiente para los tres sitios de monitoreo seleccionados, 2009.

Concentración (μgm^{-3})	SAN JOSE		HEREDIA	
	CAT-SJ	REC-HE	RIB-BE	
Formaldehído	2,53 \pm 1,02	3,14 \pm 1,52	1,56 \pm 0,32	
Acetaldehído	2,45 \pm 3,14	3,84 \pm 2,31	6,79 \pm 4,70	
Acroleína	0,06 \pm 0,03	0,15 \pm 0,04	0,10 \pm 0,04	
Acetona	1,66 \pm 2,89	5,03 \pm 2,61	7,77 \pm 8,05	
Propionaldehído	0,10 \pm 0,05	0,12 \pm 0,02	0,11 \pm 0,05	
Crotonaldehído	0,05 \pm 0,02	nd	0,06 \pm 0,04	
Butiraldehído	0,08 \pm 0,03	0,09 \pm 0,02	0,08 \pm 0,02	
Benzaldehído	0,20 \pm 0,07	0,33 \pm 0,18	0,12 \pm 0,03	
Isovaleraldehído	0,04 \pm 0,02	nd	0,06 \pm 0,06	
Valeraldehído	0,05 \pm 0,02	0,10 \pm 0,01	0,08 \pm 0,03	
o-tolualdehído	0,08 \pm 0,10	0,17 \pm 0,02	nd	
m-tolualdehído	0,09 \pm 0,04	0,16 \pm 0,06	0,09 \pm 0,03	
p-tolualdehído	0,05 \pm 0,03	nd	0,05 \pm 0,02	
Hexaldehído	0,10 \pm 0,03	0,12 \pm 0,02	0,10 \pm 0,03	

El valor reportado con el signo \pm corresponde a la desviación estándar de los datos

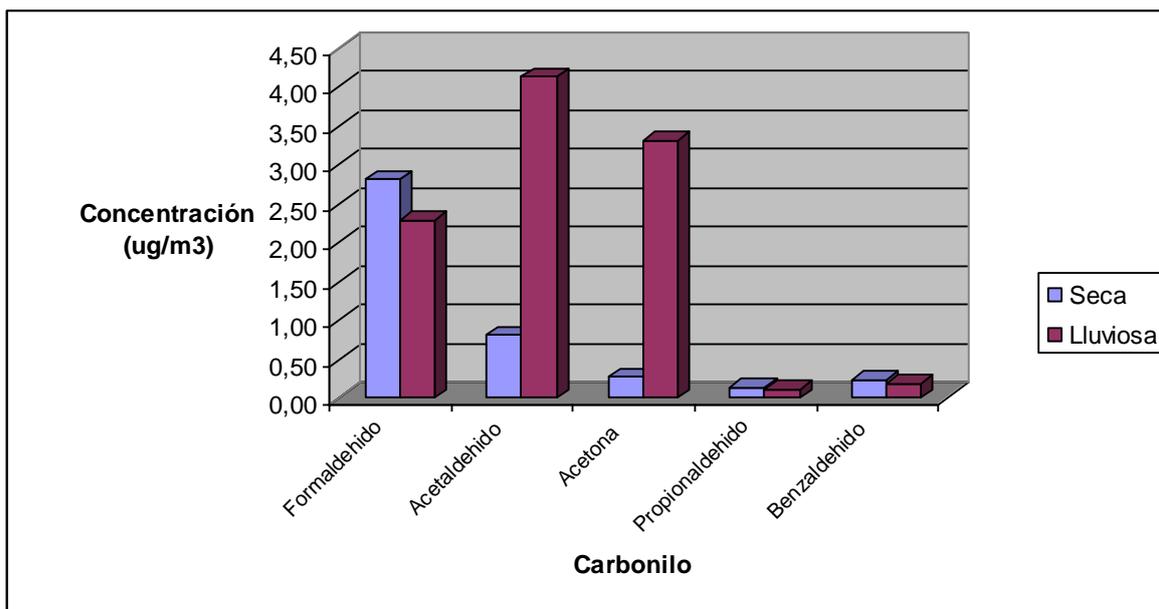
nd: no detectable

Cuadro 12. Relaciones entre concentraciones de carbonilos registrados para los sitios de monitoreo, año 2009.

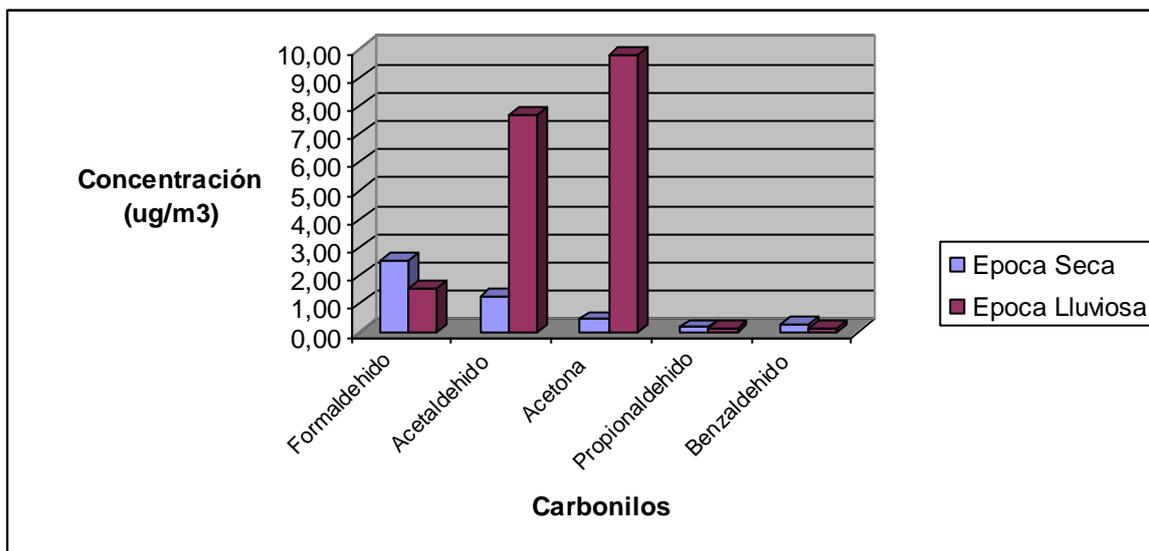
	CAT-SJ	REC-HE	RIB-BE
Formaldehído/Acetaldehído	1,03	0,82	0,23
Acetaldehído/Propionaldehído	24,5	32	61,7

Es bien conocido que las emisiones vehiculares son fuentes importantes de carbonilos. El formaldehído y el acetaldehído son producidos generalmente a partir

de las emisiones vehiculares y la oxidación fotoquímica de hidrocarburos. Las fuentes secundarias y sumideros son también factores que influyen las concentraciones ambientales de carbonilos. Della et al. (2001) reporta que la ocurrencia de temperatura ambientales y radiación solar mayores durante una época del año, no sólo enriquece las reacciones fotoquímicas de generación de carbonilos, sino que también acelera la fotólisis de carbonilos secundarios para formar radicales hidroxilo, los cuales son un sumidero muy importante de carbonilos.



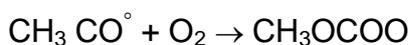
a) San José



b) Belén

Figura 6. Variación temporal de las concentraciones de los principales carbonilos registradas en los sitios de muestreo ubicados en San José y Belén, 2009.

Las principales reacciones del formaldehído y el acetaldehído con los radicales OH son:



Debido a que la fotólisis del acetaldehído es mucho menor que la del formaldehído y la reacción del acetaldehído con el radical hidroxilo es ligeramente más rápida, las reacciones con el radical hidroxilo son más significativas como sumidero del acetaldehído que la fotólisis (Anderson et al., 1996).

2.2.1. Correlaciones:

Se estimaron las correspondientes correlaciones de Spearman existentes entre los principales carbonilos muestreados en los tres sitios de monitoreo seleccionados. El cuadro 13 muestra los resultados obtenidos.

Cuadro 13. Correlaciones de Spearman para las concentraciones de carbonilos obtenidas en los sitios de muestreo, 2009.

	Formaldehído	Acetaldehído	Acetona	Propionaldehído	Benzaldehído
CAT-SJ					
Formaldehído	1,000				
Acetaldehído	0,838	1,000			
Acetona	-0,341	0,818	1,000		
Propionaldehído	0,785	-0,488	-0,474	1,000	
Benzaldehído	0,835	-0,197	-0,165	0,653	1,000
REC-HE					
Formaldehído	1,000				
Acetaldehído	0,814	1,000			
Acetona	0,224	0,838	1,000		
Propionaldehído	0,502	0,275	0,141	1,000	
Benzaldehído	0,797	0,224	0,224	0,511	1,000
RIB-BE					
Formaldehído	1,000				
Acetaldehído	0,859	1,000			

Acetona	-0,449	0,905	1,000		
Propionaldehído	0,814	-0,118	-0,172	1,000	
Benzaldehído	0,572	-0,089	-0,147	0,556	1,000

Números en negrita significativos a $p \leq 0,05$.

En el cuadro 13, se pueden observar una fuerte correlación positiva existente entre el formaldehído y el acetaldehído para todos los sitios de muestreo, lo que podría sugerir que ambos compuestos provienen de una fuente en común, las emisiones vehiculares. De igual forma la correlación encontrada entre la acetona y el acetaldehído sugiere un posible origen antropogénico. Se ha reportado que la ocurrencia de reacciones secundarias podría explicar la presencia de acetona en la atmósfera. La acetona se forma por la reacción del ozono con algunos alcanos y es el producto principal de la reacción de oxidación del radical hidroxilo de los siguientes compuestos: propanona, isobuteno, isopenteno y algunos alcanos de cadena larga. Se ha sugerido que la oxidación del propano es la principal fuente de acetona en el aire (Chatfield et al.; 1987). El propano es el principal constituyente del gas licuado de petróleo utilizado para cocción en establecimientos comerciales y residenciales.

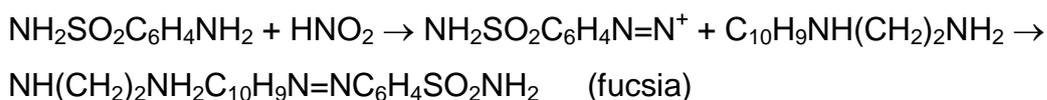
3. Dióxido de Nitrógeno:

3.1. Metodología:

3.1.1. Para la preparación de los colectores, se sumergen mallas de acero de 11 mm de diámetro (superficie de absorción) en una disolución formada a partir de la mezcla de trietanolamina con acetona (relación 1:8) durante al menos 24 horas.

3.1.2. Una vez impregnadas con la disolución absorbente, las mallas se colocan en el interior de una tapa, la cual se acopla a un tubo colector de polipropileno (diámetro interno 9,5 mm y largo 7,4 cm). Los tubos se colocan en contenedores de PVC en grupos de 4 ó 6, con el fin de proteger los colectores. Los contenedores de PVC se ubican en postes del tendido eléctrico a una altura no menor a los 3 m con respecto al nivel del suelo. Los tubos se exponen en el sitio de muestreo por un plazo de 22 a 30 días para posteriormente ser trasladados al laboratorio para su análisis.

3.1.3. Una vez expuestos los tubos, se remueve la tapa y se colocan las mallas en un vial de vidrio 15 mL. Posteriormente se agregan 5 mL del reactivo de color (N-naftiletildiamina + sulfanilamida). Se tapa el frasco y se agita, dejando reposar un mínimo de 15 minutos. El dióxido de nitrógeno colectado en forma de NO_2^- , por medio de la reacción con la trietanolamina, reacciona con el reactivo de color de acuerdo con la siguiente ecuación química:



El producto de esta reacción es un compuesto coloreado fucsia cuya absorbancia es proporcional a la concentración.

3.1.4. Tanto a las muestras como a una curva de calibración compuesta por seis disoluciones patrón de NO_2^- (0 a 1000 $\mu\text{g/L}$) preparadas a partir de la disolución madre de 1000 mg/l, se les mide la absorbancia a 542 nm. La masa de dióxido de nitrógeno colectada en cada tubo se determina por interpolación en la curva de calibración, a partir de la cual se obtiene la concentración de NO_2 en el aire.

Para el monitoreo de los niveles de NO₂ en el Área Metropolitana se seleccionaron un total de 35 puntos de muestreo distribuidos de acuerdo como se indica en el cuadro 14. Las muestras se colectan en forma mensual.

Cuadro 14. Localización de los sitios de muestreo utilizados en el monitoreo de NO₂ en el área metropolitana de Costa Rica.

Sitio	Provincia	Cantón	Tipo de punto	Ubicación Exacta
1	San José	Central	Comercial	Hospital San Juan de Dios, Paseo Colón
2	San José	Central	Comercial	Frente al costado norte de la Catedral Metropolitana, Avenida Segunda
3	San José	Central	Comercial	150 m norte de la Antigua Estación del Ferrocarril al Pacífico
4	San José	Central	Comercial	50 m este de la Estación de Servicio La Castellana, Avenida 10
5	San José	Central	Residencial	Avenida 26, calles 13 y 15, Barrio La Cruz
6	San José	Central	Residencial	200 m sur de la antigua fábrica Dos Pinos, Barrio Luján
7	San José	Central	Residencial	50 m sur y 100 este del edificio del Ministerio de Ambiente y Energía, Barrio Francisco Peralta
8	San José	Central	Comercial	Iglesia Santa Teresita, Barrio Aranjuez
9	San José	Central	Comercial	Costado sur del Tribunal Supremo de Elecciones de Costa Rica
10	San José	Central	Comercial	75 m este del edificio del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
11	San José	Central	Comercial	Frente al edificio de la Junta Administradora de Puertos de la Vertiente Atlántica
12	San José	Central	Residencial	150 m oeste de la Iglesia de Barrio México
13	San José	Central	Residencial	200 m sur del Parque Salvador, Barrio Pithaya
14	San José	Central	Industrial	Costado este de las instalaciones de la industria NUMAR, Barrio Cuba
15	Heredia	Central	Comercial	Frente al Automercado, carretera a Barba
16	Heredia	Central	Comercial	Frente al edificio de registro, UNA
17	Heredia	Central	Comercial	Frente al Mall Paseo de las Flores
18	Heredia	Central	Comercial	Costado norte del Mercado Central de Heredia
19	Heredia	Central	Comercial	Frente al Palacio de los Deportes
20	Heredia	Central	Residencial	Costado sur Iglesia de Mercedes Norte
21	Heredia	Central	Residencial	Residencial La Lilliana
22	Heredia	Central	Residencial	Campus Benjamín Núñez UNA

23	Heredia	Central	Industrial	Frente a DHL en la Aurora
24	Heredia	Central	Comercial	Frente al Hipermás en San Francisco
25	Heredia	Belén	Comercial	Frente al Hotel Ramada Herradura
26	Heredia	Belén	Industrial	Frente a la Plaza de la Asunción
27	Heredia	Belén	Residencial	Residencial Cariari
28	Heredia	Belén	Industrial	Frente a la empresa Kimberly Clark
29	Heredia	Belén	Comercial	Costado norte de la Firestone
30	Heredia	Belén	Residencial	Frente al Hotel Marriot
31	Heredia	Belén	Residencial	Frente a la Iglesia Católica de La Ribera
32	Heredia	Belén	Comercial	Frente a la entrada del Parque Recreativo Ojo de Agua
33	Heredia	Belén	Comercial	Costado norte del Palacio Municipal de Belén
34	Heredia	Belén	Residencial	Frente al Polideportivo de Belén
35	Heredia	Belén	Comercial	Cruce de Radial a Santa Ana

3.2. Resultados del monitoreo:

En los cuadros 15, 16 y 17 se presentan el promedio anual y la desviación estándar de las concentraciones de NO₂ obtenidas para cada uno de los sitios de muestreo localizados en las ciudades de San José, Heredia y Belén. Tal como se puede notar al menos tres sitios en San José, dos de Heredia y tres de Belén presentan valores mayores a 40 µg/m³, que corresponde a la norma anual establecida por la Organización Mundial de la Salud para este contaminante. Es importante aclarar, que dichos sitios se encuentran localizados en los principales accesos a las ciudades, además de constituir unas de las vías con mayor flujo vehicular en dichos lugares.

Cuadro 15. Concentraciones promedio anuales de NO₂ (µg/m³) en los sitios de muestreo ubicados en la Ciudad de San José, Costa Rica.

Sitio de Muestreo	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009
1	46 (5)	48 (6)	51 (3)	56 (10)	55 (11)	48 (11)
2	43 (3)	45 (6)	44 (6)	47 (7)	41 (5)	44 (10)
3	30 (5)	36 (4)	28 (4)	31 (4)	29 (7)	28 (6)
4	41 (5)	45 (11)	43 (8)	51 (6)	47 (10)	44 (13)
5	26 (4)	31 (3)	25 (3)	27 (4)	25 (6)	25 (6)
6	26 (7)	30 (5)	24 (4)	26 (4)	24 (8)	22 (5)
7	27 (9)	31 (5)	27 (8)	27 (5)	23 (5)	25 (7)
8	25 (6)	30 (6)	23 (5)	26 (6)	27 (4)	24 (7)

9	22 (8)	43 (11)	21 (4)	24 (5)	27 (3)	24 (7)
10	33 (10)	42 (3)	39 (4)	40 (5)	44 (7)	39 (9)
11	34 (2)	36 (5)	31 (5)	35 (4)	34 (9)	34 (7)
12	28 (10)	33 (7)	27 (6)	32 (7)	28 (6)	28 (7)
13	24 (6)	32 (7)	26 (7)	29 (7)	31 (5)	32 (7)
14	33 (6)	45 (11)	37 (3)	40 (6)	41(5)	36 (8)

El dato colocado entre paréntesis representa la desviación estándar del promedio

Si se analiza la tendencia de los datos a través de los años de monitoreo se pueden observar dos comportamientos definidos, el primero de ellos para los sitios de alto flujo vehicular ubicados en las zonas comerciales e industriales de la ciudad con tasas de crecimiento cercanas al 10% y el segundo referido a las zonas residenciales donde la tendencia es inversa, en donde los niveles de dióxido de nitrógeno decrecen a una tasa cercana al 5%.

Cuadro 16. Concentraciones promedio anuales de NO₂ (µg/m³) en los sitios de muestreo ubicados en la Ciudad de Heredia, Costa Rica.

Sitio de Muestreo	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009
Supermercado Hipermás	32 (3)	27 (2)	30 (3)	25 (3)	28 (4)
Residencial La Lilliana	17 (3)	13 (4)	15 (4)	14 (5)	16 (3)
Frente a DHL, La Aurora	31 (6)	27 (6)	27 (5)	22 (4)	27 (8)
Campus Benjamín Nuñez, UNA	28 (3)	22 (5)	27 (4)	25 (7)	29 (6)
Mall Paseo de las Flores	26 (4)	17 (4)	21 (8)	24 (7)	27 (5)
Oficina de Registro UNA, Calle 9	32 (5)	32 (3)	43 (6)	53 (9)	55 (7)
Frente al Supermercado Automercado,	30 (5)	21 (4)	28 (6)	25 (5)	31 (7)
Costado sur Iglesia de Mercedes Norte	25 (4)	18 (3)	24 (5)	23 (3)	27 (4)
Palacio de los Deportes	32 (5)	28 (3)	32 (5)	28 (9)	30 (3)
Costado Norte del Mercado Central	70 (4)	57 (8)	61 (5)	68 (10)	64 (7)

El dato colocado entre paréntesis representa la desviación estándar del promedio

Cuadro 17. Concentraciones promedio anuales de NO₂ (µg/m³) en los sitios de muestreo ubicados en la Ciudad de Belén, Costa Rica.

Sitio de Muestreo	Año 2008	Año 2009
Frente al Hotel Ramada Herradura	41 (3)	37 (8)
Residencial Cariari	17 (5)	18 (5)
Frente a la plaza de la Asunción	33 (10)	41 (6)
Frente a la empresa Kimberly Clark	23 (7)	26 (3)
Costado norte de Firestone	35 (7)	25 (8)
Frente al parque recreativo Ojo de Agua	29 (9)	17 (6)
Frente a la iglesia católica de la Ribera	27 (5)	26 (5)
Costado norte del Palacio Municipal	36 (3)	41 (5)
Frente al Polideportivo de Belén	21 (9)	18 (7)
Frente al Hotel Marriot	26 (7)	36 (9)
Frente al Centro Comercial Plaza Belén	42 (9)	44 (7)

El dato colocado entre paréntesis representa la desviación estándar del promedio

Al estudiar la variación estacional de los niveles de dióxido de nitrógeno en los sitios de muestreo se puede observar que se presenta un comportamiento similar al caso de las partículas, en donde las concentraciones menores se producen en la época seca debido a una mayor capacidad de remoción provocada por la presencia, en el área metropolitana del país, de los vientos alisios provenientes del Mar Caribe. La figura 6 muestra las variaciones temporales para los sitios ubicados en la ciudad de San José, sin embargo la tendencia es la misma para las otras ciudades.

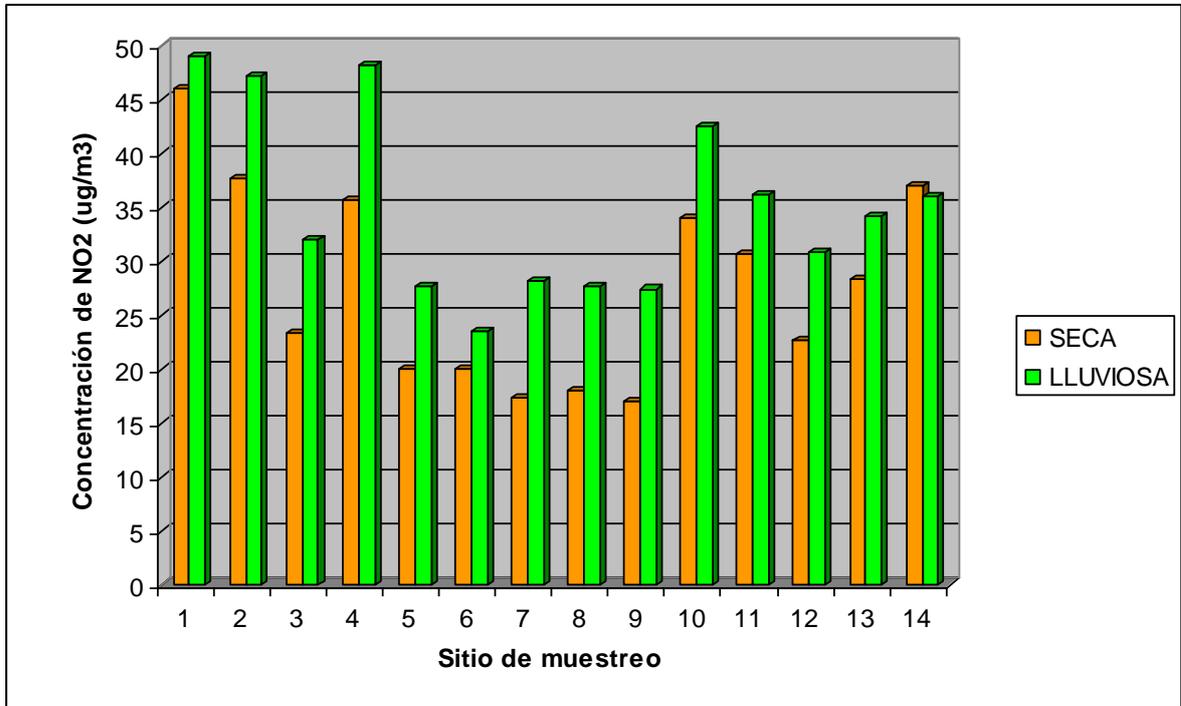


Figura 6. Variación estacional de los niveles de dióxido de nitrógeno presentes en los 14 sitios de muestreo ubicados en la ciudad de San José, año 2009.

Conclusiones

Tal como se ha mencionado en informes anteriores, las concentraciones de algunos contaminantes criterio del aire (PM_{10} y NO_2) registrados en las ciudades de San José, Heredia y Belén no superan las normas establecidas para 24 horas (exposición aguda) sin embargo, en un caso, el PM_{10} presentó un valor mayor al ser comparado con el límite máximo ($50 \mu g/m^3$) declarado en el decreto 30221-SALUD para un período de un año. Lo anterior evidencia, la necesidad de desarrollar políticas tendientes a abatir de forma gradual y sostenida la contaminación atmosférica y realizar una revisión periódica de los estándares de calidad del aire establecidas en la normativa, con el fin de proteger a los habitantes de la región de una exposición crónica sostenida a diversos contaminantes del aire. Al analizar la tendencia de los valores de PM_{10} registrados para los cinco sitios de monitoreo en el período 2007-2009, se puede observar una tendencia descendente con tasas que varían desde el 6 al 14% anuales. Entre los principales hechos que pueden explicar este comportamiento se encuentran la mejora en la calidad de los combustibles (reducción del contenido de azufre (S) en el combustible) y la operación efectiva del sistema de revisión técnica vehicular. En esta misma línea, cabe resaltar como aspecto positivo que los niveles de sulfato presentes en las partículas PM_{10} venían decreciendo en forma gradual a una tasa cercana al 5% anual desde el año 2007.

Se pudo evidenciar a partir de los resultados obtenidos, al estudiar las variaciones estacionales de los contaminantes monitoreados, que los niveles más bajos se presentan en época seca debido al incremento de la velocidad promedio del viento en el área metropolitana del país, generada por los vientos alisios provenientes del Mar Caribe.

Es recomendable generar políticas públicas tendientes a mejorar la vialidad en los sitios de ciudad que persisten con valores de NO_2 que superan la norma anual de la Organización Mundial de la Salud y permitir una mayor sostenibilidad del crecimiento urbano sin causar deterioro a la salud de sus habitantes, favoreciendo el uso de transporte público sobre los vehículos individuales.

Acciones ejecutadas por las instituciones en materia de gestión de Calidad del Aire

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES:

Aviación Civil:

La unidad de Navegación Aérea ha venido desarrollando desde enero del 2010 un proyecto llamado “Análisis y reorganización del espacio aéreo costarricense en base a PBN (Navegación basada en el Desempeño, del inglés Performance Based Navigation)”. Dicho proyecto busca promover el ahorro de combustible y reducción de emisiones en el espacio aéreo costarricense, mediante la construcción de nuevos procedimientos estandarizados de vuelo de llegada y salida por instrumentos basados en las nuevas disposiciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

COSEVI:

Inclusión de un nuevo capítulo en los Manuales de Educación Vial para cursos teóricos denominado “Manejo Técnico Económico Eficiente”, que retoma la importancia de mantener el vehículo en las mejores condiciones y con ello cuidar el medio ambiente al estar sensibilizado en este tema.

Campaña de comunicación en radio MOPT-COSEVI-ECOENERGÍA-GRUPO TBC enfocada al “Ahorro de combustibles y seguridad vial”.

CTP:

Se han propuesto los siguientes proyectos:

1. Reorganizar y poner en operación 2 sectores: Central y Tibás – Santo Domingo
2. Constituir siete rutas intersectoriales urbanas en el Área Metropolitana de San José

Con estos dos proyectos se busca racionalizar el uso y entrada de unidades de autobús, reduciendo la contaminación ambiental.

Además, en el próximo Plan Anual Operativo se plantean las siguientes acciones:

1. Proponer a los operadores de las rutas de autobús la construcción de terminales fuera de las vías para disminuir la congestión vial y la contaminación ambiental.

2. Limitar la vida útil de las unidades de transporte público con una máxima autorizada de 15 años.
3. Establecer paradas de taxi en todo el país con el objetivo de reducir el tránsito continuo de las unidades, promoviendo su ubicación cerca de las rutas de autobús para su trabajo Inter.-relacionado.

Policía de Tránsito:

-Controles diarios en carretera en diferentes puntos considerados como un foco de mayor concentración de contaminación. Desde abril del 2008 a la fecha se han revisado aprox. 40 mil vehículos y se han sancionado 9 mil vehículos por exceder los límites de emisión establecidos por ley.

-Atención a denuncias relacionadas con el tema de contaminación ambiental.

UNIVERSIDAD NACIONAL

1. Generación del Primer Inventario de Emisiones de contaminantes criterio para Costa Rica con lo que se busca determinar las principales fuentes y las tasas de generación de los contaminantes del aire.
2. Desarrollo de un diagnóstico preliminar de la concentración y composición de partículas PM 2,5 en el Área Metropolitana de Costa Rica con el fin de incorporar este contaminante en la normativa nacional de calidad del aire.
3. Acondicionamiento de una estación móvil de monitoreo automático de contaminantes criterio para ser incorporada a la red de monitoreo de la Calidad del Aire.
4. Inclusión de las mediciones de compuestos orgánicos volátiles en la red de monitoreo de la Calidad del Aire.

MINAET

1. El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), en convenio con el Ministerio de Salud, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, la Universidad Nacional y la Municipalidad de San José, lidera y coordina una comisión integrada por estas instituciones que tiene como objetivo implementar el Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Gran Área Metropolitana, el cual se firmó en octubre del 2008.

2. En el marco del Acuerdo de Cooperación USAID/CCAD/CAFTA-DR, se está realizando el proyecto “Primer Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio para Costa Rica”, en el cual el MINAET apoya a la Universidad Nacional en la solicitud y recopilación de información necesaria para el desarrollo de este inventario que permitirá:
 - Identificar las contribuciones de la emisión por categoría de fuente o por fuente específica en el área metropolitana de Costa Rica.
 - Generar líneas base de emisión de algunos contaminantes del aire en fuentes fijas, con el fin de evaluar el grado de aplicabilidad y necesidades de adecuación, de los decretos regulatorios emitidos desde 2002, por el gobierno de Costa Rica.
 - Desarrollar una metodología que permita en forma regular evaluar la evolución en el tiempo de los niveles de emisiones generados en el área metropolitana de Costa Rica, con el fin de orientar las políticas de gestión de calidad del aire.

3. Visita a instituciones y empresas para solicitar el alojamiento de equipos muestreadores de alto volumen PM₁₀, bajo el esquema de la responsabilidad social empresarial, ya que cada instancia debe aportar el costo de electricidad y garantizar la seguridad necesaria para el cuidado del equipo.

4. Inclusión de un rubro dentro del presupuesto del año 2011 de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) para asegurar la sostenibilidad de la Red Nacional de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos.

5. Participación en la Comisión Interinstitucional y Multidisciplinaria coordinada por el Ministerio de Salud, que se encuentra elaborando los siguientes reglamentos:
 - Modificación al Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas, que incluirá la regulación de Hornos de tipo Indirecto y se están revisando y actualizando los límites de emisión.

- Propuesta de Reglamento sobre la Configuración de los Sitios de Muestreo en Chimeneas para la medición de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas
- Propuesta de Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos provenientes de Fuentes Fijas (excepto Calderas y Hornos de Tipo indirecto).

MINSALUD

1. La recepción y trámite de los Reportes Operacionales anuales que deben presentar aquellos entes generadores de emisiones a la atmósfera provenientes de Calderas tal y como lo establece el Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos provenientes de Calderas (DE.30222.S.MINAE) En el año 2008 fueron entregados alrededor de un centenar de certificaciones de cumplimiento con los límites de emisión establecidos. También a nivel Regional se efectuaron actividades de control cruzado también llamados de control estatal para verificar los resultados enviados.
2. El Ministerio de Salud conforme a lo que establece el Título III, Capítulo IV de la Ley General de Salud desde el año 1997 conformó una Comisión Interinstitucional y Multidisciplinaria la cual coordina, que se encuentra revisando el Decreto Ejecutivo 30222-S-MINAE. A partir del análisis estadístico de los informes fisicoquímicos de los siguientes contaminantes atmosféricos: partículas totales en suspensión (PST) óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂) se revisaron los límites máximos permitidos para su modificación y ajuste. Por otra parte la propuesta que se ha elaborado considera la regulación también de los hornos de tipo indirecto.
3. Paralelo a esta gestión se elaboraron las Guías de muestreo de chimeneas y los formularios y procedimientos de presentación de reportes operacionales así como lo correspondiente al control estatal. En la propuesta se crea un fondo a través del fideicomiso del Ministerio de Salud en el cual el ente generador deposita el costo de un muestreo de chimeneas para sufragar el costo del control cruzado por parte del Ministerio de Salud.
4. Atención de denuncias y quejas presentadas por la población en todo el país y en los tres niveles de gestión del Ministerio (central, regional y local)

por problemas de contaminación del aire causados por entes generadores de emisiones por fuentes fijas.

5. Dentro de la definición de contaminación del aire que considera la Ley General de Salud en su artículo 294 se incluyen los problemas causados por la emisión de ruidos que afectan a los vecinos y que constituyen gran parte de las denuncias y quejas que atienden las Áreas Rectoras de Salud en todo el país y que obligan al uso de decibelímetros o sonómetros para corroborar el cumplimiento con los límites establecidos en el Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido (DE.28718-S). Asimismo el Ministerio también atiende quejas y denuncias por la emanación de malos olores que perjudican el bienestar de las personas.
6. Con base en el convenio Marco de Cooperación entre la UNA, MINAET, MS, MOPT y MSJ para el fortalecimiento de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire en Costa Rica, el Ministerio de Salud ha apoyado en las labores de recopilación de información y visitas de campo con la colaboración tanto de funcionarios del nivel central como de las Áreas Rectoras de Salud donde se localizan las fuentes emisoras seleccionadas, para la realización del Primer Inventario de Emisiones que se efectúa a nivel de la Gran Area Metropolitana (GAM).

MUNICIPALIDAD DE SAN JOSÉ

Desde el año 2003 la Municipalidad de San José en cooperación con el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional ha desarrollado el sistema de monitoreo ambiental de este Cantón, en el año 2007 se formaliza dicha cooperación mediante un Convenio.

La actividad de monitoreo de la calidad del aire en San José en el año 2009, requirió del siguiente aporte:

- compra los materiales necesarios para la medición de contaminantes, por un monto de siete millones de colones,
- medio de tiempo de trabajo de personal de la Sección de Parques y Áreas Verdes, y del Dpto. de Gestión Ambiental.
- un vehículo para las labores de recolección y traslado de las muestras al Laboratorio de Análisis Ambiental.

- participación de las actividades propias y ordinarias de la Red Nacional para la Calidad del Aire, en la presentación del Primer Informe de Calidad del Aire de la GAM, así como en la coordinación interinstitucional para la colocación de las nuevas estaciones de monitoreo.

Por otra parte los esfuerzos dirigidos a las acciones de mitigación y mejoramiento de la calidad del aire han sido:

- Arborización: Plan de arborización urbana – PLANARBU – se mantiene desde hace varios años como uno de los de primer orden en el quehacer municipal.
- Descongestionar zonas en el centro de la Ciudad- construcción de bulevares y reconstrucción de vías importantes. (Mejoramiento vial)
- Trabajo interinstitucional MSJ-MOPT en materia de vialidad.

Bibliografía

Anderson LG, Lanning JA, Barrell R, Miyagishima J, Jones RH, Wolfe P. 1996. Sources and sinks of formaldehyde and acetaldehyde: an analysis of Denver's ambient concentration data. *Atmospheric Environment* 30: 2113-2123.

Arimoto, R., Duce, R.A., Savoie, D.L., Prospero, J.M., Talbot, R., Cullen, J.D., Tomza, U. Lewis, N.F., Ray, B.J., 1996. Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during Pem-West A. *Journal of Geophysical Research* 101, 2011–2023.

Baéz, A., Padilla, H., García, R., Torres, M., Rosas, I., Belmont, R.C., 2003. Levels in indoor and outdoor air in Mexico City and Xalapa, Mexico. *Science of Total Environment* 302, 211–226.

Berg Jr., W.W., Winchester, J.W., 1978. Aerosol chemistry of marine atmosphere. In: Riley, J.P., Chester, R. (Eds.), *Chemical Oceanography* 7. Academic Press, London, pp. 173–231.

Chatfield, R.B., Gardner, E.P., Calvert, J.G., 1987. Sources and sinks of acetone in the troposphere: behavior of reactive hydrocarbons and a stable product. *Journal of Geophysical Research* 92 (D4), 4208-4216.

Chelala, C. (1999). *Impacto del ambiente sobre la salud infantil*. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C., USA [Disponible en <http://www.paho.org/spanish/hep/infancia.pdf>].

Cohen, A. J.; Anderson, H. R.; Ostro, B.; Dev Pandey, K.; Krzyzanowsky, M.; Künzli, N.; Gutschmidt, K.; Pope III, C. A.; Romieu, I.; Samet, J. M.; Smith, K. R. (2004). "Global and Regional Burden of Diseases Attributable to Selected Major Risk Factors". *Comparative Quantification of Health Risks*. Organización Mundial de la Salud. Suiza.

Cortez, L. M. (2002). Efecto de la exposición a partículas PM10 y PM2.5 sobre la frecuencia y severidad de las exacerbaciones en los enfermos pulmonares obstructivos crónicos. CONACYT [212270-5-29198-M], PAHO [HDP/HDR/HEP/FEL/MEX/1496].

Della SWM, Wong Y-C, Louie PKK. 2001. Trends of ambient carbonyls compounds in the urban environment of Hong Kong. *Atmospheric Environment* 35, 5961-5969.

Duce, R.A., Arimoto, R., Ray, B.J., Unni, C.K., Harder, P.J., 1983. Atmospheric trace elements at Enewetak Atoll 1, concentrations, sources and temporal variability. *Journal of Geophysical Research* 88, 5321–5342.

Duce, R.A., Hoffman, G.L., Zoller, W.H., 1975. Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: Pollution or natural. *Science* 187, 59–61.

Finlayson-Pitts, B. J.; Pitts, J. N. (1986). *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. John Wiley & Sons. USA

Grosjean, E. Williams, EL. 1993. Ambient levels of formaldehyde and acetaldehyde in Atlanta, Georgia. *Journal Air Waste Management Association* 43: 469-474.

Grosjean, D., Grosjean, E., Moreira, L.F.R., 2002. Speciated ambient carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science and Technology* 36, 1389–1395.

Organización Mundial de la Salud. (2006a). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005*. [Disponible en http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf].

Organización Mundial de la Salud. (2006b). *Air Quality Guidelines. Global update 2005*. Regional Office for Europe.

Shepson, BP, Hastie DR, Schiff HI, Polizzi M. 1991. Atmospheric concentrations and temporal variations of C1-C3 carbonyl compounds at two rural sites in Central Ontario. *Atmospheric Environment* 25A: 2001-2015.

Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, UK.

Center for Environmental Research Information. "Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling Methodology]". United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999.

Xiao, H., Liu, C., 2004. Chemical characteristics of water soluble components in TSP over Guiyang, SW China, 2003. *Atmospheric Environment* 38, 6297–6306.

Yao, X., Chan, C.K., Fang, M., Cadle, S., Chan, T., Mulawa, P., He, K., Ye, B., 2002. The water-soluble ionic composition of PM_{2.5} in Shanghai and Beijing, China. *Atmospheric Environment* 36, 4223–4234.

