



**PRIMER INFORME DE CALIDAD DEL AIRE
CANTON DE BELEN:
AÑO 2006-2007**

**MSc. Jorge Herrera Murillo
Licda. Susana Rodríguez Román**

PRESENTACIÓN

Como sucede en otros países del mundo, a lo largo de las últimas décadas Costa Rica ha experimentado profundos cambios económicos y sociales que se han acompañado de un creciente deterioro del ambiente y de una reducción de sus recursos naturales. La disminución y degradación de la cubierta vegetal natural y del suelo, la acelerada pérdida de biodiversidad y la sobreexplotación de los acuíferos son algunos de los principales problemas que hoy enfrenta el país.

Durante mucho tiempo, los temas ambientales fueron pasados por alto o considerados sólo como secundarios y supeditados a la planeación del desarrollo. El impacto del crecimiento demográfico, de la desigual distribución territorial de la población, de la actividad productiva y de la urbanización sobre la calidad del aire, del agua y del suelo, sobre la disponibilidad de los recursos naturales y sobre la integridad y funcionamiento de los ecosistemas naturales fue estimado de manera parcial en algunos casos y en otros simplemente ignorado.

El avance de la investigación científica ha mostrado la necesidad de reconocer el valor del capital natural como un elemento indispensable para alcanzar un verdadero desarrollo sustentable, lo cual implica establecer políticas, estrategias y acciones que promuevan la salud de los ecosistemas en el mismo rango de prioridad que tienen los sistemas económico, educativo o de salud pública.

La gestión ambiental es compleja e involucra una multitud de factores diversos. Ya desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano (Estocolmo, Suecia, 1972) se identificó una carencia "...de información precisa y actualizada para tomar las decisiones necesarias para mejorar el manejo y conservación del ambiente y de los recursos naturales del mundo". Asimismo, en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo* (Río de Janeiro, Brasil, 1992) se reconoció que

la información es un medio necesario para la instrumentación del *Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable (Agenda 21)*. De hecho, la propia Agenda 21 dedica por entero su capítulo 40 al tema de la información para la toma de decisiones.

El ***Primer Informe de Calidad del Aire del Cantón de Belén***, es uno de los elementos básicos de este sistema de información. Esta obra constituye un reporte sintético y sucinto del estado actual de la calidad del aire del cantón. La producción del Informe ha sido posible gracias al trabajo cotidiano y la participación activa de la Municipalidad de Belén y del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional.

MSc. Jorge Herrera Murillo

Licda. Susana Rodríguez Román

CONTENIDO

Presentación	2
Contenido	4
Introducción	5
Resultados	9
Conclusiones	22
Recomendaciones	23
Bibliografía	24

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es considerada como un problema local y regional, ya que es en los centros urbanos o en sus alrededores donde frecuentemente se localiza la mayor actividad industrial, donde el parque vehicular y el consumo de combustibles son también más elevados (1). Las presiones que ejercen la economía y el crecimiento de la población han sido determinantes en el estado de la calidad del aire. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación del aire exterior debido a la necesidad de satisfacer la creciente demanda del transporte y la generación de energía. La contaminación alcanza niveles inaceptables en algunas de las áreas urbanas y la creciente tendencia de la urbanización expone cada vez a un mayor número de habitantes a diferentes contaminantes.

La contaminación del aire debido a la combustión está asociada a una alta incidencia de efectos agudos y crónicos en la salud. La evidencia de muchos estudios realizados alrededor del mundo relaciona las concentraciones de contaminantes del aire, que a menudo se encuentran en las áreas urbanas, con efectos adversos en la salud. El exceso de mortalidad por causas **cardiovasculares**, respiratorias, cáncer del pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire exterior (2). También se han reportado las consecuencias de una variedad de indicadores de morbilidad (3). El aumento de mortalidad y morbilidad tiene consecuencias directas e indirectas en la sociedad, desde el incremento en la atención médica hasta la reducción de la productividad y de la calidad de vida.

La contaminación del aire es un importante problema de salud ambiental que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de partículas y gases potencialmente nocivos que afectan la salud humana y el ambiente y que en el largo plazo dañan los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta.

Los habitantes de la Gran Área Metropolitana del país han sido testigos en las últimas dos décadas del rápido y desordenado crecimiento que ha experimentado dicha región. Este crecimiento vino acompañado en la mayoría de los casos del desarrollo de una nueva y moderna infraestructura, pero también de un incremento desmedido del tráfico vehicular que ha traído como consecuencia un deterioro considerable en la calidad del aire que se respira. Este deterioro se puede ver reflejado en el aumento de los casos de enfermedades respiratorias reportados por los sistemas de salud pública de Costa Rica.

Sin embargo, la percepción de los sentidos no es un método confiable para medir los niveles de contaminación en el aire, y por eso se suele recurrir a métodos científicos capaces de medir con exactitud la concentración de determinados contaminantes en el aire. Las mediciones así realizadas se conocen como "monitoreo de la calidad de aire" y son necesarias para poder determinar los posibles daños que sufriría la salud de la población expuesta, decidir las mejores medidas de control, y para evaluar si las medidas adoptadas están surtiendo efecto.

De esta manera, ese "aire contaminado" del que se queja la gente, se transforma en cifras que permiten determinar cuales sustancias y en que medida están sobre pasando los límites recomendados, e identificar así las fuentes que los producen para controlarlas. De allí que el monitoreo de la calidad del aire se convierte en una importante herramienta para las autoridades en su labor de protección de la calidad del medio ambiente.

Los indicadores de la calidad del aire son aquellos contaminantes atmosféricos que se emiten en mayores cantidades y que son a la vez los más dañinos para la salud humana. Las concentraciones de dichas sustancias en la atmósfera, han sido aceptadas por la comunidad científica internacional como una medida de la calidad del aire y se han convertido por consiguiente en objeto de estudio de muchas instituciones técnico-científicas para determinar aspectos como sus fuentes de emisión, sus tiempos de vida y reacciones que generan en la atmósfera, además sus efectos sobre la salud, plantas, animales y bienes materiales. Todo esto con el fin de encontrar cuales pueden ser los valores

guías y límites más adecuados que no frenen el desarrollo económico y que a la vez garanticen una calidad del aire segura.

Desde el año 2003, el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, a través de su Programa de Estudios de Calidad del Aire (PECAIRE), unió esfuerzos con la Sección de Parques de la Municipalidad de San José, para instalar en la ciudad de San José un sistema de monitoreo de algunos contaminantes criterio del aire, a saber, material particulado PM-10 y dióxido de nitrógeno, así como la concentración de aniones presentes en las partículas (como indicadores de la generación de contaminantes secundarios formados a partir de reacciones entre gases y partículas emitidas directamente a la atmósfera). Producto de este esfuerzo se cuenta con tres años de monitoreo continuo que permite el análisis de tendencias y el estudio riguroso del efecto de decisiones políticas, económicas y sociales sobre la calidad del aire en la ciudad capital. Sin embargo, el desconocimiento del estado de la situación en otras ciudades del país, motivó al Laboratorio a realizar una alianza estratégica con la Municipalidad de Belén, con el fin de incorporar a partir del año 2006, un programa de monitoreo en el cantón de Belén.

Contaminación del aire:

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos "contaminan" el aire. Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquéllos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar como contaminante a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente. Estos efectos pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas. Por lo general, los contaminantes del aire se clasifican en primarios o secundarios. Un contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos. Un contaminante secundario es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles. Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono, componente primario del smog fotoquímico.

Cuando se discuten las fuentes de contaminación del aire, comúnmente se usan cuatro términos: móvil, estacionaria, puntual y del área. Las fuentes móviles incluyen diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones y aviones. La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono y menores cantidades de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Las regulaciones para el control de emisiones de automóviles han reducido la cantidad de contaminantes lanzados al aire. Sin embargo, debido al creciente número de vehículos, los automóviles siguen siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

Las fuentes estacionarias son las instalaciones no movibles, tales como establecimientos industriales. Una fuente puntual se refiere a una fuente en un

punto fijo, tal como una chimenea o tanque de almacenamiento que emite contaminantes. Una fuente del área se puede relacionar con una serie de fuentes pequeñas que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región.

Los contaminantes de aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterio se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. En el nivel internacional los contaminantes criterio son:

Monóxido de carbono (CO)

Óxidos de azufre (SO_x)

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Ozono(O₃)

Material particulado

Plomo(Pb)

A continuación se discuten y presentan los resultados obtenidos del monitoreo de algunos contaminantes criterio en el cantón de Belén, durante el período 2006-2007.

1. Material Particulado:

Inicialmente, con la denominación de partículas totales en suspensión (PTS) se reconoció a una amplia categoría de material particulado como contaminante criterio. Las PTS son las partículas sólidas o líquidas del aire entre las cuales se incluyen contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. Desde la segunda mitad de la década de 1980, varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM₁₀). El motivo de este cambio, es que las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre

porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones.

Por lo general, las partículas finas y gruesas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos, aunque es probable que haya cierta superposición. Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en las partículas gruesas. Las partículas finas y gruesas normalmente se comportan de manera diferente en la atmósfera. Estas variaciones deben tomarse en cuenta al interpretar valores monitoreados en sitios específicos y el comportamiento de las partículas después de que ingresan a las viviendas y edificios, donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. Las partículas finas generalmente permanecen más tiempo en la atmósfera (de días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a dispersarse de manera más uniforme en un área urbana o en una región geográfica extensa. Las partículas más grandes se depositan más rápidamente que las pequeñas. Esto da lugar a que en una región la concentración de la masa total de partículas más gruesas sea menos uniforme que la de partículas finas.

En la naturaleza, el material particulado se forma por muchos procesos, tales como la polinización de plantas, incendios forestales y los efectos del viento sobre ciertas superficies. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos, como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la aplicación de fertilizantes, el almacenamiento de granos y la industria de la construcción. El material particulado puede tener efectos perjudiciales sobre la salud y bienestar del hombre, puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de algunas enfermedades cardiovasculares, y puede afectar la visibilidad en ciertas zonas de alta contaminación. Así mismo puede retrasar la velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre.

Partículas Totales en Suspensión:

Para realizar el muestreo del material particulado total en suspensión, se seleccionó un punto de monitoreo ubicado en el cantón de Belén, que se caracterizan por ser categoría B, de acuerdo con la clasificación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (5). La categoría B se asigna a aquellos sitios donde se presenta una alta concentración de contaminantes con bajo potencial de acumulación, ubicado de 3 a 15 metros de una arteria de alto flujo vehicular con buena ventilación natural.

Localización: En las instalaciones de la empresa Intermodal, La Asunción, a 13 m de la carretera y 3 m de altura.

La campaña de muestreo se realizó en el período comprendido entre enero y octubre del 2007, para lo cual se recolectaron muestras tres veces por semana, los días lunes, miércoles y viernes.

Para la toma de las muestras se utilizó un muestreador de aire de alto volumen marca Thermo Andersen, modelo MFC, en donde el aire ambiente es aspirado, durante 24 horas, a una velocidad de $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ y dirigido hacia un filtro de fibra de vidrio. El equipo cuenta con una bomba de vacío, la cual se encuentra conectada a un sensor de masa que permite no solo seleccionar el flujo de aire, al cual se realiza el muestreo, sino que también regula la potencia de la bomba para mantenerla constante a través de todo el período de muestreo. Además, el muestreador tiene incorporado un cronómetro, con el fin de contabilizar el tiempo total de muestreo.

Una vez cada tres muestreos se realizó la calibración del flujo del muestreador 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. Las mediciones de caída de presión se realizaron con dos manómetros de agua conectados al orificio y al equipo, respectivamente.

En la recolección de las partículas, se utilizaron filtros de fibra de vidrio marca Whatman (CAT No 1829932, Grado G653), los cuales cumplen con las siguientes características:

Tamaño: $(20,3 \pm 0,2)$ cm x $(25,4 \pm 0,2)$ cm.

Área expuesta: 406.5 cm².

Eficiencia de colección: 99% mínimo para partículas de 0,3 μm de diámetro.

Rango de la caída de presión: 5,6 a 7,2 kPa (42 a 54 mm Hg), a un flujo de 1,5 m³_{ptn}/min a través del área expuesta.

pH: Con un rango de 6 a 10.

Pérdida máxima de material del filtro: 2.4 mg.

Resistencia a la tensión: 500 g para una tira de 2 cm de ancho.

Dichos filtros se acondicionaron al menos 24 horas en una desecadora bajo las siguientes condiciones: temperatura 15-30°C y humedad menor al 40% antes de ser pesados en balanza analítica, al inicio y después de la conclusión de los muestreos. El transporte de los filtros al campo se realizó en bolsas rotuladas con cierre hermético.

Variación de los niveles de Partículas Suspendidas Totales en Belén

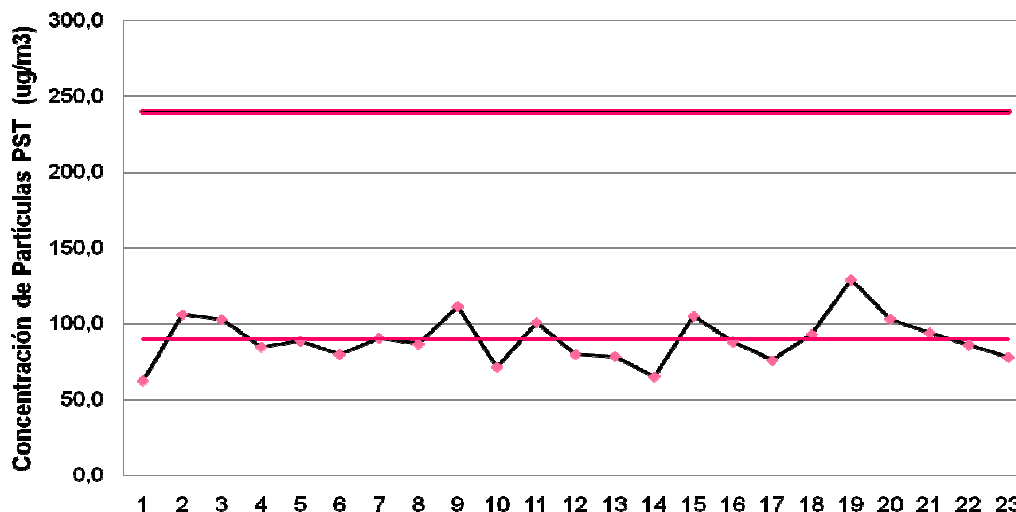


Figura N°1. Variación de los valores promedio diarios de PST el sitio de muestreo de enero a octubre de 2007.

A partir de la figura 1 se puede inferir que para el sitio de muestreo no se sobrepasa el valor de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ normado para partículas suspendidas totales por el decreto 30221-S para 24 horas de muestreo, sin embargo en un 27% de las oportunidades se supera el valor establecido como promedio anual en el decreto de inmisiones ($90 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estos resultados serían de esperar debido a la gran cantidad de vehículos y rutas de transporte público que circulan por esta zona aunado a la topografía de la misma.

1.2. Material Particulado PM-10:

Tal y como se menciona anteriormente, las partículas PM-10 son todas aquellas que son recolectadas con un 50% de eficiencia con un muestreador de alto volumen, cuyo diámetro o punto de corte es de $10 \mu\text{m}$. La concentración de PM-10 en el aire es un indicador de los niveles de partículas presentes en el medio, que tienen la capacidad de ingresar a la zona torácica del sistema respiratorio. Las partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) sirven como núcleos de condensación del agua y de otros vapores, por lo que adsorben metales pesados y agentes microbiológicos que al ser inhalados se transportan a los pulmones. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración de

partículas a las que se exponen a las poblaciones. Las afectaciones más importantes son las infecciones respiratorias, alergias y asma. Estas partículas son producto de actividades y procesos naturales o antropogénicos como la construcción, los automotores a diesel, los incendios forestales, algunas industrias manufactureras y la resuspensión del polvo de las calles.

Para realizar el muestreo del material particulado respirable, se utilizó el sitio ubicado en el costado oeste del Centro Comercial La Ribera. La campaña de muestreo se realizó en el período comprendido entre los meses de enero a octubre de 2007, para lo cual se recolectaron muestras tres veces por semana, los días lunes, miércoles y viernes. Para la toma de las muestras se utilizó un muestreador 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 horas, a través de la abertura circunferencial ubicada en la parte superior del cabezal (Figura 2). Una vez dentro del cabezal de muestreo, el flujo de aire se acelera a través de 9 boquillas impactadoras a una velocidad de $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ para después ser dirigido hacia la superficie de impactación. Debido a su momento, aquellas partículas que poseen diámetros aerodinámicos mayores a $10 \text{ }\mu\text{m}$ quedan retenidas en la superficie de la cámara, mientras que las restantes poseen la suficiente inercia como para continuar a través de un sistema de 16 boquillas de diámetro especificado hacia un filtro de fibra de vidrio. El equipo cuenta con una bomba de vacío, la cual se encuentra conectada a un sensor de masa que permite no solo seleccionar el flujo de aire, al cual se realiza el muestreo, sino que también regula la potencia de la bomba para mantenerla constante a través de todo el período de muestreo. Además, el muestreador tiene incorporado un cronómetro, con el fin de contabilizar el tiempo total de muestreo.

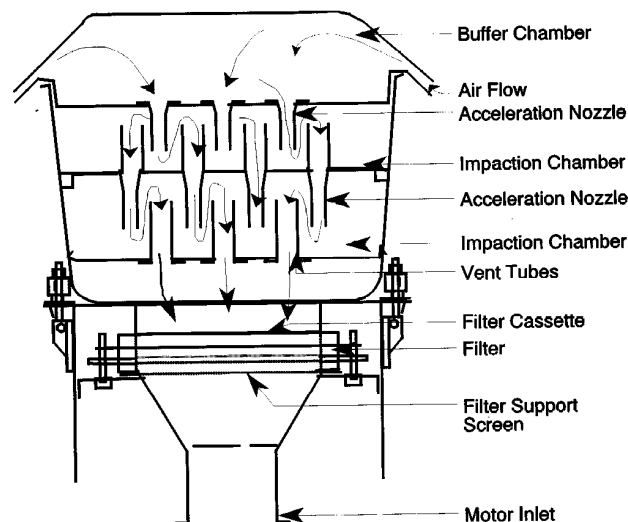


Figura 2. Esquema de un muestreador de aire de alto volumen empleado en la recolección de material particulado PM-10.

Una vez cada tres muestreos se realizó la calibración del flujo del muestreador 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. Las mediciones de caída de presión se realizaron con dos manómetros de agua conectados al orificio y al equipo, respectivamente. Para cada uno de los muestreos se tomaron registros de las condiciones promedio de temperatura y presión atmosférica con la ayuda de un anemómetro marca KESTREL, modelo 5000.

Al analizar los resultados obtenidos durante el período del monitoreo, se puede observar que para el sitio de muestreo (figuras 3) no se sobrepasa en ningún día de medición, la norma nacional para 24 horas que corresponde a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este hallazgo permite inferir un comportamiento similar al encontrado en la Ciudad de San José con respecto a las evaluaciones de este mismo parámetro.

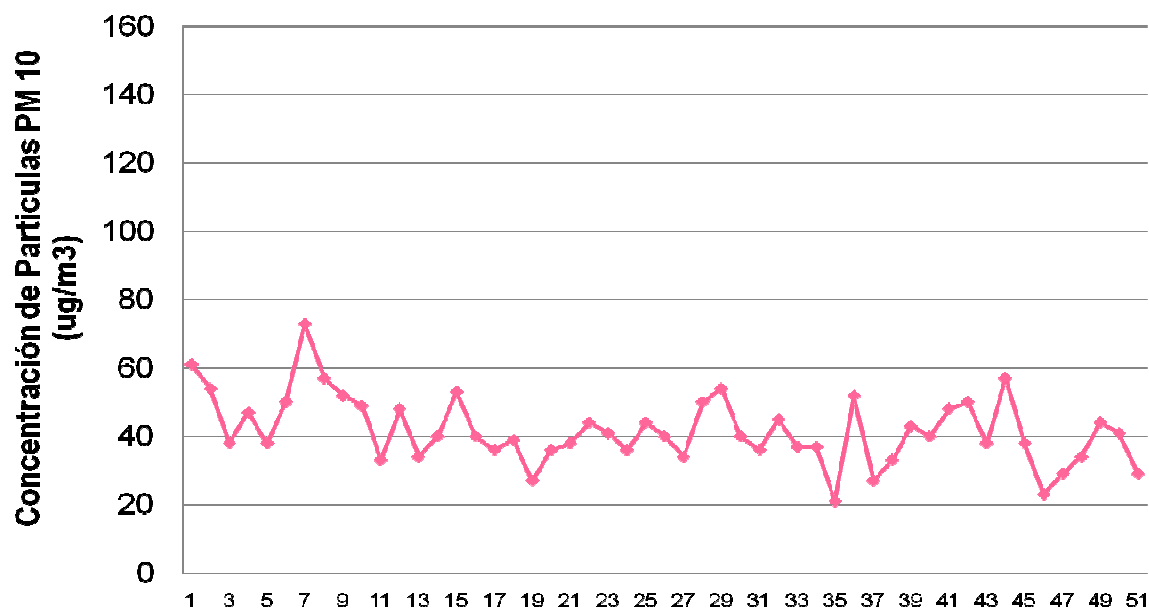


Figura N°3. Variación de los valores promedio diarios de PM-10 en el sitio ubicado en el Centro Comercial La Ribera, durante los meses de enero a octubre de 2007.

Además de realizar mediciones de la concentración másica, se evaluó la composición fisicoquímica del material particulado PM₁₀, con el fin de obtener los niveles de sulfato, nitrato y cloruro presentes mediante una extracción acuosa de una porción de los filtros, la cual se inyectó en un cromatógrafo de intercambio iónico con supresor de ionización. El objetivo de realizar estos análisis es medir en forma aproximada el efecto de las reacciones atmosféricas que generan material particulado secundario a partir de gases, que son emitidos directamente tanto desde fuentes primarias fijas como móviles, sobre la calidad del aire.

El sulfato ambiental puede ser tanto de origen primario como secundario. El sulfato primario se refiere a aquel emitido directamente a la atmósfera como sulfato particulado, o como SO₃ o H₂SO₄ en fase gaseosa, los cuales rápidamente forman núcleos y se condensan para formar partículas. El sulfato secundario se refiere al material formado por la conversión de gas a partícula a través de una reacción química del dióxido de azufre u otros gases que contienen azufre, para formar SO₃, H₂SO₄ o

SO₄²⁻ en disolución. La mayoría del sulfato encontrado en la troposfera es secundario, formado a partir de dióxido de azufre (6).

Tabla I. Niveles promedio mensuales de cloruro, sulfato, nitrato, fosfato y fluoruro presentes en el material particulado (PM₁₀) colectado en el sitio de muestreo durante los meses de enero a octubre 2007.

Concentración (ug/m ³)	Cloruro	Sulfato	Nitrato	Fosfato	Fluoruro
N	51	51	51	5	21
Máximo	2,61	7,98	0,34	0,72	0,37
Mínimo	0,12	0,53	0,13	0,11	0,09
Promedio	0,61	3,26	0,16	0,48	0,14
Desviación Estándar	0,44	1,36	0,08	0,26	0,08

Vale la pena rescatar que generalmente, las mayores concentraciones de sulfato en el material particulado se presentan en meses poco lluviosos, hecho que se puede explicar debido a que la eliminación de dióxido de azufre mediante su transformación química a ácido sulfúrico y su incorporación en las precipitaciones es casi nula durante estos períodos, predominando la deposición seca mediante la formación de material particulado.

Con respecto a los niveles de concentración de aniones en material particulado es importante rescatar, que se presenta una mayor concentración de sulfato, fenómeno que es similar al detectado en el caso de la Ciudad de San José.

2. Dióxido de Nitrógeno:

Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos de nitrógeno y oxígeno. El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente; ninguno de los dos es inflamable y son de incoloros a pardos en apariencia a temperatura ambiente. El monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre 70 F. Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Los óxidos de nitrógeno son usados en la producción de ácido nítrico, lacas, tinturas y otros productos químicos (6).

Los niveles bajos de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones, 1 ó 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte (6).

Para la determinación de los niveles de dióxido de nitrógeno se utilizó el método de muestreo pasivo.

El procedimiento pasivo de captación de muestras tiene su fundamento en los fenómenos de difusión y permeación, por los cuales las moléculas de un gas, que están en constante movimiento, son capaces de penetrar y difundirse espontáneamente a través de la masa de otro gas hasta repartirse de manera uniforme en su seno, así como de atravesar una membrana sólida que le presente

una determinada capacidad de permeación. Debido a estos fenómenos, un dispositivo que responda al esquema representado en la figura 10, situado en un ambiente contaminado durante cierto tiempo, será capaz de incorporar sobre el material captador dispuesto en su interior una determinada cantidad del contaminante que será proporcional, entre otros factores, a la concentración ambiental del mismo (6).

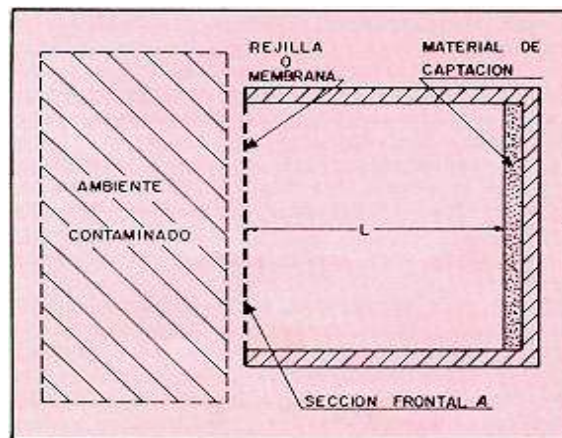


Figura 4. Esquema de un dispositivo de muestreo pasivo.

Para el monitoreo de dióxido de nitrógeno en el Cantón de Belén se ubicaron 11 puntos. La localización de los sitios es la siguiente:

Punto de muestreo	Ubicación
1	Frente al Hotel Herradura
2	Residencial Cariari Doña Rosa
3	Costado Sur de la Plaza de la Asunción
4	Costado Norte de la empresa FIRESTONE
5	Frente a la entrada del Hotel Marriot
6	Frente a la Iglesia de La Ribera

7	Frente a la entrada Principal del Balneario Ojo de Agua
8	Frente al Centro Comercial Plaza Belén
9	Polideportivo de Belén
10	Costado Norte del Palacio Municipal
11	Frente a la empresa Kimberly Clark

Para cada uno de los puntos se calculó el promedio de 6 ó 4 réplicas de los tubos pasivos, expuestos durante 22 días, en los contenedores para el monitoreo situados en postes del tendido eléctrico, a una altura de 3 m, en cada uno de los sitios de monitoreo, durante los meses de abril del 2006 a octubre del 2007.

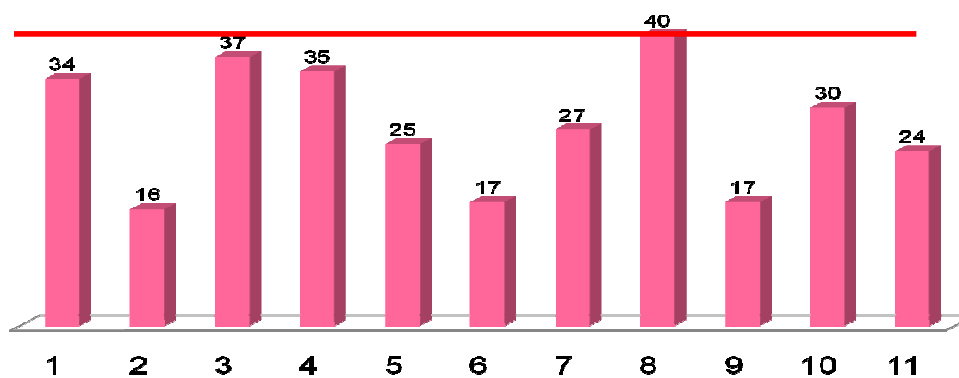
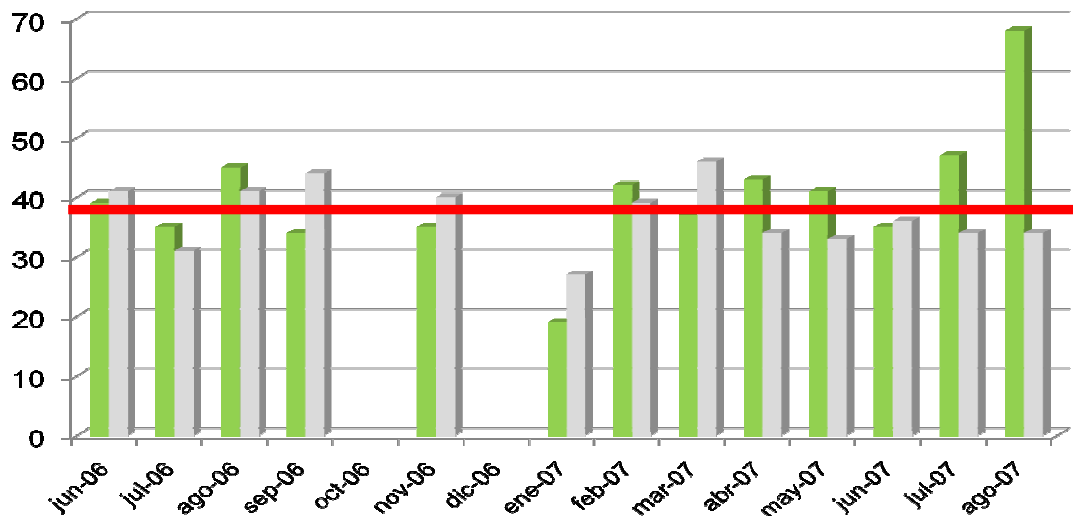


Figura N°5. Promedio anual de la concentración de dióxido de nitrógeno obtenida de abril 2006 a octubre 2007 en los once puntos de monitoreo ubicados en el Cantón de Belén.

Para los sitios de muestreo monitoreados se encuentra que únicamente en el caso del Centro Comercial Plaza Belén, el valor promedio anual iguala la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 40 ug/m³, sin embargo para este punto la concentración de NO₂ supera

dicho límite mensual en un 38% de los meses de muestreo, alcanzando incluso, los 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el mes de agosto de 2007.



Verde: Centro Comercial Plaza Belén

Gris: Plaza de la Asunción

Figura N°6. Variación mensual de la concentración de dióxido de nitrógeno obtenida en dos puntos de monitoreo ubicados en el Cantón de Belén.

CONCLUSIONES

- 1.** Se determinó que el punto que presenta mayor grado de contaminación por Dióxido de Nitrógeno, es el ubicado frente al Centro Comercial Plaza Belén, superando el límite máximo permisible de 40 ug/m^3 (promedio aritmético mensual) establecido por la OMS en un 38% de los meses medidos. Lo anterior se puede deber al alto flujo vehicular que circula por este sector especialmente de vehículos pesados.
- 2.** El parámetro PM-10 medido a partir del mes de enero del año 2007 no sobre paso el límite máximo permisible de 150 ug/m^3 (promedio aritmético en 24 horas) establecido en el decreto 30221-S, sin embargo los promedios mensuales fueron mayores al promedio anual especialmente en los meses de época seca.
- 3.** Al analizar los niveles de sulfato presentes en el material particulado se encontró una concentración de $3,26 \text{ ug/m}^3$, la cual no es significativamente diferente a un nivel de confianza del 95%, con el promedio anual reportado en los dos sitios de muestreo ubicados en la Ciudad de San José y que están operando en forma simultánea a la estación de Belén.

RECOMENDACIONES:

1. Es importante que la Municipalidad de Belén coordine con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el ingreso y salida a la ciudad por otras vías alternas de forma tal que se descongestione los puntos ubicados en la Plaza de la Asunción y frente al Centro Comercial Plaza Belén, que son los puntos con mayores concentraciones de NO₂.
2. Este primer diagnóstico es un insumo importante para que la Municipalidad de Belén, posea información oportuna para la toma de decisiones en lo referente al uso del suelo, planes reguladores y viabilidades ambientales de urbanizaciones, centros comerciales (mall) y establecimientos industriales sobre todo en aquellas zonas que se presentan niveles de contaminación importantes.
3. Es importante implementar mediciones activas en forma constante durante un año, de gases derivados de los procesos de combustión tales como monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, en aquellos puntos en donde el muestreo pasivo a señalado niveles altos de contaminación.
4. Se debe revisar el Reglamento 30221-S con el fin de incluir nuevos parámetros y metodologías de muestreo. En este caso se considera importante incluir el sulfato presente en el material particulado debido a que en este diagnóstico se encontró en uno de los sitios concentraciones altas en comparación a otros países. Dentro de las nuevas metodologías se debe incorporar el muestreo pasivo, ya que es una herramienta útil para un país que carece de presupuesto para sostener una red de monitoreo totalmente automática.
5. Sería de gran utilidad presentar los datos obtenidos a la Dirección de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud para que sirvan de insumo a estudios de causa-efecto con base al índice de enfermedades respiratorias que son atendidas por la Caja Costarricense de Seguro Social. Lo anterior con el fin de poder calcular los costo en salud producidos por la contaminación atmosférica para el cantón de Belén.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Herrera, J. Estado de la Calidad del Aire en San José: Año 2004. Ponencia realizada para el XI Informe del Estado de la Nación, 2005.
2. Banco Mundial. 1996. *Brazil. Managing environmental pollution in the State of Rio de Janeiro. Volume II. Technical Report*. Natural Resources, Environment and Rural Poverty Division. Country Department I. Informe n.º 15488-BR.
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). 2001. *Programa Regional de Evaluación de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina y el Caribe*. Lima: OPS/OMS, CEPIS.
4. Dixon, J. A., L. F. Scura, R. A. Carpenter y P. B. Sherman. 1994. *Análisis económico de impactos ambientales*. Edición latinoamericana, publicada en asociación con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba: Earthscan Publications.
5. Eskeland, G. S. 1994. "The costs and benefits of an air pollution control strategy for Santiago, Chile". En Banco Mundial, *Chile: managing environmental problems: economic analysis of selected issues*. Informe n.º 13061-CH. Washington D. C.: Banco Mundial.
6. Herrera, J. Rodríguez, S. Tercer Informe de Calidad del Aire de la Ciudad de San José, Informe Técnico, 2007.