



Informe de Calidad del Aire



Cantón de Belén: Año 2013

Contenido

	Página
Contenido	2
Calidad del aire: introducción	3
Monitoreo de calidad del aire: características	18
Estado de la calidad del aire en el año 2013: resultados	20
Conclusiones	27
Referencias	28

Calidad del Aire: Introducción

La contaminación del aire se define como las impurezas de la atmósfera por la inyección y permanencia en un lapso de tiempo de materia líquida, sólida o gaseosa ajena a su composición normal, o en por el aumento desproporcionado de algunos de sus compuestos, no siempre los contaminantes que se encuentran en la atmósfera son tóxicos o son producidos por el ser humano, ya que cuando se dan grandes liberaciones de material particulado o de gases en los volcanes, se presenta un caso de contaminación natural, ya que se está sobresaturando el medio con dióxido de azufre, dióxido de carbono, entre otros. Otra fuente de contaminación natural es la generada por los incendios forestales, los cuales pueden llegar a liberar dióxido de carbon y cenizas entre otros compuestos (Puigcerver, 2008).

Si bien es cierto la naturaleza contribuye a la problemática de la contaminación del aire, no se puede dejar de lado el aporte predominante las actividades humanas, las cuales proporcionan un alto volumen de estos compuestos contaminantes; y es que la vida moderna como se conoce implica el deterioro de la calidad del aire en algún grado, pues muchos de los procesos del desarrollo de la humanidad dependen de la combustión, principal causa de la contaminación atmosférica, y que en mayor medida se da de forma incompleta, ya sea porque las materias primas presentan impurezas o porque no se siguen los procedimientos necesarias para evitar un posible episodio de polución (Warner, 2005).

Tipos de Contaminantes

Para facilitar el estudio y control de la contaminación atmosférica se ha establecido una categorización que aglomera a los compuestos de acuerdo a sus propiedades químicas, efectos, modo de generación, ente otros (Warner, 2005), una de estas clasificaciones corresponde a los primarios y secundarios, en donde la primera clase está comprendida por aquellos que son emitidos a la atmósfera directamente desde la fuente y que actualmente representan más del 90% de los problemas atmosféricos (Figueroa, 2004) y corresponden a:

- Dióxido de Azufre SO_2
- Monóxido de Carbono CO
- Óxidos de Nitrógeno NO_x
- Amoniaco NH_3
- Compuestos Orgánicos Volátiles
- Partículas PM_x

En cuanto a los contaminantes secundarios son todos aquellos compuestos derivados de los contaminantes primarios que han sufrido procesos químicos en la atmósfera. Estos agentes son generados principalmente por la tendencia natural de la atmósfera a oxidar los gases que se encuentran diluidos en la misma, caso de ello es el ácido sulfúrico el cual es un derivado del dióxido de azufre, también lo es la situación del ozono troposférico, producido por procesos fotoquímicos en donde interactúan los hidrocarburos y compuestos nitrogenados (Manahan, 2007).

Meteorología y Contaminación Atmosférica

Para poder comprender bien la afectación que pueden tener estos gases y partículas sobre la salud humana y del ambiente es indispensable conocer las características meteorológicas que inciden de forma directa sobre estos contaminantes (Alfayate, 2008). La atmósfera se encuentra dividida en 5 capas: la troposfera que tiene un espesor de 12 kilómetros con una altura máxima alrededor de los 17 kilómetros desde el Ecuador y una mínima de 7 kilómetros en los polos; esta región es la más densa y contiene aproximadamente el 75% de la masa total de la atmósfera (Cardenas, 2013).

Seguidamente, se ubica la estratosfera, la cual inicia a los 20 kilómetros sobre el nivel del mar y alcanza los 50 kilómetros de altura, es en esta capa en donde se dan las mayores concentraciones de ozono que protegen a la tierra de los rayos ultravioleta, mediante la absorción de la radiación, posteriormente se localiza la mesosfera que alcanza los 100 kilómetros y es en donde se establecen las nubes luminosas producto de la estratificación de los gases, finalmente se encuentran la termosfera y la exosfera, las cuales son las capas más externas de la tierra y se encuentran sobre los 350 Kilómetros, en estas regiones se concentran principalmente iones de oxígeno, hidrógeno y helio (Zuñiga, 2010).

Existen diversidad de fenómenos meteorológicos que actúan sobre los contaminantes atmosféricos, los cuales pueden modificar el tiempo de retención, deposición y remisión de una sustancia, por ello es indispensable identificar aquellos factores incidentes en la dispersión de contaminantes (Yadav, 2010). Algunos de estos elementos son:

Radiación Solar

La interacción fotoquímica que se da entre los rayos UV y los compuestos químicos de la atmósfera, genera una serie de reacciones de fotoionización y fotodisociación de los gases presentes, en donde el primer proceso libera moléculas catiónicas en aquellas regiones en donde hay mayor presencia de radiación solar, por otro lado la fotodisociación consiste básicamente en la descomposición de

los químicos en radicales libres, así como en su estado elemental (Singhal, 2009), un caso de la fotodisociación es la formación de Ozono a partir de la interacción entre la radiación solar y el oxígeno (Rottman, 2005).

Presión Atmosférica

Para poder cuantificar la dispersión de los contaminantes y promover la buena calidad del aire es necesario determinar el comportamiento de la polución así como los factores incidentes sobre la misma (Warner, 2005), la presión atmosférica es uno de estas variables y se define como el peso ejercido por una columna de aire sobre un punto específico, que está compuesta por una variedad de elementos químicos que interactúan entre sí (Ledezma, 2011). La presión atmosférica varía según el grado de confinamiento de las partículas así como de la temperatura (Quereda, 2005).

Viento

Tanto el Sol, como el suelo y la atmósfera conforman un sistema complejo, el cual tiene cambios en su temperatura, lo que produce gradientes de presión en las masas de aire, las cuales se mueven de forma horizontal, dando origen a los vientos y con ello facilitando la disolución de los contaminantes dentro de la atmósfera, siempre que estos compuestos estén lo más distante de la superficie de la tierra, pues la fuerza de rozamiento disminuye conforme se aumenta la altitud y a su vez los vientos aumentan su velocidad (Puigcerver, 2008).

La dirección del viento depende de una serie de fenómenos como lo es la fuerza de Coriolis, gradiente de presión, fricción y los sistemas de presión, los cuales al ejercerse sobre las corrientes de masas hacen que el viento se traslade de las zonas con temperaturas altas hacia zonas con bajas temperaturas (Marínez, 2006).

Estabilidad Atmosférica

Las turbulencias ocasionadas por los movimientos verticales de las masas de aire, se dan en la troposfera principalmente, pero su importancia se centra en especial en la llamada *capa geográfica* la cual está comprendida entre los primeros 2000 metros sobre la superficie terrestre, sin embargo es en los primeros 100 metros donde se da la mayor actividad contaminante por parte de las actividades humanas (Quereda, 2005). Al igual que los vientos sobre la estabilidad atmosférica rigen fenómenos que hacen posible su efecto, entre ellos están el gradiente térmico vertical, gradiente adiabático seco y húmedo, así como la presión (Martínez, 2006). Dentro de las categorías de estabilidad atmosférica se encuentran:

- *Estable*: Sucede cuando la masa de aire tienen un gradiente adiabático mayor al gradiente vertical del medio, lo que implica que dicha masa tiene temperatura más bajas y por lo tanto es más denso y no permite el movimiento vertical de los contaminantes que se encuentran por debajo de este cuerpo (Guevara, 2008).
- *Inestabilidad*: Este fenómeno se da cuando el gradiente adiabático de la masa de aire es menor al gradiente vertical del medio, lo que implica que la masa de aire es más caliente y por lo tanto va a sobrepasar el medio circundante el cual es más denso (Figueroa, 2004).
- *Adiabática*: Esta condición se presenta cuando el gradiente adiabático y el gradiente vertical del medio presentan un enfriamiento de $9,8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, por lo que la masa de aire que puede tener contaminantes, puede transportarse verticalmente influenciado principalmente por el descenso de la presión atmosférica (Contreras, 2011).

Topografía del Terreno

No sólo las condiciones meteorológicas inciden sobre la dispersión de los contaminantes, las condiciones del terreno también son factores determinantes, ya que dependiendo del uso del suelo, se puede ver afectada la velocidad de los vientos, las corrientes de aire, así como también puede propiciar cambios en las temperaturas por la presencia de elevaciones (Manahan, 2007).

Fuentes de Emisión Antropogénicas

La contaminación antropogénica se puede generar por diversos medios, ya sea por un gran número de emisores que individualmente no producen mucha contaminación pero su sumatoria puede llegar a ser un problema muy serio de controlar, así también existen fuentes móviles las cuales se le atribuye estrictamente a los medios de transporte terrestre y por último existen aquellos entes industriales que reciben el nombre de fuentes puntuales y que generan una gran diversidad de contaminantes entre los que se destaca a los contaminantes criterio y no criterio (INE, 2005).

Clasificación de los Contaminantes del Aire

Cada contaminante atmosférico tiene propiedades físicas, químicas, de naturaleza y afectación a la salud humana, que lo hace distinguirse del resto de los compuestos, sin embargo ciertos grupos comparten características que hace fácil su categorización (Taylor y Francis, 2006).

Estas Clasificaciones son:

- Acorde al método de ingreso a la atmósfera:

- Primarios
- Secundarios
- Estado físico del contaminante
 - Particulado
 - Gaseoso
- Composición química
 - Contaminantes orgánicos
 - Contaminantes inorgánicos
- Acorde a su Naturaleza o afectación a la salud
 - Criterio
 - Peligrosos

Contaminantes Criterio

Estos tipos de compuestos, son indicadores estándares de la calidad ambiental y fueron establecidos bajo este criterio debido a los estudios realizados sobre su comportamiento atmosférico y su afectación a la salud humana y a la vegetación natural (Taylor y Francis, 2006), dentro de esta clasificación se encuentra el monóxido de Carbono, dióxido de Azufre, ozono troposférico, partículas suspendidas totales, material particulado con diámetro menor o igual a 10 micras, material particulado con diámetro igual o menor a 2,5 micras, Plomo, Dióxido de Nitrógeno (INECC, 2013).

Monóxido de Carbono CO

Poco más del 90% del monóxido de carbono que existe en la atmósfera proviene de fuentes naturales y es la reacción oxidativa anaerobia que sufre el metano el mayor contribuyente (Holloway, 2010), en cuanto a las emisiones antropogénicas, el mayor productor es el medio de transporte, el cual mediante la combustión incompleta libera este contaminante a la atmósfera, además de esta fuente móvil, las plantas de combustión, rellenos sanitarios, industria petroquímica, refinerías de petróleo, transporte de petróleo entre otros también son contribuyentes (Alfayate, 2008), se estima que anualmente se liberan entre 300 a 600 toneladas (Basavanthappa, 2008). La combustión incompleta es la principal causa de formación de CO, a continuación se presenta la reacción química:



Para evitar una intoxicación con CO la Organización Mundial de la Salud, estableció como límite promedio de exposición 9 ppm CO en un periodo de 8 horas (jornada laboral), mientras que para una exposición de 1 hora la concentración recomendada es de 26 ppm CO (Ghosh, 2014), los efectos en la salud humana por una intoxicación son: cefalea, náuseas, vómitos, mareos, desorientación y problemas neuropsiquiátricos (Gutiérrez, 2011).

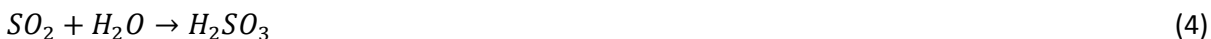
Dióxido de Azufre

El 11% de la contaminación por SO₂ (TMSO₂/anual) proviene de fuentes naturales entre las cuales se destacan las erupciones volcánicas, las cuales emiten además de dióxido de azufre otros compuestos como el H₂S y Sulfatos que son liberados a la atmósfera, también las bacterias de los géneros *thiobacilius spp* así como los quimilolitótrofos del azufre y las bacterias verdes del azufre son capaces de liberar este dióxido mediante la oxidación del H₂S, el cual es liberado hacia el medio (Madigan, 2009).

El otro porcentaje de la contaminación proviene de actividades humanas, de las cuales son la explotación y quema tanto de gas natural como el petróleo y su refinación junto a las centrales eléctricas son los mayores emisores con un total de 75 TMSO₂/anual, la principal reacción química que sufre el Azufre para generar SO₂ proviene de la interacción entre el Ozono y el Ácido Sulfhídrico (Mackenzie, 2005), a continuación se muestra la reacción:



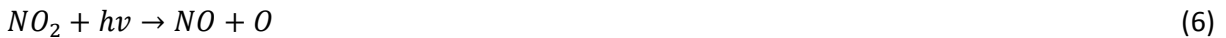
La presencia de este en la atmósfera promueve el desarrollo de smog húmedo, el cual se da cuando las partículas de agua reaccionan con dicho compuesto, el cual tiene propiedades que lo hacen ser ácido cuando entra en contacto con el líquido (Alfayate, 2008).



La exposición a concentraciones sobre las 0,19 ppm de SO₂, durante 24 horas puede ocasionar problemas en la respiración, incrementar el ritmo cardiaco y ocasionar pérdida de la fuerza muscular, no obstante no en todos los seres humanos la afectación se da de igual manera, en el caso de las personas que tienen asma o son hiperactivas pueden presentar estrechamiento de las vías respiratorias, bajas tasas de flujo respiratorio y falta de aliento, en cuanto a los animales, este compuesto afecta los pulmones ocasionando hemorragias y congestión pulmonar (Tsunoda, 2011).

Ozono

El ozono se encuentra naturalmente alrededor de los 25 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, propiamente en la troposfera y su función es absorber los rayos ultravioleta quienes desintegran este compuesto con una radiación de entre 0,2 μm y 0,3 μm , esta desintegración libera oxígeno, el cual propicia la formación de Ozono por medio de la interacción de los elementos dentro de la química de la atmósfera (Cracknell, 2012), sin embargo se ha encontrado la presencia de este compuesto en la troposfera y se ha atribuido su concentración a las actividades humanas en especial a aquellas que emiten nitrógeno, el cual absorbe la radiación solar y se desintegra liberando un ion de Oxígeno el cual reacciona con oxígeno molecular generando el compuesto tóxico (Cabildo, 2013).



La exposición a valores entre los 0,6 ppm O_3 y 0,8 ppm O_3 durante un tiempo de 60 minutos puede provocar dolores de cabeza y náusea, conforme se aumenta su concentración la persona puede verse propensa a la infección bacteriana, falta de aliento, en el caso de los animales este compuesto produce cambios morfológicos y funcionales en los pulmones cuando hay una exposición crónica, en cuanto a las plantas se reduce la producción de frutos, afecta el crecimiento e interfiere con el metabolismo (Tsunoda, 2011).

Partículas Suspensas Totales

Más del 80% de las PST son generadas por fuentes naturales ya sea por el arrastre del polvo ocasionado por el viento, aerosoles marinos, incendios, erupciones volcánicas, erosión de los suelos, entre otros, en cuanto a las actividades humanas los principales generadores de estas partículas son las industrias cementeras, siderúrgicas, canteras, mineras, tratamiento de residuos sólidos, automóviles, entre otros (Alfayate, 2008).

Estas partículas están compuestas principalmente de metales pesados (Mg, Cu, Cr, Mn, Pb, entre otros), también se pueden encontrar compuestos orgánicos como hidrocarburos alifáticos y aromáticos, dioxinas, benzofuranos, entre otros, la presencia de compuestos inorgánicos aparte de los metales pesados también son un componente importante de las PST entre los cuales se mencionan óxidos de azufre, nitrógeno, cloruros, aerosoles (Alfayate, 2008), el tamaño mínimo para

que una partícula pueda ser catalogada como total es de 0,1 micrómetro y su valor máximo puede sobrepasar los 30 micrómetros (Spellman, 2008).

Los daños a la salud humana asociados a las PST son problemas cardiovasculares, asma, deficiencia respiratoria, para evitar estos problemas en la salud la Organización Mundial de la Salud recomienda que las inmisiones no sean más de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anuales, mientras de forma diaria el rango ha de ser $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Verma, 2006).

PM₁₀

Este tipo de partícula es generada en una gran diversidad de procesos industriales como lo son la combustión de automotores, fertilizantes químicos, combustión de residuos urbanos, extracción y combustión de gas natural entre otros, en cuanto a las fuentes naturales está asociado a los volcanes e incendios forestales (Hill, 2010), este material comprende el 73% de las emisiones de material particulado que se emite a la atmósfera, por lo cual es necesario implementar tecnologías de colección eficientes en las industrias (Warner, 2005).

Estas partículas están definidas como aquel material con un diámetro de 10 micras colectado con un equipo especializado cuya eficiencia sea del 50%, dentro de esta definición se incluye aquel material con un diámetro igual o menor a 10 micras (Spellman, 2008), algunas afectaciones ocasionadas por la exposición aguda a concentraciones que sobrepasan las $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el límite recomendado ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas) en seres humanos son problemas cardiovasculares, obstrucción crónicas de los pulmones y neumonía, en cuanto a la exposición crónica diferentes estudios realizados en Europa lo asocian al cáncer de pulmón y al aumento de muertes provocadas por deficiencia pulmonar y cardiovascular (Hansell, 2014).

PM_{2,5}

Son aquellas partículas con un diámetro aerodinámico de 2,5 micras colectado con un equipo de especializado con una eficiencia del 50%, dentro de este concepto se incluye aquel material con un diámetro igual o menor a 2,5 micras (Spellman, 2008), algunas fuentes de emisión antropogénicas de este material son plantas generadoras de energía, calderas industriales, hornos ciclónicos, automotores, incineración de residuos sólidos, entre otros, en cuanto a las fuentes naturales, se le asocia a incendios forestales, erupciones volcánicas y otras fuentes similares a las generadoras de PM_{10} (Warner, 2005).

Algunas afectaciones a la salud humana asociadas a la exposición aguda a estos compuestos aumento de la presión sanguínea, aterosclerosis, deficiencia cardiopulmonar, en cuanto a sus efectos crónicos tiene incidencia en la generación de cáncer pulmonar, daños vasculares (Simkhovich, 2008).

Plomo

Este elemento se encuentra de forma natural en los suelos y formaciones rocosas, el cual es emitido a la atmósfera por la acción erosiva de los vientos, así como por su capacidad de transportar material a través de largas distancias, además de esta fuente también se le asocia a las actividades volcánicas, según estudios realizados en fuentes naturales, únicamente el 4% del Plomo emitido a la atmósfera proviene de la naturaleza, el restante se debe a actividades humanas como la combustión de hidrocarburos, fundición, refinación del petróleo y procesamiento de minerales metálicos (Albert, 2012).

La intoxicación con plomo se da cuando hay concentraciones de 80 µg Pb/100 ml a 100 µg Pb/100 ml en el sistema sanguíneo humano, algunos de los problemas son la anemia, encefalopatía, sensación de calor, frío, trastornos renales, en animales puede incentivar el desarrollo de tumores benignos y malignos (Albert, 2012).

Dióxido de Nitrógeno

Las formaciones naturales de este compuesto está asociado al metabolismo de las bacterias, las cuales liberan este componente a la atmósfera como parte natural del ciclo del Nitrógeno, incendios naturales y metabolismo de especies mayores (Albert, 2012), en cuanto a las emisiones provenientes de las actividades humanas se contemplan la combustión de gasolina y diésel por parte de los automotores así como de las plantas de generación de energía eléctrica, eliminación de residuos sólidos, quema de madera, carbón y gas natural (Longhurst, 2014).



Estudios epidemiológicos han demostrado la relación existente entre el NO₂ y la mortalidad en niños menores a 5 años y a la mortalidad intrauterina, también se encuentra relacionado al riesgo de padecer enfermedades respiratorias en infantes, en cuanto a la afectación de las especies de mamíferos menores los principales problemas son la metahemoglobina y deficiencia de la vitamina

E, en cuanto a las plantas se inhibe la fotosíntesis así como la inhibición de la biosíntesis de lípidos (Tsunoda, 2011).

Monitoreo de la Calidad del Aire

El monitoreo de la calidad del aire es un conjunto de metodologías y técnicas destinada a realizar mediciones sobre parámetros físicos, químicos de determinadas sustancias, así como estudiar la meteorología de un sitio durante un periodo determinado, estos estudios se realizan para una diversidad de propósitos como lo son estudios de mortalidad, morbilidad, generadores de información para estudios de dispersión de contaminantes (Ortega, 2007), sin embargo los objetivos primordiales de una red de monitoreo son crear índices de la calidad del aire enfocados a prevenir episodios de intoxicación en poblaciones humanas, promulgar normativa regulatoria de emisiones de contaminantes y establecer concentraciones de contaminantes en puntos calientes (Griffin, 2007).

Red de Monitoreo de la Calidad del Aire

Para poder desarrollar un proyecto de monitoreo es necesario establecer una serie de limitaciones con el fin de cumplir con los objetivos propuestos, estos parámetros son: objetivos del monitoreo, escala temporal, escala espacial, contaminantes a monitorear, estaciones de monitoreo y método de muestreo (Ortega, 2007).

Objetivo del Monitoreo

Los objetivos son la guía de la red de monitoreo, es donde se define el tiempo, los contaminantes, el sitio y el equipo necesario para poder implementar la red, algunos de estos objetivos son proporcionar información sobre la afectación de determinados contaminantes, determinar la congruencia de la calidad del aire con la normativa nacional e internacional, establecer criterio científico para el desarrollo de políticas públicas, entre otros (COSUDE, 2006).

Escala temporal

Corresponde al tiempo de duración que tiene el proyecto, es fundamental determinar este parámetro pues los instrumentos deben ser calibrados, además de que dicha escala está relacionado con la inversión económica del proyecto (Torres, 2008).

Escala espacial

El área espacial es aquella zona en donde se desea analizar la presencia de los contaminante, para poder determinar el área geográfica en donde se va a implementar la red de monitoreo es indispensable asegurar que sea una zona representativa, accesible, disponibilidad de energía eléctrica para poder instalar los instrumentos, condiciones ambientales que no alteren o puedan dañar los equipos (COSUDE, 2006).

La Organización Mundial de la Salud recomienda las siguientes escalas de monitoreo:

Cuadro 1. Escalas espaciales para el establecimiento de redes de monitoreo

Escala	Distancia	Característica
Micro	10 m a 100 m	Áreas como calles, corredores con tránsito intensivo, sitios considerados como de baja emisión en donde las personas que transitan pueden estar expuestas.
Media	100 m a 500 m	Este tipo de escala se emplea para la evaluación de efectos en la salud pública a corto plazo, este tipo de escala se utiliza en aquellas zonas en donde hay presencia de industrias y comunidades aledañas.
Vecindario	500 m a 4 km	Esta escala se enfoca en subregiones homogéneas con diversas fuentes de emisión.
Urbana	4 km a 100 km	Este tipo de escala está orientada a las inmisiones de centros urbanos o rurales por lo que las estaciones deben colocarse lejos de fuentes puntuales y avenidas transitadas.
Regional	100 km a 1000 km	Se realiza en aquellas zonas que abarcan varios cientos de kilómetros, para poder realizar un estudio a esta escala es necesario una gran homogeneidad de las concentraciones de contaminantes.
Nacional	Mayor a mil km	Son estaciones que describen el comportamiento de los contaminantes en áreas muy amplias.
Global		Son estaciones que miden los contaminantes a nivel mundial.

Fuente: Rubio, 2007.

Contaminantes

Los contaminantes que se van a analizar son fundamentales cuando se desea establecer una red de monitoreo ya que en función de este criterio se debe tomar la decisión de los instrumentos y estaciones que se van a emplear dentro de la red, por lo general los contaminantes mayormente estudiados con la red corresponden a los criterios, pues estos se han establecido como indicadores de la calidad del aire (Griffin, 2007).

Estaciones de Monitoreo

Una estación de monitoreo es una infraestructura que permite operar diversos equipos de medición, la cual debe proporcionar protección a los equipos, así como una fuente eléctrica, iluminación, anclas para sensores (fijación de los equipos meteorológicos) (Rubio, 2007).

Hay diversos tipos de estaciones de monitoreo entre las cuales se destacan las siguientes:

Estaciones Manuales

Son aquellas en donde el muestreo de los contaminantes está diferenciado del análisis de la muestra, pues esta debe ser trasladada a un laboratorio especializado, estas estaciones se emplean principalmente para evaluar patrones diurnos y nocturnos pues el costo de operación de estos equipos es elevado (Rubio, 2007).

Estaciones mixtas

Este tipo de estación emplea equipo que puede presentar resultados de análisis de la muestra en tiempo real, sin embargo es recomendable realizar un análisis en el laboratorio como control de calidad de la información (Rubio, 2007).

Método de muestreo

Existen cinco métodos para poder monitorear la contaminación del aire:

- **Muestreadores pasivos:** Este tipo de muestreo hace uso de las propiedades físicas de los contaminantes, así como del empleo de un sustrato químico. Este tipo de muestreo se puede realizar para un periodo que va desde una hora hasta un mes, y en el caso de los contaminantes criterio se emplea principalmente para medir dióxido de nitrógeno y ozono troposférico (COSUDE, 2006).

- **Muestreadores activos:** Este tipo de muestreador requiere de energía eléctrica para poder succionar el aire del medio, el cual se adhiere a un medio que contiene un sustrato químico (Rubio, 2007). Para el caso de las partículas existen dos equipos que componen esta categoría los cuales corresponden al de alto y bajo Volumen (COSUDE, 2006).
- **Analizadores automáticos:** Este tipo de muestreadores contienen un sistema de detección que permite obtener los resultados de concentración de los contaminantes en tiempo real.
- **Sensores remotos:** Estos equipos realizan la misma función de los muestreadores automáticos pero con la ventaja que pueden analizar los contaminantes presentes en una trayectoria determinada (Rubio, 2007).

Situación de la gestión de la calidad del Aire en Costa Rica

La Universidad Nacional en conjunto con los ministerios de Salud, Ambiente, Obras Públicas y Transportes y la Municipalidad de San José firmaron en el año 2008, un convenio que busca fortalecer la gestión de la calidad del aire en Costa Rica, dentro de este marco surgió el Programa para la Mejora de la Calidad del Aire en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

En forma adicional el país ha promulgado los siguientes instrumentos legales en materia de gestión de calidad del aire:

-Decreto 30221-S Reglamento sobre inmisión de contaminantes atmosféricos

-Decreto 36551-S-MINAET-MTSS Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, este instrumento establece los valores máximos de emisión a que deben ajustarse los establecimientos cuyos procesos o actividades incluyan la operación de estos equipos. Cuando se sobrepasen uno o más parámetros de los límites de emisión, el responsable técnico del reporte operacional deberá presentar un plan de acciones correctivas que incluya un cronograma de actividades, que contenga el detalle de las acciones correctivas y sus respectivos plazos, especificando la fecha de inicio y de finalización de cada actividad. La Dirección de Área Rectora del Ministerio de Salud correspondiente, mediante acto administrativo, establecerá el resultado de la evaluación de la documentación presentada.

-Decreto 31837-S Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros, cuyo objetivo es establecer los requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en hornos cementeros.

-Decreto 30184-MOPT Reglamento para la Revisión Técnica Integral de Vehículos Automotores que Circulen por las Vías Públicas. Este instrumento regula la revisión técnica integral de vehículos automotores que circulen por las vías públicas, según lo establece la Ley de Tránsito y sus reformas. La revisión técnica integral de los vehículos incluye la medición de emisiones de gases de combustión y se realiza de acuerdo con los siguientes criterios: vehículos de servicio de transporte público cada seis meses, vehículos cuya antigüedad desde el año de fabricación es superior a cinco años anualmente, mientras que los vehículos cuya antigüedad desde el año de fabricación es igual o inferior a cinco años deben asistir cada dos años.

A pesar del trabajo ejecutado a la fecha, se requiere avanzar en los siguientes temas:

-Desarrollar capacidades para modelar la calidad del aire como una herramienta de gran utilidad en la planeación y gestión de la política ambiental. De esta forma se podrán predecir los cambios en las concentraciones ambientales de distintas especies químicas a lo largo de un día o periodos mayores, como resultado de cambios en los patrones de emisión. Adicionalmente se tendría la posibilidad de evaluar la efectividad de diferentes medidas de control de emisiones antes de su aplicación.

-Evolucionar hacia una red de monitoreo automática que incluya la evaluación de la concentración de gases de combustión tales como: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles.

-Desarrollo de un modelo de índice costarricense de calidad del aire, el cual pueda ser utilizado como valor de referencia para que la población del país comprenda los niveles de contaminación del aire que prevalecen en su zona de residencia o trabajo.

-Elaboración de normativa para el control de olores mediante el cual se fortalecería el marco regulatorio existente con un reglamento que permita avanzar en la evaluación y el control de olores en sectores prioritarios evitando así la ocurrencia de una gran cantidad de conflictos socio-ambientales

-Revisión de la norma de calidad del aire del país y armonización de los reglamentos existentes con la misma, tomando como punto de partida los resultados de los inventarios de emisiones de contaminantes criterio.

-Análisis de costos asociados a la contaminación del aire como medio de soporte para valorar los beneficios obtenidos a partir del establecimiento de políticas de control de la contaminación atmosférica. La mala calidad del aire contribuye al incremento de la frecuencia y severidad de

enfermedades respiratorias y cardiovasculares, aumento en el número de consultas hospitalarias, mayor índice de incapacidades laborales e incluso la mortalidad temprana son algunos de los efectos de respirar aire contaminado.

-Elaboración de un reglamento de emisión de contaminantes generados durante la incineración de residuos. En el país se hace necesario establecer normas estrictas para todas las instalaciones de incineración o co-incineración de residuos con el objeto de evitar movimientos transfronterizos a instalaciones que trabajen con costos más bajos debido a la existencia de normas medioambientales menos rigurosas. La incineración de residuos peligrosos con un contenido superior al 1% de compuestos organohalogenados expresados en cloro, debe estar sujeta a determinadas operaciones con objeto de destruir la mayor cantidad posible de contaminantes orgánicos, como las dioxinas, durante la combustión.

Monitoreo de calidad del aire: Características

La red de monitoreo de la calidad del aire del cantón de Belén cuenta con las siguientes características:

- Usa una combinación de técnicas de muestreo tanto activo como pasivo
- Cuenta con la siguiente disposición de contaminantes y sitios de medición:

Cuadro 2. Características de la red de monitoreo de calidad del aire del cantón de Belén

Contaminante	Sitios de Medición	Frecuencia	Tipo de Muestreo	Método de análisis
PM ₁₀	-La Ribera (Comercial)	3 veces por semana	Activo con muestreadores de alto volumen Muestreo de 24 horas	Gravimétrico
Iones en partículas PM ₁₀	-La Ribera (Comercial)	3 veces por semana	Activo con muestreadores de alto volumen Muestreo de 24 horas	Análisis de fluoruro (F ⁻), cloruro (Cl ⁻), nitrato (NO ₃ ⁻), sulfato (SO ₄ ²⁻), fosfato (PO ₄ ³⁻) por cromatografía de intercambio iónico
Metales en partículas PM ₁₀	-La Ribera (Comercial)	3 veces por semana	Activo con muestreadores de alto volumen Muestreo de 24 horas	Análisis de Vanadio (V), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Aluminio (Al), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)
NO ₂	-Frente al antiguo Hotel Herradura -Rotonda Residencial Cariari	1 vez por mes	Pasivo con tubos de permeación	Espectrofotométrico

Contaminante	Sitios de Medición	Frecuencia	Tipo de Muestreo	Método de análisis
	-50 m este de la Plaza La Asunción -costado norte de la Firestone -Frente al centro Pedagógico Belén -Frente a Iglesia de la Ribera -Entrada a Parque Ojo de Agua -Frente al Polideportivo Belén -Frente al Centro Comercial Plaza Belén -Costado norte del Palacio Municipal -Frente a Kimberly Clark		Muestreo de 22 días	

-Las mediciones se respaldan en la acreditación de las pruebas realizadas por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional por parte del Ente Costarricense de Acreditación según consta en el expediente LE-024, el cual puede ser consultado en la página web: www.eca.or.cr.

-Dispone de monitoreo de precipitación total (lluvia ácida) de acuerdo con las siguientes características:

Cuadro 3. Características de la red de monitoreo de depositación total del cantón de Belén

Parámetro	Sitios de Medición	Frecuencia	Tipo de Muestreo	Método de análisis
pH	-La Ribera (comercial)	5 veces por semana	Colector de precipitación Total	Electrométrico
Conductividad		5 veces por semana	Colector de precipitación Total	Electrométrico
Iones		5 veces por semana	Colector de precipitación Total	Análisis de fluoruro (F ⁻), cloruro (Cl ⁻), nitrato (NO ₃ ⁻), sulfato (SO ₄ ²⁻), fosfato (PO ₄ ³⁻) por cromatografía de intercambio iónico

Estado de la calidad del aire en el año 2013: Resultados

Partículas

En el cuadro 4, se puede observar el promedio anual obtenido para la concentración de PM₁₀ en el sitio de monitoreo ubicado en el cantón de Belén. Para este sitio, el promedio anual (30 µg/m³) no superó el valor de 50 µg/m³ contenido en el Decreto 30221-S como límite máximo anual. Es importante mencionar que en ninguno de los días de muestro se obtuvieron concentraciones mayores al límite establecido (150 µg/m³) como promedio de 24 horas en el Decreto antes mencionado.

Para este sitio de monitoreo los meses de febrero, marzo y abril (figura 1) presentaron los niveles más altos de partículas PM_{10} , de tal forma que durante la época seca (diciembre-abril) se presentaron promedios un 25% mayores en comparación con los valores registrados para la época lluviosa.

Cuadro 4. Promedio anual de concentración de partículas PM_{10} colectadas en el sitio de muestreo ubicado en el cantón de Belén, año 2013.

Sitio de muestreo	La Ribera
Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31
Valor máximo registrado en 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64
Desviación estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10
Datos válidos	111

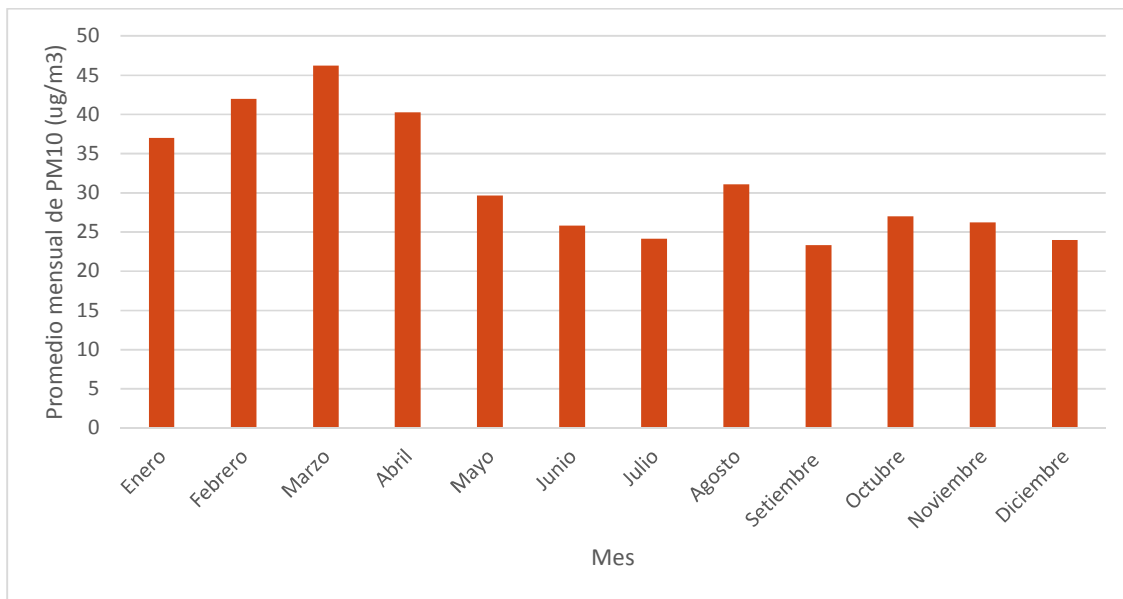


Figura 1. Variación de los promedios mensuales de concentración de partículas de PM_{10} para el sitio de monitoreo del cantón de Belén, año 2013.

Tal como se muestra en el cuadro 5, las concentraciones de partículas PM_{10} en el cantón se mantuvieron estables durante el período de tiempo comprendido entre 2008 y 2013.

Cuadro 5. Tendencia de la concentración de partículas PM₁₀ registradas en el cantón de Belén, 2008-2013.

Sitio de Monitoreo	Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
La Ribera	37	38	34	33	32	31

Uno de los aspectos más relevantes del estudio de la contaminación atmosférica por material particulado es su caracterización química. Por una parte, la composición química de los aerosoles está estrechamente relacionada con el origen de los mismos. Además, la composición química del material particulado atmosférico puede incidir en los efectos adversos sobre la salud (Wichmann and Peters, 2000; WHO, 2006) y los ecosistemas (WBG, 2000).

A partir de los estudios de especiación química es posible realizar análisis de identificación de fuentes de emisión y cuantificación del aporte de las distintas fuentes, mediante la aplicación de herramientas matemáticas a la matriz de datos obtenidos. En el cuadro 7 se presentan las concentraciones de las principales especies iónicas presentes en las partículas PM₁₀ colectadas en el cantón de Belén.

Cuadro 7. Composición iónica de las partículas PM₁₀ colectadas durante el año 2013 en el cantón de Belén.

Sitios de monitoreo	Fluoruro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cloruro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nitrito ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bromuro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fosfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Catedral Metropolitana	0,28 ± 0,10	1,67 ± 0,29	0,35 ± 0,08	0,23 ± 0,10	1,45 ± 0,27	0,89 ± 0,10	4,13 ± 2,08

El valor indicado como ± representa la desviación estándar del dato

De acuerdo con los resultados obtenidos el sulfato, nitrato y cloruro resultaron ser los iones más abundantes en este tamaño de partículas. Las concentraciones de sulfato variaron desde 3,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 4,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, representando entre el 15 al 20% del total del material particulado. El sulfato suele estar en forma de sulfato amónico, siendo un componente muy estable en la atmósfera (IPCC, 2001), por lo que se considera como un buen trazador del transporte a larga distancia y de los procesos de recirculación de masas de aire a escala regional.

Los niveles de nitrato registrados en el cantón variaron desde 1,17 hasta 1,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dichas concentraciones se pueden deber a las emisiones de NO_x (precursor del NO_3^-) registradas en la zona de estudio derivadas en gran medida del tráfico rodado y de los procesos industriales.

Los componentes mayoritarios de las partículas se agruparon de la siguiente forma: material mineral ($\text{SiO}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe} + \text{K}$), aerosol marino ($\text{Na} + \text{Cl}^-$), iones secundarios (SO_4^{2-} , NO_3^- y NH_4^+) y elementos traza (Cuadro 8). La materia mineral representan para el sitios de muestreo aproximadamente de un 6,5 % del total, la cual puede provenir prioritariamente de la resuspensión de polvos ocasionada por el tráfico rodado y los trabajos de construcción – demolición. El aerosol marino presentan niveles cercanos a los 3,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio para la zona de estudio. El principal aporte de este componente se da en época seca donde se obtienen valores hasta un 17% mayores a los registrados en época lluviosa.

Cuadro 8. Concentración de especies metálicas (ng/m^3) presentes en las partículas PM_{10} colectadas en el cantón de Belén, 2013

	Pb	Cu	Ni	Cr	Na	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	V
La	10,5	72	6,7	17,6	2215	234	621	387	388	103,2	102	5,88
Ribera	(6,4)	(15)	(2,8)	(11,2)	(856)	(93)	(392)	(205)	(127)	(31,8)	(48)	(0,42)

Dióxido de Nitrógeno

El término óxido de nitrógeno puede referirse a alguno de los siguientes compuestos: NO (óxido nítrico); NO₂ (dióxido de nitrógeno); N₂O (óxido nitroso); N₂O₃ (trióxido de dinitrógeno); N₂O₄ (tetraóxido de dinitrógeno) y N₂O₅ (pentóxido de dinitrógeno). Desde el punto de vista de la contaminación del aire sólo los dos primeros tienen importancia y sólo el dióxido (NO₂) es un contaminante criterio. Por lo general, los óxidos de nitrógeno, NO_x, son la mezcla de NO y NO₂. Estos gases tienen en común que ambos son reactivos, tienen un solo átomo de nitrógeno y son generados en procesos de combustión (sobre todo a altas temperaturas). A temperatura ambiente, el nitrógeno (N₂) del aire no puede combinarse con el oxígeno debido a la gran estabilidad del triple enlace de su molécula, pero éste se rompe cuando hay suficiente energía, lo que se manifiesta por el aumento de la temperatura y entonces los átomos de nitrógeno ya pueden reaccionar con el oxígeno dando, sobre todo, NO el cual, en presencia de un exceso de oxígeno se oxida produciendo NO₂. En áreas de mucho tránsito vehicular, como es el caso en las grandes ciudades, las emisiones de NO_x son muy importantes. El monóxido de nitrógeno, óxido nítrico u óxido de nitrógeno NO es un gas incoloro y poco soluble en agua. Se le considera un agente tóxico.

El NO₂ es un gas tóxico e irritante de color marrón amarillento. 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 µg/m³ (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 µg/m³ (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, 2006).

En el cuadro 9 se presentan los promedios anuales obtenidos para cada uno de los sitios de muestreo de dióxido de nitrógeno ubicados en el cantón de Belén. Tal como se puede observar de los 11 sitios de monitoreo, al menos 4 presentan concentraciones superiores al criterio de la Organización Mundial de la Salud. Las concentraciones mayores se presentan para sitios comerciales con alto flujo vehicular en donde se llegan a alcanzar excedencias de hasta un 10% con respecto al valor criterio de la Organización Mundial de la Salud de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si se comparan estos valores con los obtenidos para años anteriores se registra una tasa de incremento de 8 y 10% para sitios comerciales e industriales respectivamente.

Cuadro 9. Promedios anuales de dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) presentes en los sitios de muestreo localizados en el cantón de Belén, año 2013.

Sitios de muestreo	Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Frente al antiguo Hotel Herradura.	41
Frente a la rotonda en Residencial Cariari	22
50 m Este de la Plaza de la Asunción	42
Costado Norte de la Firestone.	44
Frente al Centro Pedagógico Belén (Cerca del Marriot)	30
Frente a la Iglesia de la Ribera.	21
Frente a la entrada principal del Parque Recreativo Ojo de Agua.	35
Frente al Polideportivo Belén	23
Frente al Centro Comercial Plaza Belén.	42
Costado del Palacio Municipal.	28
Frente a Kimberly Clark.	30

Deposición Total

Los gases y partículas contaminantes que son emitidos a la atmósfera por fuentes de combustión, como las emisiones vehiculares y las emisiones industriales, inclusive los procesos naturales como las emisiones volcánicas e incendios forestales, contienen concentraciones importantes de óxidos de nitrógeno y azufre que al reaccionar con el agua atmosférica producen compuestos ácidos como el ácido nítrico y el ácido sulfúrico. Estos compuestos pueden depositarse sobre la superficie de la tierra, ya sea por vía seca o húmeda.

En ausencia de lluvia, los compuestos ácidos pueden adherirse a las partículas de polvo o humo, para luego depositarse sobre el suelo, edificios, casas, automóviles y árboles. Estas partículas pueden ser removidas de estas superficies por la lluvia, y el agua del escurrimiento forma una mezcla aún más ácida.

La deposición húmeda ocurre cuando los contaminantes en el aire son arrastrados hasta áreas o regiones donde el clima es húmedo, los ácidos se disuelven en el agua presente en la atmósfera y son acarreados hacia el suelo por la lluvia, la nieve, la niebla o el rocío. Debido a que esta agua ácida se deposita en varios tipos de superficies, puede tener un impacto directo en la vegetación y los animales acuáticos. Los efectos que tiene en el medio ambiente dependen de factores como: el grado de acidez del agua, la cantidad de lluvia, la composición y capacidad amortiguadora de los suelos afectados.

En condiciones naturales el agua de lluvia tiene un pH de 5.6, lo que la hace ligeramente ácida debido a la presencia de pequeñas cantidades de dióxido de carbono existentes en la atmósfera que reaccionan con el agua formando ácido carbónico, ambos compuestos se encuentran en equilibrio químico en una reacción reversible. Cuando el agua de lluvia tiene un pH menor a este valor se le conoce como lluvia ácida. La lluvia ácida no tiene un impacto directo sobre la salud humana, sin embargo, si tiene un efecto grave en los ecosistemas al modificar la composición del suelo y el agua. En el cuadro 10 se muestran los resultados de la composición química de las muestras de precipitación total colectadas en el cantón de Belén durante el año 2013. Los valores presentados en dicho cuadro se encuentran ponderados por volumen utilizando los datos de precipitación diaria colectada.

Cuadro 10. Composición química de las muestras de precipitación total colectadas en el Cantón de Belén con respecto a otros sitios de la GAM, 2013.

	pH	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
San José	4,27	3,15	1,04	0,95	0,17	0,57
Heredia	4,30	2,95	1,15	1,17	0,15	0,65
Belén	4,05	3,05	1,22	1,08	0,19	0,51

Las concentraciones de las especies iónicas más importantes presentes en las muestras de precipitación total obedecen el siguiente orden: SO₄²⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻. Los valores promedio ponderados por volumen de pH más ácidos, se registran en los sitios localizados en San José, los cuales se caracterizan por estar ubicados en zonas comerciales de alto flujo vehicular.

Conclusiones

-Tanto las concentraciones máxicas como la composición química de las partículas PM₁₀ presentan un patrón de variabilidad estacional bien definido, en donde los aportes crustales y de aerosol marino presentan sus máxicos valores durante la época seca y disminuyen con la entrada de las brisas del Pacífico que son las encargadas de generar las lluvias durante los meses de mayo a noviembre.

-Existe una tendencia a incrementar el grado de acidificación de las muestras de precipitación total, ya que el número de eventos al año con pH inferior a 5,60 esta incrementado a una tasa de 21% anual en el período 2007-2013, razón por la cual se debe explorar más a fondo las causas de este fenómeno.

-Persiste el crecimiento en los niveles de dióxido de nitrógeno en sitios comerciales e industriales del cantón de Belén, aunque la tasa de crecimiento para este año fue ligeramente menor en comparación con el período anterior.

-Debido a la ocurrencia de valores de concentración de contaminantes que superan las normas de calidad del aire es importante pensar el fortalecer el monitoreo de la calidad del aire y propiciar la migración del sistema actual a un sistema automático, que permita analizar los ciclos horarios de variación de los contaminantes.

Referencias

Puigcerver, M. 2008. El Medio Atmosférico Meteorología y Contaminación: *La contaminación atmosférica*. Barcelona. España. Universitat de Barcelona. 31-46 p.

Warner, C. 2005. Contaminación del Aire Origen y Control: *Efectos y Fuentes de los contaminantes del Aire*. México D.F. México. Editorial LIMUSA. S.A. 17-63 p.

Figueruelo, J. 2004. Química-Física del Ambiente y de los procesos Medioambientales: *Contaminantes primarios y secundarios*. Barcelona. España. Editorial REVERTÉ. 37-39 p.

Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental: *Contaminación del Aire*. México D.F. México. Editorial REVERTÉ. 401-405 p.

Alfayate, J. 2008. Contaminación Ambiental una Visión desde la Química: *Atmósfera. Conceptos Básicos*. Madrid. España. PARANINFO. 301-324 p.

Cardenas, R. 2013. Ecología: *Impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*. Bogotá. Colombia. Ecoe Ediciones. 145-150 p.

Zuñiga, I. 2010. Meteorología y Climatología: *La Atmósfera*. Madrid. España. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 3-10 p.

Yadav, P. 2010. Environmental Air Pollution: *Atmospheric Pollution*. Delhi. India. Discovery Publishing House PVT. LTD. 102-107p.

Singhal, R. 2009. Elements of Space Physics: *Energy Deposition by EUV*. Nueva Dheli. India. PHI. 143-163 p.

Rottman, G. 2005. Sorce Contributions to Understanding of Global Change and Solar Variability: *Indirect effects through the stratosphere*. The Solar Radiation and Climate Experiment. 230 (1-2): 3-6.

Ledesma, M. 2011. Principios de Meteorología y Climatología: *Presión Atmosférica*. Madrid. España. PARANINFO. 9 p.

Quereda, J. 2005. Curso de Climatología General: *La Presión Atmosférica y los Vientos*. Castellón de la Plana. España. Universitat Jaume. 135-140 p.

Martínez, X. Meteorología Aplicada a la Navegación. Barcelona. España. 2^{da}ed. Universitat Politècnica de Catalunya. 53 p.

Guevara, M. 2008. Problemas Fundamentales en Meteorología: *Estabilidad e Inestabilidad. El Diagrama Termodinámico*. Caracas. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 109-118 p.

Contreras, A. 2011. Ciencia y Tecnología del Medioambiente: *Dispersión de Contaminantes*. Madrid. España. Librería UNED. 136-140 p.

Institución Nacional de Ecología (INE). 2005. Guía de Elaboración y Uso de Inventario de Emisiones: *Planeación y Gestión de la Calidad del Aire y Usos de los Inventarios de Emisiones*. México D.F. México. Western Governors Association. 53-55 p.

Taylor y Francis Group. 2006. Encyclopedia of Environmental Science and Engineering: *Air Pollution Source*. Estados Unidos de América. 5^{ta}ed CRC Press. 70-74 p.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2013. Contaminantes Criterio. (en línea). México D.F. México. Consultado el día 29 de noviembre del 2014. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>

Holloway, A. 2010. Atmospheric Chemistry: *Carbon Cycle*. Reino Unido. RSC Publishing. 71-75 p.

Basavanthappa. B. 2008. Community Health Nursing: *Air Pollutants*. Nueva Dheli. India. 2^{da} ed. JAYPEE. 316-318 p.

Ghosh, S. 2014. Fast Detection of Low Concentration Carbon Monoxide using Calcium-Loaded Tin Oxide Sensor. *Sensors and Actuators B*. 203: 490-496.

Gutiérrez, E. 2009. Primeros Auxilios: *Etiología y Patología de Urgencias*. Madrid. España. EDITEX. 127 p.

Santos, S. 2008. Química y Cultura Científica: *Dióxido de Azufre*. Madrid. España. Librería UNED. 131-132 p.

Madigan, M. 2009. Brock Biología de los microorganismos: *Dominio Bacteria*. Madrid. España. PEARSON. 440-490 p.

Mackenzie, L. Ingeniería y Ciencias Ambientales: *Origen y destino de los contaminantes del aire*. México D.F. México. Mc Graw-Hill. 472-476 p.

Tsunoda, M. 2011. Environmental Toxicology Biological and Health Effects of Pollutants: *Air Pollution Inorganics Gases*. Estados Unidos de América. CRC PRESS. 115-122 p.

Cracknell, A. Remote Sensing and Atmospheric Ozone Human Activities versus Natural Variability: *The traditional measurement of ozone concentration in the atmosphere*. Nueva York. Estados Unidos de América. SPRINGER. 1-77 p.

Cabildo, M. 2013. Bases Químicas del Medio Ambiente: *Ozono troposférico*. Madrid. España. Librería UNED. 380-381 p.

Spellman, F. 2008. The Science of Air Concepts and Applications: *Particle Size Categories*. Estados Unidos de América. 2^{da}. CRC PRESS. 82-83 p.

Verma, H. 2006. Air Pollution and it`s Impacts on Plant Growth: *Global Status pf Major Air Pollutants*. Nueva Dheli. India. New Indian Publishing Agency. 47-48 p.

Hill, M. 2010. Understanding Environmental Pollution: *Air Pollution*. Londres. Inglaterra. 3^{era}ed. Cambridge University Press. 117 p.

Hansell, A. The Environment and Health Atlas for England and Wales: *Health effects of PM₁₀*. Oxford. Reino Unido. Oxford University Press. 38-39 p.

Simkhovich, B. 2008. Air Pollution and Cardiovascular Injury: *Morbidity and Mortality Caused by Air Pollution*. Journal of the American College of Cardiology. 52 (9): 719-726.

Albert, L. Toxicología Ambiental: *Contaminantes Inorgánicos*. México D.F: México. LIMUSA. 101-216 p.

Longhurst, J. 2014. Air Pollution XXI: *Multilayer perceptron and regression modelling to forecast hourly nitrogen dioxide concentration*. Estados Unidos de América. WIT Press. 39-48 p.

Ortega, J. 2007. Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera: *Monitoreo de la Calidad del Aire*. Córdoba. Argentina. Editorial Brujas. 57-65 p.

Griffin, R. 2007. Principles of Air Quality Management: *Monitoring Ambient Air Quality*. CRC Press. 61-63 p.

Torres, G. 2008. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: *Estructura del Protocolo*. Bogotá. Colombia. 22 p.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2006. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire: *Diseño de Redes de Monitoreo*. Bolivia. 5-10 p.

Rubio, M. Revisión y Estructuración de los Manuales De Monitoreo Atmosféricos para Fortalecer la Operación y Mantenimiento de las Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire que Operan en el País: *Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire*. México D.F. México. 49-51 p.

Estado de la Nación. 2005. Situación de la Calidad del Aire en Costa Rica. (en línea). San José. Costa Rica. Consultado el día: 30 de noviembre del 2014. Disponible en: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/012/Situacion_calidad_aire.pdf

Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA). 2010. Calidad del Aire. (en línea). San José Costa Rica. Consultado el día: 30 de noviembre del 2014. Disponible en: <http://www.digeca.go.cr/quienessomos.html>

