

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS PM 10 EN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA

EVALUATION OF THE CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER PM10 IN URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF OCAÑA

Esp. Alexander Armesto Arenas^a, Esp. Ramón Lobo Jácome^b

^a Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación MINDALA
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, aarmestoa@ufpso.edu.co

^b Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación GI@DS
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, rjloboj@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 05-08-2014

Fecha de aprobación: 25-11-2014

Resumen: Se evalúa la concentración de material particulado suspendido en la atmosfera, menor o igual a 10 micrómetros (μm). Para esto se utilizaron tres muestreadores de alto volumen (PM10). En esta investigación se concluye que la vía nacional dentro del casco urbano del Municipio de Ocaña, representa un riesgo en el aumento de la concentración de material particulado, de igual forma, la falta de control de tránsito o las condiciones de misma, provoca aumento en el respectivo contaminante. Uno de los puntos de medición de la vía nacional, se clasifica como Área Marginal lo cual se deben tomar medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación que permitan la disminución de la concentración de contaminantes o que por lo menos las mantengan estables.

Palabras clave: Atmósfera, aumento, partículas.

Abstract: The concentration of suspended particulate matter in the atmosphere , less than or equal to 10 micrometers (μm) . For this three high volume samplers (PM10) were used. This research concluded that the national route within the town in the municipality of Ocaña, represents a risk in increasing the concentration of particulate matter , likewise , lack of traffic control or same conditions , causes increased the respective pollutant . One of the points of measurement of national route, is classified as Marginal Area which should take measures to control pollution levels that allow the reduction of pollutant concentrations or at least remain stable.

Keywords: Atmosphere, increase, particles.

1. INTRODUCCIÓN

El material particulado atmosférico se define como cualquier sustancia a excepción del agua pura, presentes en la atmosfera en estado líquido o solido bajo condiciones normales y cuyo tamaño se considera está comprendido entre los $0.002\mu\text{m}$ y los $100\mu\text{m}$ de diámetro (Martínez, 2005). El material particulado constituye una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan una composición física y química variable. Las características físicas ejercen influencia en su transporte, tiempo de permanencia y disponibilidad de depositación, tanto en el medio ambiente como a través del sistema respiratorio, y su composición química interviene directamente sobre los efectos en la salud humana (LOZADA, 2009). En este sentido, para su análisis, las partículas se han clasificado en: partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 micras, inhalables o respirables (PM10), cuyo diámetro es menor a 10 micras, finas con diámetro menor a 2.5 micras (PM2,5) y ultrafinas cuyo diámetro es menor a 1 micra (PM1). Las fuentes de partículas suspendidas son diversas y abarcan desde las naturales, como polvo volcánico y tolvaneras, hasta las de origen antropogénico, que incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores diésel. (H Pérez Vidal, 2010). En Port Hedland, una fuente de material particulado en el aire peculiar es la quema de biomasa, como resultado de los incendios iniciados por la caída de rayos. Durante uno de esos eventos a más 300 km de la estación de monitoreo Boodarie, la concentración máxima de 24 horas de PM10 fue de $150\text{ mg} / \text{m}^3$ durante un período de cuatro días. Sin

embargo, PM2.5 comprendía un inesperadamente pequeña fracción (20 a 30%) del aerosol PM10 medido durante tales eventos de fuego (Medicine., Lung Institute of Western Australia & Institute of Occupational, 2007). La composición elemental del material particulado incluye diferentes elementos, unos livianos como el aluminio, silicio, potasio, calcio, y otros pesados como hierro, zinc, vanadio, titanio, cadmio, plomo, mercurio y antimonio además compuestos orgánicos de elevada toxicidad y potencial efecto cancerígeno y mutágeno (Pérez, 2006). Un estudio hecho en el Área Urbana de la Ciudad de Riohacha, Colombia mostró que los elementos de origen antropogénicos están asociados con las partículas PM10 donde El Zn, Cu y Co, son elementos que están más relacionados con este tipo de partículas (Roberto Rojano, 2014). La correlación entre altos niveles de material particulado y el incremento de la morbilidad y mortalidad específicamente la fracción de partículas PM10 (Partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de $10\mu\text{m}$) puede ser inhalada dentro de los pulmones, causando daños en los tejidos alveolares induciendo problemas de salud (Roberto Rojano Alvarado, 2011). Un estudio hecho en Chile se observa que las mayores concentraciones de PM10 medidas en el centro de la ciudad de Chillan, sugieren que se puede alcanzar la disminución con regulaciones públicas del transporte y de la industria, tales como definir nuevas maneras de evitar tráfico vehicular a través del centro de la ciudad, y prohibiendo el uso de máquinas antiguas que han sido retiradas de circulación en Santiago (José E. Celis, 2007). Los vehículos automotores son la principal fuente de material particulado emitido a la atmósfera. Su contribución se ubica entre un 25% y un 75% del total de emisiones antropogénicas de PM10, este último en centros urbanos

(Rojas, 2004). Un estudio hecho en la Ciudad de Medellín en el año 2008, en todos los sitios de muestreo las partículas PM10 tienen la tendencia a permanecer por debajo de la norma anual de calidad del aire ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$), concluyendo una situación preocupante, ya que si se compara los resultados con la norma que regida en el año 2011 para Colombia, un alto porcentaje (50%) de los puntos evaluados no cumple dicha norma ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Londoño & Vasco, 2008). En Irán, concluyen bajo un estudio hecho en la ciudad de Khorramabad que la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en meses cálidos y sitios de alto tráfico las concentraciones son más altas que el estándar de la OMS y la EPA, en comparación con otras áreas (Seyed Hamed Mirhosseini, 2012). Sin embargo, un estudio de los datos de monitoreo de PM10 a partir de una serie de entornos urbanos de Nueva Zelanda mostraron que PM10 tiene ciclos diurnos distintos, independientes de tamaño de la comunidad o población. Se encontraron concentraciones pico de PM10 que se produzca entre las 22:00pm y la medianoche con un segundo pico menos pronunciado que también ocurre entre las 8:00-11:00 am. En este sentido, determinaron que las emisiones de los incendios domésticos fue el más importante para la acumulación de PM10 en las zonas urbanas (Ancelet, 2012). Según la Organización Mundial de la Salud por el momento, los sistemas más habituales de vigilancia de la calidad del aire producen datos basados en la medición del MP10, en contraposición a otros tamaños del material particulado. En este sentido se exige, para este tipo de contaminante, un promedio de concentración anual máximo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 24 horas $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Organización Mundial de la Salud, 2006). Para Colombia los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia, los cuales se calculan con el promedio aritmético son de

$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas (Ministerio de Medio Ambiente, 2010). En nuestro país para poder hacer este tipo de estudios, el ministerio de medio ambiente crea manuales de protocolos de planes de gestión, manuales de operación, manuales de diseño de sistemas de vigilancia de calidad del aire. En este último explica el tipo de monitoreo que se debe emplear según las condiciones del lugar (población, industria, minería, etc.) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2010). En este sentido, para esta investigación de tipo descriptivo, se hace un muestreo de tipo indicativo, teniendo en cuenta que la población de la zona urbanas de Ocaña es de 90.3037 habitantes (Secretaria de Planeación., 2012) de la ciudad de Ocaña está dentro del rango de este tipo de monitoreo. Se utilizó tres muestreadores de material particulado PM10 (Hi Vol), ubicados a lo largo de la respectiva ciudad. La evaluación se hizo en temporada seca en los puntos más neurálgicos del área de estudio. Los resultados que se muestra son evaluados de acuerdo a las normas nacionales, las exigidas por la OMS y lo regulado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

2. METODOLOGÍA

- Tres muestreadores de material particulado menor o iguales a $10 \mu\text{m}$ (High Volume Air Sampler PM10). Marca Tisch Environmental
- Un Calibrador para los equipos muestreadores de material particulado. Marca Tisch Environmental
- Tres Cajas de filtro de Micro cuarzo 8×10 para PM10
- manómetro
- higrómetro
- balanza analítica

- campana desecadora
- cronometro
- Software Minitab
- Bolsa plásticas herméticas
- GPS

Diseño Experimental

Para el análisis de resultados, se hace un diseño experimental con bloques completamente al azar con tres tratamientos, cada tratamiento con 3 réplicas y cada replica con 7 pruebas. Un tratamiento en el barrio Santa Clara (Vía Nacional), otro en la Avenida Francisco Fernández de Contreras (vía nacional) y otro en la Escuela de Bellas Artes (Vía Urbana).

El ensayo fue realizado en la Ciudad de Ocaña con una población de 90.037 habitantes. Con ausencia de actividad minera, industrial u otras fuentes que puedan tener efectos adversos relevantes sobre la condición atmosférica. Debido a las características de la zona y a su densidad poblacional con respecto a la evaluación de material particulado, este se hace de tipo indicativo, con un monitoreo de tres meses; con un duración de 24 horas cada 72 horas, con un total por tratamiento de 21 mediciones. Los muestreadores para la estación de Bellas Artes, Avenida Francisco Fernández de Contreras y el Barrio Santa Clara (Figura 1), fueron puestos a una altura aproximada de 8, 11 y 12 metros respectivamente.

Todas las vías en donde fueron ubicados los muestreadores son de uso urbano, solo la avenida de doble calzada y la doble vía de Santa Clara son Vía Urbana y Vía Nacional.

La siguiente tabla (tabla 1) describe las variables que se tomaron para dicha investigación.

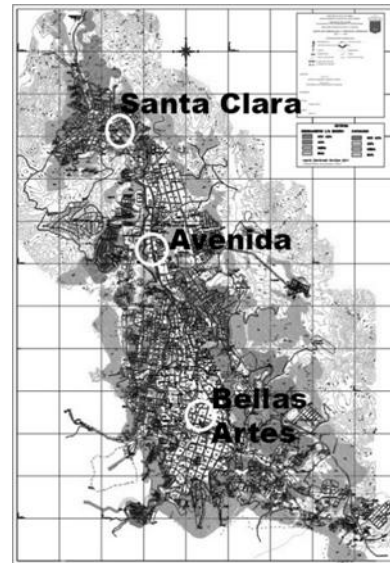


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de material particulado.

Tabla 1. Variables.

Tipo de Variables	Variable	Unidad de medida
Variable dependiente	Concentración de material particulado	Microgramo por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Variable independiente	Tiempo	Horas-días-Meses

Fuente. Elaboración propia.

Con respecto a la calibración de los equipos se empleó la siguiente ecuación:

$$Q_a = \frac{V_1}{m} \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta H}{2} \right)^2 + \left(\frac{Q_a}{P_a} \right)^2} - b \right) \quad (1)$$

Para el cálculo de la concentración de material particulado se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{P_{std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_{av}} \right) \quad (2)$$

$$V_{std} = Q_{std} * t \quad (3)$$

$$\text{Concentración PM}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{WF-WI}_i}{n} \quad (4)$$

Para cálculo de Índice de Calidad del Aire.

$$\text{ICA} = \frac{(\text{I}_{\text{HI}} - \text{I}_{\text{LO}})}{(\text{BP}_{\text{HI}} - \text{BP}_{\text{LO}})} * (\text{C}_{\text{I}} - \text{BP}_{\text{LO}}) + \text{I}_{\text{LO}} \quad (5)$$

3. RESULTADOS

Las siguientes gráficas muestran el material particulado. Estos datos fueron tomados en época seca con unas temperaturas globales promedio de la zona, para los meses 1,2 y 3, de 28,7°C, 29,13°C y 29,52°C y precipitaciones promedio de 0.73 mm, 0.74mm y 1.48mm respectivamente. Con respecto al viento, en Ocaña en época seca se da con una velocidad promedio de 7km/h, de norte a sur. De igual forma se tiene en cuenta el parque automotor de la ciudad de Ocaña, que según la Secretaria de Tránsito y Transporte de la respectiva ciudad cuenta con: 26.000 motocicletas matriculadas en Ocaña, 6.000 carros matriculados, 10.000 carros con matrícula de otra parte rodando en Ocaña, y por la vía nacional un flujo de carro pesado de 200 unidades/día, aproximadamente

En la Estación 1, de las 21 muestras tomadas de concentración de material particulado (figura 2), tan solo 1 muestra excede lo norma anual.

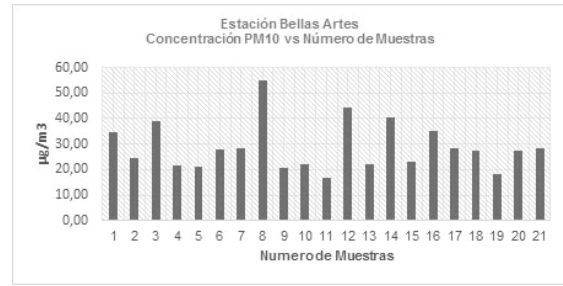


Figura 2. Concentración de material particulado. Estación 1
Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{Excedencia anual} = \frac{1}{21} * 100 = 4.76\%$$

Con respecto a la Estación 2, se observa que ninguna de las muestras excede la norma anual (figura 3)

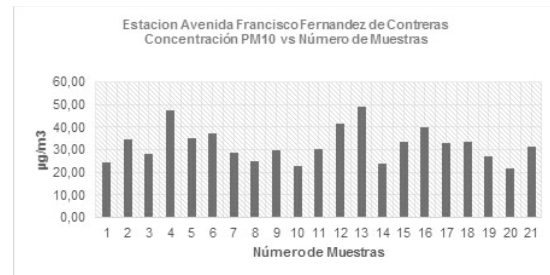


Figura 3. Concentración de material particulado. Estación 2.
Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ excedencia anual} = \frac{0}{21} * 100 = 0$$

En la Estación 3 se observa que tres de las muestras la concentración de Material Particulado (figura 4) exceden en un 14.28 la norma anual

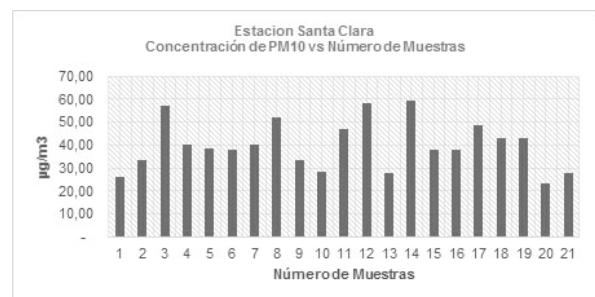


Figura 4. Concentración de material particulado. Estación 3.
Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ excedencia anual} = \frac{3}{21} = 14.28\%$$

El índice de Calidad de Aire (ICA) (figura 5) para cada uno de las estaciones de monitoreo se muestra de una calificación buena. Esta evaluación es dada desde lo exigido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América.

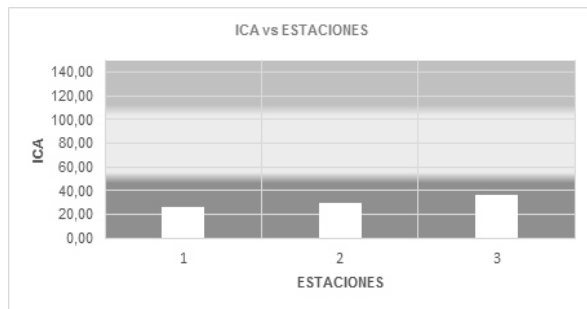


Figura 5. Índice promedio de la calidad del aire de las estaciones de monitoreo
 Fuente: Elaboración propia.

En la estación 3, el promedio de concentración de material particulado PM10 (tabla 2), se observa en mayor cantidad en comparación con las demás estaciones.

Tabla 2. Promedio de concentración de material particulado (µg/m3).

Meses	E ₁	E ₂	E ₃
Mes 1	28.2	33.69	39.16
Mes 2	31.57	31.14	48.10
Mes 3	28.8	31.51	37.42

E₁: Escuela de Bellas Artes, E₂: Avenida Francisco Fernández de Contreras, E₃: Barrio Santa Clara.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación estándar de los promedios de concentración de material particulado (tabla 3) la Estación 3, es que mayor presenta desviación.

Tabla 3. Análisis de los promedios de cada estación.

E _i	n	\bar{X}	\bar{X} error	σ	Mín.	Q ₁
E1	21	28,89	2,08	9,53	16,6	21,8
E2	21	32,29	1,67	7,64	21,73	25,95
E3	21	40,12	2,34	10,72	23,48	30,86

E_i: Estaciones, \bar{X} error: promedio del error estandar, Desviación estándar, Mín.: mínimo, Q₁: Cuartil 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Análisis de varianza de dos factores. Concentración de material particulado vs estación. Mes.

Fuente	GL	SC	CM	(F)	(P)
Estaciones	2	1993,64	696,818	7,87	0,001
Mes	2	147,07	73,536	0,83	0,441
Error	58	5132,17	88,486		
Total	62	6672,88			

GL: Grados de Libertad, SM: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios
 Varianza (S) = 9,407, Coeficiente de determinación (R²) = 23,09%
 R²(ajustado) = 17,78% Distribución = F Significancia = (P)

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al Análisis de Varianza (tabla 4) se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Se puede observar la E3 describe mayor diferencia entre la E1 y E2. De igual forma hay que tener en cuenta que la varianza entre las muestras fue alta. Entre la comparación de los niveles de material particulado (tabla 5) se observa mayor diferencia entre la E1 la E3.

Tabla 5. Comparación de los niveles de concentración de material particulado por estación.

E _i	Número de muestras	\bar{X}	σ	
E ₁	21	28,892	9,527	(-----*-----)
E ₂	21	32,292	7,637	(-----*-----)
E ₃	21	40,125	10,718	(-----*-----)

+-----+-----+
 -----+-----
 +-----+-----+
 -----+-----
 25,0 30,0 35,0
 40,0

\bar{X} : promedio

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación de la concentración de material particulado PM10 en la zona urbana del Municipio de Ocaña, se concluye:

- La concentración de material particulado medido en las tres estaciones están por debajo de la norma nacional (Resolución 610 del 2010), de igual forma los índices ICA, para cada una de las estaciones está dentro de una calificación Buena. Es decir, la calidad del aire se considera satisfactoria, y la contaminación del aire representa poco o ningún riesgo.
- La vía nacional dentro del casco urbano, representa un riesgo en el aumento de la concentración de material particulado. En esto se observa que las estaciones E2 Y E3 ubicadas sobre la respectiva vía presentan mayor concentración de material particulado en comparación con la Estación de Bellas Artes. Se tiene en cuenta que sobre la vía nacional trafica carro pesado y sobre la vía urbana carro liviano.
- La condición de la vía, provoca aumento en la concentración de material particulado. En el análisis entre estaciones se observa que hay diferencia significativa, describiendo mayor diferencia con las otras estaciones, la Estación Ubicada en el Barrio Santa Clara, es decir hay mayor concentración de material particulado PM10 en ese respectivo sitio, llegando en tres de las 21 muestras, a estar por encima de la norma nacional, con un índice de calidad de aire moderado, o sea, la calidad del aire es aceptable; con

consecuencias de salud moderado para un número muy reducido de personas. Esto debido a la velocidad y el tipo de vehículos en esta estación, puesto que la encrucijada de vía urbana sin semáforo que se presenta, la vía tan estrecha y el grado de inclinación que presenta la vía en la dirección de llegada y salida de la ciudad, provoca trancones y en muchos casos un tránsito demasiado lento, que desde los carros livianos hasta el carro pesado se ven obligados a tener que someter el automóvil a procesos de más exigencia de combustible. Situación diferente a lo que muestra la estación de Bellas Artes cuyo tráfico es liviano, que a pesar que hay entrecruzamiento entre calles, existe un control por los semáforos ubicados en la respectiva zona. Observándose tan solo una muestra por encima de la norma de las 21 que se tomaron. Con respecto a la estación ubicada en la Avenida Francisco Fernández de Contreras, no presenta alteraciones en la concentración de material particulado, con respecto a la norma nacional. Acá el tránsito automotriz es más fluido, y no hay entrecruzamiento entre calles, de igual forma la vía es de doble calzada con el acompañamiento de semáforos.

- La estación ubicada en el Barrio Santa Clara se clasifica como Área Marginal. Según el decreto número 979, 3 de abril de 2006, excede con una frecuencia superior al diez por ciento (10%) e inferior al veinticinco por ciento (25%) de los casos la norma de calidad anual. En esta área se deben tomar medidas dirigidas a controlar los niveles de

contaminación que permitan la disminución de la concentración de contaminantes o que por lo menos las mantengan estables.

- Los valores del material particulado en todas las estaciones de monitoreo varían drásticamente entre los respectivos días de monitoreo, viéndose reflejado en la desviación de la misma. Es decir el tipo de día influyen en la determinación de la concentración de dicho contaminante.
- La concentración del material particulado en todas las estaciones de monitoreo están por encima de lo exigido por la OMS. La estación E1, E2 y E3 están por encima de la norma en: $8.89\mu\text{g}/\text{m}^3$, $12.29\mu\text{g}/\text{m}^3$, y $20.12\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente

5. FINANCIACIÓN

El estudio fue financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y La Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental

6. BIBLIOGRAFÍA

Ancelet, T. (2012). Air particulate matter in polluted New Zealand urban environments: sources, patterns and transport. Tesis Doctoral. . 2012. Wellington: -.

H Pérez Vidal, M. L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. Universidad y Ciencia, 156-162.

José E. Celis, J. R. (2007). Contaminación del Aire Atmosférico por Material

Particulado en una Ciudad Intermedia: El Caso de Chillán (Chile). Información Tecnológica, 18(3), 49-58.

Londoño, C. A., & Vasco, G. J. (Abril de 2008). Relación entre las partículas finas (PM2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de Medellín. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 7(12), 23-42.

LOZADA, H. M. (2009). Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión Héctor. Estudio de Caso Bogotá. Bogota: Universidad Nacional del Colombia.

Martínez, P. S. (2005). Caracterización de la Contaminación Atmosférica Producidas por Partículas en Suspensión en Madrid. Facultad de Ciencias Físicas Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid. Madrid: Tesis Doctoral. Recuperado el 2014, de <http://eprints.ucm.es/5402/1/T27355.pdf>

Medicine., Lung Institute of Western Australia & Institute of Occupational. (2007). Literature Review and Report on Potential Health Impacts of Exposure to Crustal Material in Port Hedland. Australia: Lung Institute of Western Australia & Institute of Occupational Medicine.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Bogotá

Ministerio de Medio Ambiente. (2010).
Resolución 610 de 2010. Bogotá

Organización Mundial de la Salud . (2006).
Guías de calidad del aire de la OMS
relativas al material particulado, el
ozono, el dióxido de nitrógeno y el
dióxido de azufre. Actualización
2005. Ginebra: OMS.

Pérez, V. D. (2006). Contaminación por
material particulado en Quito y
caracterización química de las
muestras. Acta Nova, 308-321.

Roberto Rojano Alvarado, J. P. (2011).
Análisis comparativo de las
mediciones de material particulado
PM10. Revista Facultad de
Ingeniería. Universidad de
Antioquia, 58, 27-35.

Roberto Rojano, H. A. (2014). Composición
Elemental y Fuentes de Origen de
Partículas Respirables (PM10) y
Partículas Suspendidas Totales (PST)
en el Área Urbana de la Ciudad de
Riohacha, Colombia. Información
Tecnologica, 25(6), 3-12.

Rojas, N. Y. (noviembre de 2004). Revisión
de las emisiones de material
particulado por la combustión de
diésel y biodiésel. Revista de
Ingeniería, 20, 58-68.

Secretaria de Planeación. (2012). Informe
General del Municipio de Ocaña.
Ocaña.

Seyed Hamed Mirhosseini, M. B. (Julio de
2012). Analysis of Particulate matter
(PM 10 and PM 2.5) concentration
in Khorramabad city. International
Journal of Environmental Health
Engineering, 1, 47-49.