

Evaluación preliminar de los niveles de partículas atmosféricas PM₁₀ y PM_{2,5} en la ciudad de Maracaibo, Venezuela

José Morales, Yulixis Cano, Ligbel Sánchez, Julio Torres, Irene Stanislao y Brinolfo Montilla

Lab. de Química Ambiental, Dpto. de Química, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

jamoralesm1@gmail.com

Resumen

Las partículas atmosféricas juegan un papel muy importante en la contaminación del aire; muchos contaminantes gaseosos son convertidos por procesos heterogéneos en partículas. Las muestras fueron recolectadas cada seis días durante enero-diciembre de 2009. El promedio anual (\pm DE) de las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ fue de $36,2 \pm 27,3$ y $80,8 \pm 53,5$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; la amplia fluctuación de los niveles de partículas se relacionan principalmente con la variabilidad meteorológica en la zona evaluada. Se observó un efecto significativo de dispersión-dilución de las PM_{2,5} y un efecto de lavado-remoción más grande en la fracción PM_{10-2,5}. Las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} sobrepasan los estándares de calidad del aire anuales ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀; $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2,5}) y diarios ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀; $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2,5}); las PM₁₀ y PM_{2,5} estuvieron alrededor de 1,6 y 2,4 veces más altas, respectivamente; los valores diarios se superaron en un 10% (PM₁₀) y 16% (PM_{2,5}) de los días evaluados. Una relación PM_{2,5}/PM₁₀ de 0,45 indicó que la zona nor-oeste de Maracaibo tiene una influencia directa de fuentes de combustión, debido principalmente al tráfico automotor.

Palabras clave: partículas atmosféricas, PM₁₀, PM_{2,5}.

A Preliminary Study of PM₁₀ and PM_{2.5} Atmospheric Particle Levels in Maracaibo, Venezuela

Abstract

Atmospheric particles play a very important role in air pollution; many gaseous pollutants are converted to particles by heterogeneous processes. Sampling was carried out every six days between January and December, 2009. The annual average (\pm SD) of the concentrations was 36.2 ± 27.3 (PM_{2.5}) and 80.8 ± 53.5 (PM₁₀) $\mu\text{g}/\text{m}^3$; the wide fluctuation of particle levels related mainly to meteorological variability in the zone under study. A significant dilution-dispersion of the PM_{2.5} particles and a greater washout-removal effect of the PM_{10-2.5} fraction were observed. PM₁₀ and PM_{2.5} concentration levels were above annual EPA-USA Air Quality Guidelines ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀; $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}) and daily guidelines ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀; $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}); PM₁₀ and PM_{2.5} levels were 1.6 and 2.4 times higher, respectively; daily values were greater on 10% (PM₁₀) and 16% (PM_{2.5}) of the sampling days. A PM_{2.5}/PM₁₀ ratio of 0.45 indicated that the northwestern part of Maracaibo is directly influenced by combustion sources, principally automotive traffic emissions.

Keywords: atmospheric particles, PM₁₀, PM_{2.5}.

Introducción

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras: las naturales y las antrópicas. Estas últimas se relacionan con las actividades humanas. Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos [8, 13, 16]. Las partículas atmosféricas (sólidas o líquidas), juegan un papel muy importante en la contaminación del aire; muchos contaminantes gaseosos son convertidos por procesos heterogéneos en partículas [20, 21, 24, 25]. Las partículas inhalables PM₁₀ ($\leq 10 \mu\text{m}$), se mantienen en suspensión por largos períodos de tiempo y se obtienen por procesos de combustión, aglomeración o por condensación. Las PM₁₀ se subdividen en fracción gruesa PM_{10-2.5} (diámetro 2,5-10 μm) y fina (PM_{2.5}, $\leq 2,5 \mu\text{m}$) [6, 11, 19, 20]. La exposición crónica a altas concentraciones de partículas atmosféricas puede ser dañino para el sistema respiratorio. Recientes estudios epidemiológicos sugieren una relación evidente entre la mortalidad en áreas urbanas con las PM₁₀ y PM_{2.5}, siendo éstas últimas las principales responsables de este problema [3, 4, 6, 17]. Adicionalmente, las partículas participan en el ciclo hidrológico del

agua, en reacciones de oxidación de compuestos orgánicos y como precursores de ácidos, favoreciendo la formación de la lluvia ácida [2, 6, 7, 23-25]. En este trabajo se plantearon los siguientes objetivos: cuantificar los niveles de PM₁₀ y PM_{2.5} durante el periodo de enero a diciembre de 2009 en un sitio de la ciudad de Maracaibo, Venezuela y comparar los niveles de contaminación atmosférica por partículas inhalables (PM₁₀ y PM_{2.5}) con las normas de calidad del aire de los Estados Unidos de América (USEPA) [4].

Materiales y métodos

Descripción del sitio de muestreo

En la actualidad el monitoreo en las ciudades se lleva a cabo en sitios seleccionados con base en la experiencia y en la información con que se cuenta para el estudio, siendo estos sitios representativos del área que se pretende monitorear, es decir, instalando estaciones que cubran zonas del centro de las ciudades, de los sectores industriales, zonas residenciales, entre otras. La ciudad de Maracaibo se encuentra situada geográficamente en la costa occidental del Lago de Maracaibo (Figura 1), frente a la bahía de El Tablazo, en el estado Zulia, entre la siguientes coordena-

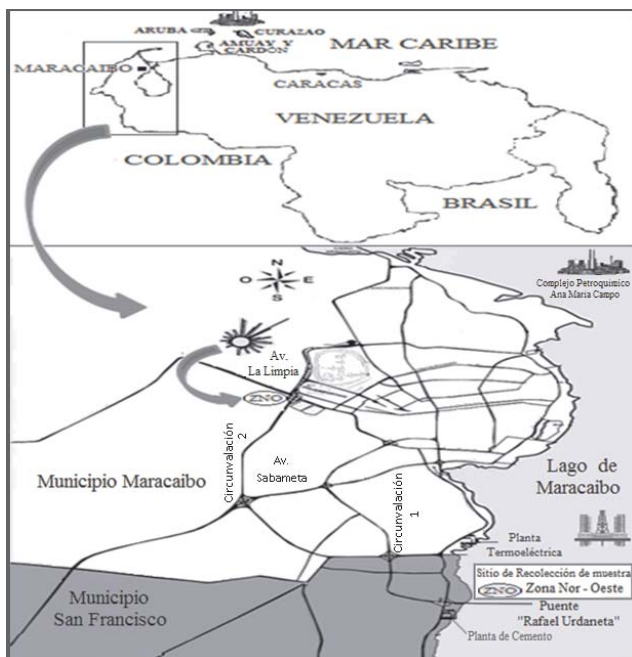


Figura 1. Mapa con la ubicación del sitio de recolección de muestras en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

das: 10°31'-10°46' de latitud norte y 71°35'-71°97' de longitud oeste. Tiene una población aproximada de 1,8 millones de habitantes y una superficie de 1.543 km² [9]. Presenta importantes fuentes de emisiones antrópicas locales como son: una planta termoeléctrica, una planta de cemento y un parque automotor, con un alto porcentaje que presenta un marcado deterioro. Además, se han identificado fuentes antrópicas vientos arriba de la ciudad, las cuales debido a las características de sus procesos industriales y su ubicación pudieran afectar la calidad del aire de la ciudad: el complejo petroquímico Ana María Campos (aproximadamente a 16 km) con plantas de amonio y cloro, las canteras de caliza de Isla de Toas (aproximadamente a 32 km), las refinерías de Amuay-Cardón en el estado Falcón (aproximadamente a 200 km) y posiblemente las refinерías de las islas de Aruba y Curazao (alrededor de 320 km). La dirección predominante de los vientos es norte-noreste (NNE) y la velocidad promedio de 3,8 m/h.

Metodología de muestreo y análisis

Las PM₁₀ y PM_{2,5} se recolectaron con un equipo Dichotomous Sampler modelo 241; marca: Andersen, el cual recolecta partículas inhalables (partículas < 10 m) y las separa en la entrada del sistema en dos fracciones por su tamaño en gruesas (2,5-10 m) y finas (< 2,5 m). Para el cálculo del contenido de masa de partículas inhalables PM₁₀ se suman estas dos fracciones ([PM₁₀] = [PM_{2,5}] + [PM_{10-2,5}]). Este se calibró a una velocidad de flujo de 16,7 L/min, la

recolección de las muestras se realizó sobre filtros de membrana PTFE con un diámetro de poro = 2,0 m (Marca: Thermo Scientific). Para el análisis se utilizó el método gravimétrico, con una frecuencia de recolección de una muestra cada seis días durante enero-diciembre 2009 (n = 62), según la norma de control de calidad del aire [13, 14]. Los filtros se ambientaron y pesaron antes y después del muestreo utilizando una balanza analítica (marca Sartorius Analytic, modelo: AC 210S-00v1A), de precisión y exactitud adecuada (0,00001 g) para determinar la masa neta de las partículas de cada muestra [8].

Resultados y discusión

Concentraciones de las partículas atmosféricas inhalables PM₁₀ y PM_{2,5}

Los niveles de concentración de las partículas en la atmósfera están relacionados con las actividades de las fuentes antrópicas y las naturales, así como la variabilidad meteorológica [9]. El promedio anual (\pm DE) de las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ fue de $36,2 \pm 27,3$ y $80,8 \pm 53,5$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente observándose una amplia fluctuación en los niveles de partículas, lo cual se relaciona principalmente con la variabilidad meteorológica en la zona evaluada. Las concentraciones de PM₁₀ obtenidas en este estudio son alrededor de dos veces más altas que las reportadas en el año 2003 para dos sitios de Maracaibo directamente influenciados por una planta termoeléctrica (Los Haticos) y una planta de cemento (San Francisco) [22]. En la Figura 2 se muestra la evaluación de la media mensual de las concentraciones de PM_{2,5}, PM_{10-2,5} y pluviometría a lo largo del año 2009. Como se puede observar las concentraciones de partículas tienden a disminuir en los meses de máxima precipitación (junio y agosto), la fracción gruesa mostró una correlación inversa significativa ($r = -0,454$; $p = 0,05$) con la precipitación, indicando el efecto de remoción atmosférica de las partículas solubles provenientes del aerosol marino asociadas principalmente a esta fracción. La correlación inversa entre las PM_{2,5} y la velocidad del viento ($r = -0,433$; $p = 0,05$) mostró que puede ocurrir una disminución significativa de los niveles de partículas finas PM_{2,5} por dispersión-dilución debido a los vientos [1, 12, 19, 20, 21].

Una herramienta que se utiliza para inferir sobre las fuentes de partículas inhalables es la relación entre las concentraciones de PM_{2,5} y PM_{10-2,5} (PM_{2,5}/PM₁₀); si el valor de esta relación es inferior a 0,3, se asume que el sitio evaluado se encuentra bajo la influencia directa de polvo resuspendido o erosión y si es mayor a este valor se relaciona con los diferentes procesos de combustión que forman

partículas finas $\leq 2,5 \mu\text{m}$ [2, 4, 6, 10, 16, 20, 23]. La relación $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ en la zona noroeste de Maracaibo fue 0,45 lo cual muestra una influencia directa de fuentes de combustión en la zona en estudio, debido principalmente al tráfico automotor.

Calidad del aire

El efecto de la contaminación del aire sobre el ambiente y el bienestar de la población ha sido una preocupación frecuente y los gobiernos tienen la misión y la facultad de establecer estándares de calidad del aire que aseguran la protección de la salud y el bienestar público. Estos indican los niveles ambientales de contaminación que no pueden ser excedidos legalmente en una región [4, 17-19].

Debido a que la normativa venezolana no establece estándares de calidad para PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ las concentraciones reportadas en este trabajo se comparan con los estándares norteamericanos, los cuales establecen el valor de 50 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio anual; 150 y 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio diario, respectivamente, el cual no debe ser excedido más que una sola vez al año [4].

En la Figura 3 se presentan los valores diarios y el promedio anual de las partículas inhalables PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$. Al comparar los resultados obtenidos con los valores estándar norteamericanos, las concentraciones en la zona en estudio sobrepasan estas normas, aproximadamente 1,6 y 2,4 veces mayor que los estándares anuales para las PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$, respectivamente. En cuanto al valor límite diario de la normativa (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM_{10}), éste se superó en 6

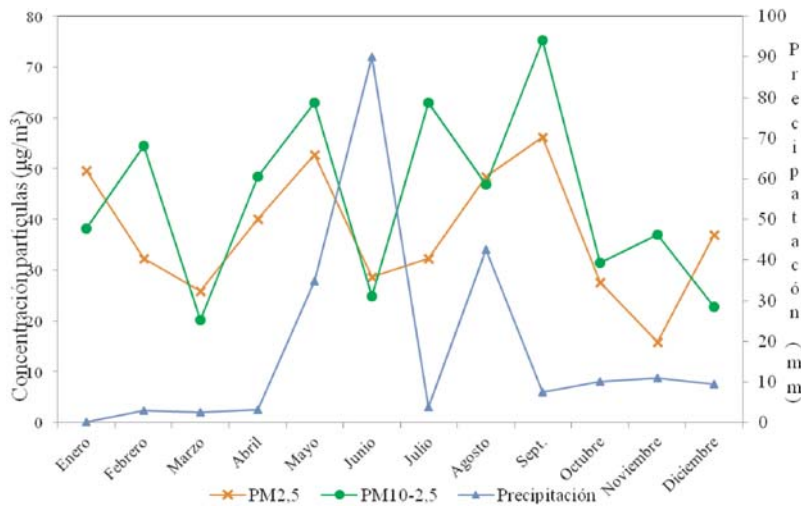


Figura 2. Concentración mensual promedio de $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{10-2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y pluviometría (mm) durante enero a diciembre 2009 (n = 62) en la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo.

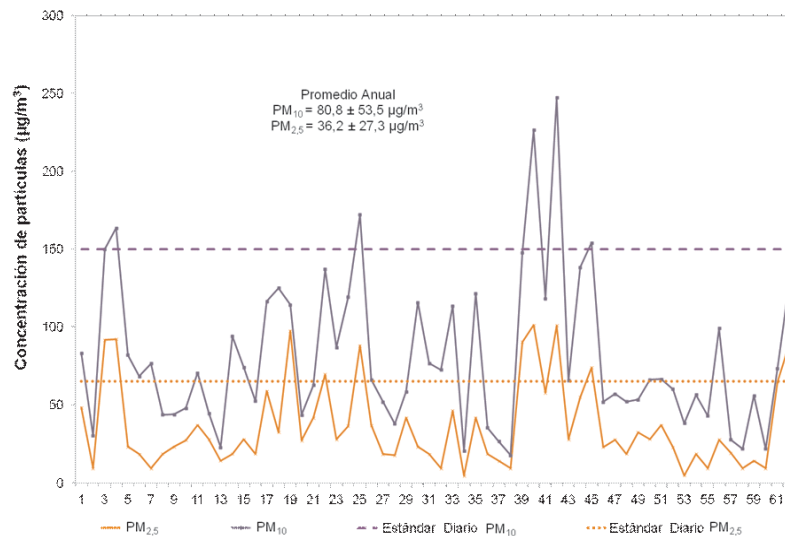


Figura 3. Concentración diaria de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante enero-diciembre 2009 (n = 62).

(10%) de los 62 días evaluados. El estándar diario de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM_{2,5} se superó en 10 días lo cual representa un 16% del total de los días evaluados.

Conclusiones y recomendaciones

La relación entre las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ (PM_{2,5}/PM₁₀) fue 0,45 indicando que la zona de estudio está principalmente influenciada por fuentes primarias y/o secundarias de partículas finas inhalables tales como el tráfico automotor y fuentes foráneas vientos arriba de la zona noroeste (Complejo Petroquímico Ana María Campos, Refinerías de Amuay-Cardón, Aruba, Curazao, entre otras). La correlación inversa entre los niveles de PM_{2,5} y la velocidad del viento mostró un efecto significativo de dispersión - dilución en la fracción fina de las partículas; en el caso de la fracción gruesa PM_{10-2,5} no se observó el mismo comportamiento, pero si un lavado-remoción mucho mayor en esta fracción que en las PM_{2,5}.

Las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} sobrepasan los estándares de calidad del aire anuales y diarios establecidos por los Estados Unidos de América. Los resultados del presente estudio señalan la necesidad de que el estado venezolano pueda implementar las normas de calidad del aire para partículas PM₁₀ y PM_{2,5}, y también para que se establezcan estrategias de prevención, minimización y control para reducir los niveles de partículas inhalables nocivas para la salud humana.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda llevar a cabo la caracterización química de las partículas inhalables con el fin de identificar con más precisión fuentes potenciales de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Maracaibo, así como ampliar el número de sitios de muestreo.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES-LUZ), por el financiamiento de esta investigación.

Referencias

- [1] CHANDRA, P.; VENKATA, S.; JAYARAMA, S. (2006). Chemical composition of atmospheric aerosol (PM₁₀) at a semi-arid urban site: influence of terrestrial sources. **Environmental Monitoring and Assessment**. Vol. 117; 291-305.
- [2] CHANG, C.; YAO, X. 2008. Review Air pollution in mega cities in China **Atmospheric Environment**. Vol 42: 1-42.
- [3] CHENG, M.T.; TSAI, Y. (2000) Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas. **The Science of The Total Environment**. Vol. 263; 101-114.
- [4] COVENIN (1985) Normas venezolanas de calidad del aire y control de la contaminación atmosférica. Decreto N° 638.
- [5] CURTIS, L.; REA, W.; SMITH, P.; FENYVES, E.; PAN, Y. (2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. **Environment International**. Vol. 32; 815-830.
- [6] EPA-US. 2009. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. United States Environmental Protection Agency.
- [7] FISHMAN, J. (2003) Overview: Atmospheric Chemistry. Handbook of weather, climate, and water: Atmospheric chemistry, Hydrology, and societal impacts. **Atmospheric Chemistry**. Editorial John Wiley & Sons, Inc. Cambridge, Inglaterra. pp. 3-27.
- [8] HARRISON, R.M.; YIN, J.; MAK, D.; STEDMAN, J.; APPLEBY, R.; BROOKER, J. (2001). Studies of coarse particle (2,5-10 μm) component in U.K. urban atmospheres. **Atmospheric Environment**. Vol. 35, 3667-3679.
- [9] HOPKE, P. (2003). Advances in Monitoring Methods for Airborne Particles. **Clean Air and Environmental Quality**. Vol. 37, No. 2, 26-31.
- [10] INCHE, J. (2004). **Gestión de la calidad del aire causas, efectos y soluciones**. Editorial Instituto de investigación de Ingeniería Industrial. Lima, Perú. pp. 13, 25-53, 59.
- [11] Instituto Nacional de Estadística (2009). Municipio Maracaibo demografía y distribución poblacional (Documento en línea). Disponible: [http://www.inecve.gov.ve/DI5Web/\(S\(sejl5s55ddsl4a55m1xt0c55\)\)/devinfoapp.aspx?cl=DAT](http://www.inecve.gov.ve/DI5Web/(S(sejl5s55ddsl4a55m1xt0c55))/devinfoapp.aspx?cl=DAT) (Consulta 2010, junio 10).
- [12] KEYWOOD, M.; AYERS, G.; GRAS, J.; GILLET R. (2000). Size distribution and sources of aerosol in Launceston, Australia, during winter 1.997. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Vol. 50, 418-427.
- [13] LAI, S.; ZOU, S.; CAO, J.; LEE, S.; HO K. (2007). Characterizing ionic species in PM_{2,5} and PM₁₀ in four Pearl River Delta cities, South China. **Journal of Environmental Sciences**. Vol. 19, 939-947.
- [14] MANAHAN, S. (2004). **Environmental Chemistry**. Editorial C.R. Press. Florida, Estados Unidos. pp. 25-31, 241-273.
- [15] MORALES, J.A.; PIRELA, D.; DE NAVA, G.M.; BORRERO DE, S.B.; VELÁSQUEZ, H., DURÁN, J. (1998). Inorganic water soluble ions in atmospheric particles over Maracaibo Lake Basin in the western region of Venezuela. **Atmospheric Research**. Vol. 46, 307-320.
- [16] NAWROT, T.; KUENZLI, N.; SUNYER, J.; SHI T.; MORENO, T.; VIANA, M.; HEINRICH, J.; FORSBERG, B.; KELLY, F.; BORM, P. (2009). Oxidative properties of ambient PM_{2,5} and elemental composition: Heterogeneous associations in 19 European cities. **Atmospheric Environment**. Vol. 43; 4595-4602.
- [17] PABÓN, J.; ZEA, J.; LEÓN, G.; HURTADO, G.; GONZÁLEZ, C.; MONTEALEGRE, J. (2001). **El Medio Am-**

- biente en Colombia: La atmósfera, el tiempo y el clima.** Editorial IDEAM. Bogotá, Colombia. pp. 34-58.
- [18] PABÓN, J.; ZEA, J.; LEÓN, G.; HURTADO, G.; GONZÁLEZ, O.; MONTEALEGRE, J. (2005). **Normas de calidad del aire a nivel internacional.** Editorial IDEAM. Bogotá, Colombia. pp. 24-31.
- [19] PACHECO, M.; SANHUEZA, E.; DONOSO, L.; ROMERO, J. (2005). Química atmosférica en La Gran Sabana II: Distribución de tamaño y composición de los aerosoles solubles en agua. **Interciencia.** Vol. 30, No.10, 611-617.
- [20] PEARCE, J.; BERINGER, J.; NICHOLLS, N.; HYNDMAN, R.; TAPPER, N. (2011). Quantifying the influence of local meteorology on air quality using generalized additive models. **Atmospheric Environment** 45: 1328-133.
- [21] PEY, J.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A. (2009). Variations of levels and composition of PM₁₀ and PM_{2.5} at an insular site in the Western Mediterranean. **Atmospheric Research.** Vol. 94, 285-299.
- [22] PIRELA, D.; GARCÍA, N.; MACHADO, A.; FERNÁNDEZ, N. (2003). Contenido metálico en partículas inhalables en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo. **Ciencia** Vol. 11 (4), 311-318.
- [23] QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; VIANA, M.; RODRÍGUEZ, S.; ARTIÑANO, B.; SALVADOR P.; GARCIA S.; FERNANDEZ, R. RUIZ C.; DE LA ROSA J.; SANCHEZ A.; MENENDEZ M.; GIL J. (2004). Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in Spain. **Atmospheric Environment.** Vol. 38, 6547 - 6555.
- [24] RODRÍGUEZ, S.; VAN, DINGENEN, R.; PUTAUD, J.; MARTINS-DOS, SANTOS, S.; ROSELLI, D. (2005). Nucleation and growth of new particles in the rural atmosphere of Northern Italy-relationship to air quality monitoring. **Atmospheric Environment.** Vol. 39, 6734-6746.
- [25] WARNECK, P. (1999). **Chemistry of the natural atmosphere.** Editorial Academic Press, Inc. California Estados Unidos. 1-8, 61-76, 92-158, 211-261.
-