

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN UNA ZONA DE ACTIVIDAD MINERA DE LA CIUDAD DE ITÁ EN FEBRERO DEL AÑO 2015

STUDY OF THE VARIABILITY OF CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER IN A ZONE OF MINING ACTIVITY IN THE CITY OF ITÁ IN FEBRUARY, 2015

JULISSA ARMOA^{1,2}, F. Méndez G.¹ & T. Rolón C.¹

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. ²Email: julyar717@gmail.com

Resumen: En este trabajo se presentan los resultados de los estudios realizados con el fin de contribuir a un mayor conocimiento de los niveles de concentración atmosférica de material particulado en zonas de actividad minera en Paraguay, tanto para partículas finas como para partículas gruesas. El procedimiento consistió en realizar un muestreo de la concentración de partículas suspendidas en la atmósfera utilizando el monitor de partículas de la marca Kanomax, modelo 3887, perteneciente al Laboratorio de Investigación de la Atmósfera y Problemas Ambientales (LIAPA), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN). La recolección de datos fue realizada en el predio de una industria minera dedicada a la extracción, trituración y procesamiento de piedras del tipo basálticas para la posterior producción de mezcla asfáltica. Una vez recabados los datos, primeramente se calcularon las densidades correspondientes para cada nivel de concentración medido y se procedió a comparar con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Reglamento Nacional, comprobándose así que los niveles de material particulado fino con diámetro aerodinámico igual a $0.3\mu\text{m}$ y $0.5\mu\text{m}$ se encuentran por debajo de los máximos valores permitidos, constituyendo el 5,5% del máximo Nacional y el 6,6% del máximo de la OMS para el MP de $0.3\mu\text{m}$ y el 25,4% del máximo Nacional y el 30,5% del máximo de la OMS para el MP de $0.5\mu\text{m}$ mientras que para el material particulado grueso, con diámetro aerodinámico igual a $5\mu\text{m}$, se demostró que los límites tanto nacionales como internacionales son ampliamente superados, en 1650% del máximo de la OMS y 483% del máximo Nacional.

Palabras Clave: contaminación, material particulado (MP), calidad del aire, piedras basálticas, mezcla asfáltica, OMS, reglamento nacional.

Abstract: This paper presents the results of studies conducted in order to contribute to a better understanding of the levels of atmospheric concentration of particulate matter in areas of mining activity in Paraguay, both fine particles to coarse particles are present. The procedure consisted of sampling the concentration of suspended particles in the atmosphere using the particle monitor the Kanomax make, model 3887, part of the Research Laboratory for Atmospheric and Environmental Problems (LIAPA) under the Faculty of Science Natural (FACEN).

Data collection was performed at the site of a mining industry for the extraction, crushing and stone processing basaltic type for the subsequent production of asphalt. Once collected the data, first the corresponding densities for each level measured concentrations were calculated and proceeded to compare with the limits set by the World Health Organization (WHO) and National Regulation, proving so the levels of particulate matter fine with aerodynamic diameter equal to $0.3\mu\text{m}$ and $0.5\mu\text{m}$ are below the maximum permissible values, constituting 5.5% of the national peak and 6.6% of the maximum of the WHO MP of $0.3\mu\text{m}$ and 25,4% of the national peak and 30.5% of the maximum of WHO for the $0.5\mu\text{m}$ MP while for coarse particulate matter with an aerodynamic diameter equal to $5\mu\text{m}$, it was shown that both national and international boundaries are far outweighed in 1650% of maximum WHO and 483% of the national peak.

Key words: contamination, particulate matter (PM), air quality, basalt stone, asphalt, OMS, National Regulation.

INTRODUCCIÓN

Cuando algunas sustancias en el aire sobrepasan cierta cantidad o valor de referencia, usualmente expresada en unidades de concentración, éstas producen consecuencias adversas al hombre y al ambiente; por lo que una fuente de contaminación del aire es una actividad que aporta contaminantes a la atmósfera; las fuentes de emisión de origen antrópico suelen dividirse para su estudio en fuentes móviles y fijas, las primeras incluyen todas las formas de transporte y las segundas son las sustancias emitidas en procesos de transformación de materia prima, trituración, generación de vapor, centrales eléctricas entre otras. (Wark, 2005).

Durante los últimos años, el material particulado atmosférico ha suscitado un gran interés debido a su impacto en la salud humana, ecosistemas y cambio climático (De la Rosa, 2008). Puesto que la contaminación atmosférica es un problema que se ha acrecentado en las últimas décadas en todo el planeta, se vuelve imperante una gestión efectiva de la calidad de aire, enfocada en la reducción de la exposición poblacional al mínimo, especialmente al tener en cuenta que incluso a bajas concentraciones de contaminantes del aire la carga sobre la salud puede ser sustancial (Seoánez, 2002).

Teniendo en cuenta que las explotaciones mineras se caracterizan por una importante contribución

al aire de partículas de diferente tamaño y composición derivadas de las actividades extractivas, transporte y tratamiento de mineral, es de suma importancia un análisis adecuado del mismo es así que este emprendimiento busca ser una base de información y fundamento en los planes de acción en las políticas de lucha contra la contaminación atmosférica, de modo que sea posible advertir a la población el riesgo al cual es expuesto.

Los propósitos de la investigación son determinar los niveles de concentración de material particulado fino y grueso en una zona de actividad minera de la ciudad de Itá, para posteriormente comparar los niveles de las densidades de material particulado fino y grueso en la zonas de estudio, con los límites establecidos en las normas de la OMS publicado en la “Guía de calidad del aire del año 2005”

A nivel nacional se encuentra actualmente vigente la Ley 5211/14, promulgada el 4 de julio de 2014, el cual establece en las disposiciones generales: “De quien contamina responde compensando in natura e indemnizando”. Además se cuenta con la resolución N° 259/15 por la cual se establecen los parámetros permisibles de calidad del aire que fueron remitidos por la Dirección General del Aire y aprobado en fecha 3 de julio del año 2015, la misma se encuentra resumida en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros permisibles de calidad de aire de acuerdo a las normas nacionales vigentes.

Contaminantes	Media Anual	Media en 24h	Media en 8 h	Media en 1h
MP2,5	15 ug/m ³	30 ug/m ³	-	-
MP10	-	150 ug/m ³	-	-
O3	-	-	120 ug/m ³	-
NO2	40 ug/m ³	-	-	200 ug/m ³
SO2	-	20 ug/m ³	-	-
CO	-	-	10 ug/m ³	-

MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar elegido para llevar a cabo las mediciones de la concentración de material particulado fue el distrito de Arrua`i de la ciudad de Itá del departamento central, para llegar al lugar se toma la Ruta N°1 “Mcal. Francisco Solano López”, en dirección Asunción-Encarnación, hasta llegar la ciudad de Itá. Luego, se recorren unos 5km aproximadamente y se toma el acceso a la derecha conocido como Acceso a Arrua`i (figura 1), unos 6,5km hasta llegar a la zona de medición de la concentración de material particulado (MP).

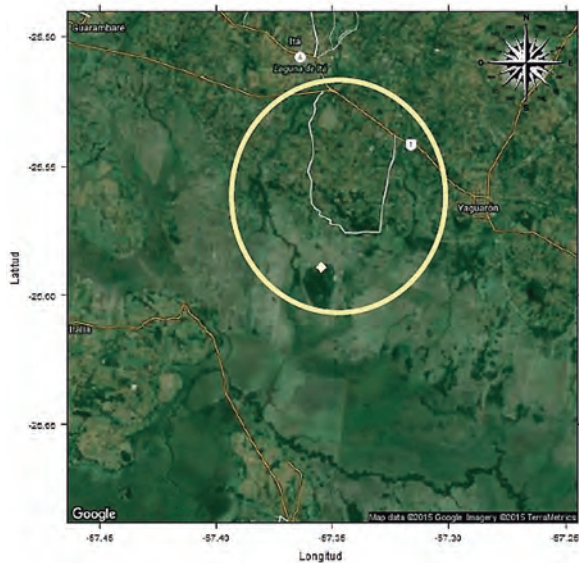


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Para la realización del muestreo fue utilizado el monitor de partículas de la marca Kanomax, modelo 3887; el cual es un medidor de la concentración de partículas como polvo, hollín, polen y otros aerosoles que se encuentran en el aire. El medidor muestra tres tamaños de partículas $0,3\mu\text{m}$, $0,5\mu\text{m}$ y $5\mu\text{m}$, al mismo tiempo en pantalla; dispone de una memoria para 8000 valores; es alimentada mediante un acumulador recargable y es válido para realizar mediciones según la norma ISO 14644-1 (Kanomax, 2012).

Fue necesario considerar el horario en el que operan las empresas mineras, el cual es de 6:00am hasta las 6:00pm todos los días de la semana par-

do la producción solo en días feriados; considerando el horario de trabajo se tomo la decisión de realizar el muestreo desde las 9:00am hasta las 5:00pm, abarcando así ocho horas actividad minera, lo cual fue realizado con la finalidad de obtener datos relevantes para la investigación en dicha franja horaria los días 2 y 3 de febrero del año 2015.

El monitor de partículas fue configurado para realizar la toma de datos cada 5min, siendo la muestra de aire aspirada por 30 segundos, luego el medidor deja de operar, arrojando en la pantalla los valores promedios de concentración obtenidos en el tiempo de aspiración para partículas de $0.3\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$ y $5\mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico; al cabo de 5min vuelve a tomar una muestra siguiendo este ciclo de recolección de datos durante las ocho horas de medición ininterrumpida realizada los días 2 y 3 de febrero. El punto de medición fue único ubicado en las siguientes coordenadas: $25^{\circ}35'20,31''$ latitud sur y $57^{\circ}21'17,71''$ longitud oeste (figura 2).

El punto de medición se encontraba ubicado entre la cantera y la planta trituradora, considerado un punto clave ya que en la cantera es extraída la

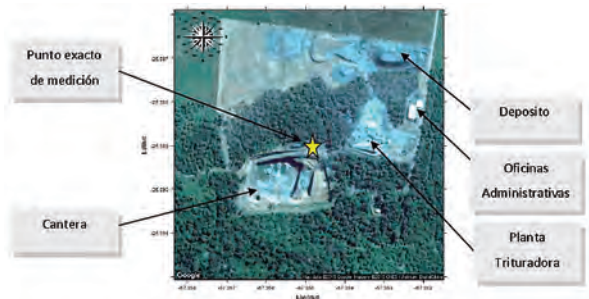


Figura 2. Ubicación del punto de medición.

materia prima y en la planta trituradora es procesada la misma para la obtención del producto.

Asimismo cabe destacar que la ubicación del punto exacto de la realización del muestreo se encuentra ubicado en el interior de una propiedad privada perteneciente a una de las empresas mineras de la región; además en el intervalo de tiempo del muestreo se encontraban operando 5 canteras de extracción y procesamiento de piedras, ubicándose dos de ellas en la dirección noreste y sureste respectivamente con respecto al punto de medición (figura

3), mientras que las otras dos canteras se encuentran alejadas una distancia considerable.

Los datos inicialmente fueron tabulados en planillas Excel, luego se organizaron secuencialmente por hora de medición para cada tamaño de MP

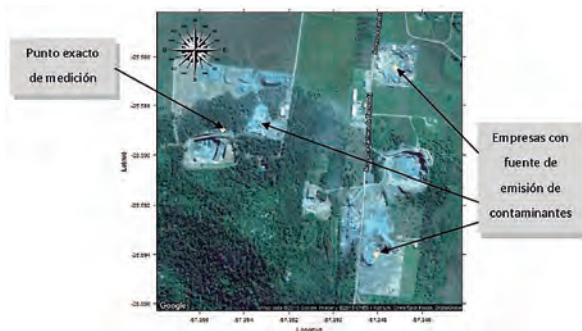


Figura 3. Ubicación de las fuentes de emisión de contaminantes.

medido, posteriormente se procedió a calcular los niveles de densidades de concentración de MP con el fin de estimar comparaciones con respecto a los límites permitidos por las normativas nacionales e internacionales; para lo cual se utilizó la ecuación (1) que permite determinar la densidad en $\frac{\mu g}{m^3}$ a partir de las variables que intervienen en la ecuación (Seinfeld y Pandis, 2006)

$$\rho_{MP} = \kappa \cdot \rho_p \cdot \eta \cdot D_{MP}^3 \quad (1)$$

Donde:

- $\kappa = \frac{\pi}{6.000.000}$ es una constante adimensional que permite obtener la densidad en las unidades de medida requerida,
- ρ_p es la densidad de las partículas emitidas, en el presente trabajo se consideró la densidad del polvo igual a $2,3 \frac{g}{cm^3}$,
- η es la concentración de partículas por unidad de volumen conocido mediante el medidor de partículas.
- D_{MP} es el diámetro aerodinámico del material particulado, en el trabajo se consideraron tres valores igual a $0,3\mu m$, $0,5\mu m$ y $5\mu m$.

El valor considerado de densidad de partículas emitidas a la atmósfera ρ_p es un valor uniforme puesto que se analiza un tipo específico de contaminante atmosférico.

Una vez determinadas las densidades de material particulado de $0,3\mu m$, $0,5\mu m$ y $5\mu m$ se procedió a comparar con los estándares establecidos por la OMS y por la resolución N° 259/15 de la ley 5211/14 establecida en el reglamento nacional, para ello se consideró al material particulado de diámetro aerodinámico igual a $0,3\mu m$ y $0,5\mu m$ en el rango menor a $2,5\mu m$ lo cual representa al material particulado fino y al material particulado de diámetro aerodinámico igual a $5\mu m$ en el rango mayor a $2,5\mu m$ y menor a $10\mu m$ representando el mismo al material particulado grueso; de esta forma fue posible comparar todos los datos recolectados mediante las mediciones con los estándares de calidad del aire conocidos.

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Mediante una amplia interpretación de los resultados obtenidos en los diferentes muestreos realizados de los valores de concentración fue posible la estimación de las densidades para los diferentes tipos de materiales particulado analizados; permitiendo de esta manera la inferencia de diferentes conclusiones a través de las mismas.

En la figura 4 y 5 se presentan los niveles de concentraciones promedio obtenidos para cada muestra tomada en los dos días de medición, los

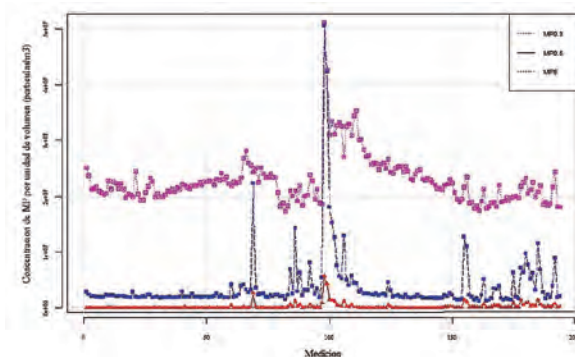


Figura 4. Densidad de diferentes tamaños de partículas medida durante dos días de muestreo.

cuales corresponden al 2 y 3 de febrero de 2015, es importante resaltar que los datos correspondientes al primer día de medición van desde la medición número 1 hasta la medición número 98, iniciando el segundo día en la medición número 99 hasta la 194; esta aclaración es realizada con el fin de facilitar la interpretación de los datos en las graficas correspondientes. Se representa en una misma grafica la concentración de los tres tipos de partículas medidos, con el propósito de visualizar con mayor facilidad los niveles de concentración del MP fino y grueso en el aire ambiente de la región de estudio.

Mediante la figura 4 es posible inferir que en todo momento durante el muestreo existe mayor concentración de partículas finas con diámetro aerodinámico igual $0.3\mu\text{m}$ y $0.5\mu\text{m}$, esto es debido a que las mismas se generan primordialmente por reacciones químicas y de condensación de materias más pequeñas, incluidas moléculas en estado de vapor.

Específicamente en la zona de estudio, las partículas finas son originadas primordialmente por compuestos orgánicos y los gases contaminantes arrojados a la atmosfera por las maquinarias, puesto que los vehículos que transportan las piedras extraídas para ser trituradas y procesadas utilizan combustibles fósiles, además de los detonantes que se manipulan para perforar la superficie terrestre.

Igualmente mediante un análisis estadístico se tiene que los valores mínimos son $1,74 \cdot 10^7 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ y $1,28 \cdot 10^6 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ para material particulado con diámetro aerodinámico igual a $0.3\mu\text{m}$ y $0.5\mu\text{m}$ respectivamente; de forma análoga se tienen los valores máximos los cuales son $5,12 \cdot 10^7 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ y $5,07 \cdot 10^7 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ para material particulado con diámetro aerodinámico igual a $0.3\mu\text{m}$ y $0.5\mu\text{m}$ respectivamente, por otro parte los valores promedio en ambos días de medición son $2,29 \cdot 10^7 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ y $3,75 \cdot 10^6 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ para material particulado con diámetro aerodinámico igual a $0.3\mu\text{m}$ y $0.5\mu\text{m}$ respectivamente.

Debido a que las partículas gruesas con diámetro

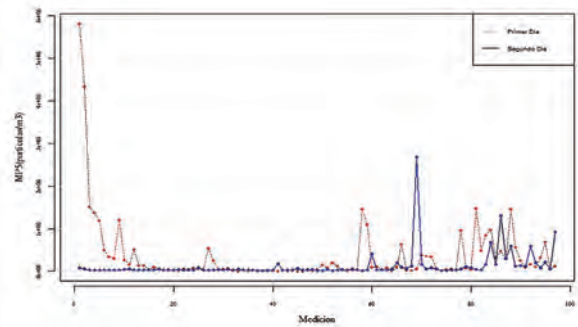


Figura 5. Niveles de concentración del material particulado grueso ($5\mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico) registrado durante los muestreos.

aerodinámico igual a $5\mu\text{m}$ poseen una escala menor a las partículas finas se recurre a la figura 5 para un mejor análisis.

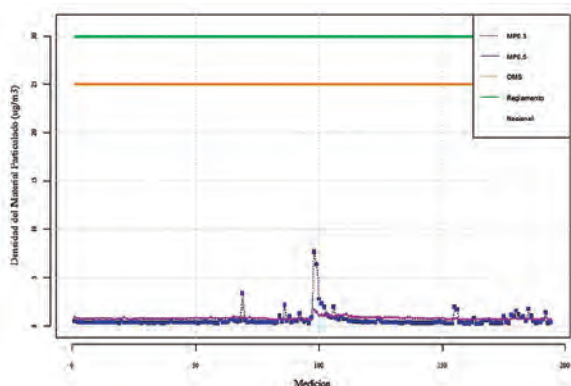
En la figura 5 se presentan los niveles de concentración de partículas gruesas medidos; las cuales se encuentran en menor proporción comparada con las partículas finas debido a que provienen principalmente de la suspensión de polvo, actividades de la minería y de la agricultura. Además se puede ver que el máximo de partículas por unidad de volumen es igual a $5,81 \cdot 10^6/\text{m}^3$ el cual corresponde a una de las primeras mediciones realizadas el día 3 de febrero, un mínimo igual a $6,36 \cdot 10^3 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$ y un valor promedio en ambos días igual a $2,44 \cdot 10^5 \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3}$; es importante destacar que todos los valores máximos de concentración de MP para los tres tamaños de diámetros aerodinámicos medidos pertenecen al mismo intervalo de tiempo, debido a que ese día se produjo mezcla asfáltica en la industria desde la 7:00am hasta la 9:30am aproximadamente debido a un pedido especial realizado por un ente privado a la industria minera.

Examinando la figura 4 se visualiza que en ambos días las concentraciones son relativamente más bajas por la mañana y aumentan por la tarde, lo cual se produce debido a que las empresas comúnmente por la mañana extraen la materia prima, mientras que por la tarde realizan el procesamiento de la misma; es importante aclarar que por la tarde aparte de procesar sigue la extracción pero en menor proporción, este ciclo está sujeto a la demanda

que existe en el mercado, en particular durante el muestreo se pudo apreciar los picos de variaciones que se puede existir aumentando la actividad minera e industrial.

Con el fin de determinar si los niveles de concentración de material particulado se encuentran entre los estándares de calidad de aire, fue necesario determinar los niveles de densidad de MP en microgramos por metro cúbico para luego compararlo con los límites establecidos por la OMS y el reglamento nacional, así tenemos la figura 6 y 7 en los cuales se analiza a las partículas finas y gruesas respectivamente.

En la figura 6 se puede observar como los valores de densidad de MP fino varía ampliamente para cada medición realizada los días 2 y 3 de febrero, pero a pesar de que existen picos de concentración máxima de dichas partículas por unidad de volumen, las mismas no superan los estándares de calidad del aire para material particulado fino, la



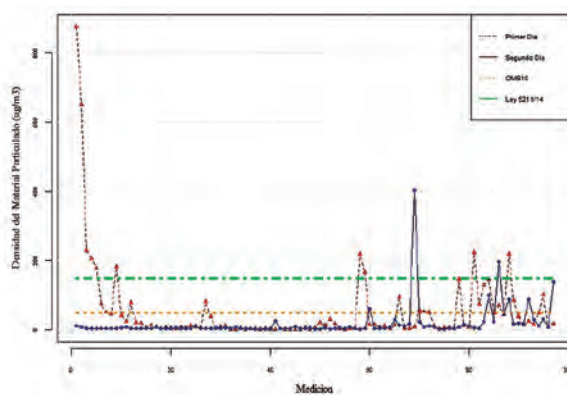
Figuras 6. Densidad del material particulado fino detectado durante los muestreos en relación a los límites estándar establecidos por la OMS y el reglamento nacional.

explicación es sencilla teniendo en cuenta que las mediciones que se realizan son de concentración de MP por unidad de volumen, por supuesto al tener menor diámetro aerodinámico se tendrá mayor concentración de partículas de $0.3\mu\text{m}$ o $0.5\mu\text{m}$ que de $5\mu\text{m}$ en una unidad de volumen. Entonces se tiene que la mayor concentración por volumen medida del material particulado fino no es directamente proporcional a obtener un nivel muy elevado de densidad del mismo.

Por tanto, el $\text{MP}_{2.5}$ no supera los estándares de la calidad del aire de la OMS, ni del reglamento nacional, puesto que los valores máximos alcanzados son iguales a $1.66 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ para el material particulado de $0.3\mu\text{m}$ el cual se encuentra aproximadamente un 93% debajo del límite establecido por la OMS y 94% debajo del límite establecido por el reglamento nacional, es decir constituye el 5,5 % del máximo Nacional y el 6,6 % del máximo de la OMS.

Por otra parte, él determina un máximo de $7,63 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ para el material particulado de $0.5\mu\text{m}$ que a su vez se sitúa aproximadamente en un 69% por debajo del valor fijado para material particulado fino por la OMS y 74% por debajo de los límites permitidos a nivel nacional, lo cuales constituyen el 25,4 % del máximo Nacional y el 30,5% del máximo de la OMS.

Examinando la figura 7 se puede exponer claramente que los niveles de densidades encontrados para MP_{10} superan considerablemente los límites establecidos por la OMS, tanto en el primer día como en el segundo día de medición; como ya se mencionó anteriormente la mayor actividad se registra por la tarde constituyendo dicha franja horaria el periodo donde se supera con frecuencia los límites establecidos, pero esto no implica que por la mañana no sea posible superar los límites de densidad, como se observa en la grafica la línea roja que representa al segundo día de medición inicia



Figuras 7. Densidad del material particulado fino detectado durante los muestreos en relación a los límites estándar establecidos por la OMS y el reglamento nacional.

con valores picos, ya que dicho día se inició con gran actividad minera.

Además un punto trascendental es que el primer día de medición es decir el 2 de febrero fue luego de un día lluvioso, específicamente el primero de febrero de 2015 se registraron precipitaciones importantes en toda la región central del país, en consecuencia el aire se encontraba con menor concentración de partículas inicialmente, razón por la cual se tienen niveles muy por debajo de los límites establecidos, una vez comenzadas las actividades mineras-industriales y como los días 2 y 3 de febrero no se registraron precipitaciones específicamente en la región de estudio los niveles de concentración fueron aumentando considerablemente.

Por otra parte es importante resaltar que el valor máximo de densidad registrado entre los dos días de medición es igual a $874,60 \frac{\mu g}{m^3}$ el cual supera desmedidamente los límites establecidos tanto a nivel nacional como internacional, dicho valor prácticamente sextuplica el valor permitido en el reglamento nacional, constituyendo el 483 % del máximo Nacional y el 1650 % del máximo de la OMS.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Investigación de la atmósfera y Problemas Ambientales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción por la utilización del equipo medidor de material particulado.

LITERATURA CITADA

- De la Rosa, J. D. (2008). Contaminación Atmosférica de Material Particulado Provocado por la extracción Minera. Revista de la Sociedad española de Mineralogía, X, 85-88.
- Kanomax (2012). Monitor de partículas portátil. Especificaciones del monitor de partículas 3887. Consultado por última vez el 23 de agosto de 2015 de http://www.kanomax-usa.com/product_catalog/spanish/3887_ES.pdf.
- Seoáñez Calvo. (1998). Medio Ambiente y desarrollo: Manual de gestión de los recursos en función del medio ambiente. Mundo Prensa. p.592.
- Wark K. y Warner C, (2005). Contaminación al aire Origen y Control. Mexico: Limusa.