

# COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE PM10 EN LA CIUDAD DE LOJA - ECUADOR Y SU RELACIÓN CON VARIABLES METEOROLÓGICAS

## BEHAVIOR OF THE CONCENTRATIONS OF PM10 IN THE CITY OF LOJA - ECUADOR AND ITS RELATIONSHIP WITH METEOROLOGICAL VARIABLES

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3599237>

**AUTORES:** Anabel Regalado<sup>1\*</sup>

Edwin Paccha<sup>2</sup>

Orlando Álvarez<sup>3</sup>

Thuesman Montaña<sup>4</sup>

**DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:** [anycute@hotmail.com](mailto:anycute@hotmail.com)

**Fecha de recepción:** 21 / 09 / 2019

**Fecha de aceptación:** 20 / 11 / 2019

### RESUMEN

En este trabajo se determinaron las concentraciones de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en la zona urbana de la ciudad de Loja, Ecuador. El instrumento utilizado fue un muestreador de alto volumen (THERMO de medición de material particulado PM10), ubicado en una estación de monitoreo en el centro de la ciudad. Los resultados mostraron que el promedio de la concentración de PM10 varió desde 5,554 a 14,882  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor promedio de 12,808  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se realizó el análisis del comportamiento temporal de las concentraciones de PM10 y así mismo con respecto a las principales variables meteorológicas, estableciéndose que existe una relación muy fuerte con el valor de la humedad relativa (HR), así como con la precipitación (RR), la temperatura seca (TT) y la temperatura de punto de rocío (TdTd).

**Palabras clave:** PM10, variables meteorológicas, Muestreador THERMO de medición de

<sup>1\*</sup>Consultora Privada, Ingeniera en Manejo y Control, del Medio Ambiente, [anycute@hotmail.com](mailto:anycute@hotmail.com)

<sup>2</sup>Estudiante Doctorado en Fluidodinámica, Universidad de Chile, [edwinph85@hotmail.com](mailto:edwinph85@hotmail.com)

<sup>3</sup>Doctor en Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Loja, [orlando21alvarez@gmail.com](mailto:orlando21alvarez@gmail.com)

<sup>4</sup>Máster en Ingeniería Electromecánica, Universidad Nacional de Loja, [thuesmon@yahoo.es](mailto:thuesmon@yahoo.es)

material particulado PM10, comportamiento temporal

## ABSTRACT

Concentrations of particulate matter smaller than 10 micrometers (PM10) in the urban area of the city of Loja, Ecuador were determined. The instrument used was a high volume one (The Thermo Scientific High-Volume Air Sampler) for the particles PM10, located in a monitoring station in downtown. The results showed that the average of the concentration of PM10 varied from 5,554 to 14,882  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  with an average of 12,808  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . It was carried out the analysis of the temporary behavior of the concentrations of PM10 and likewise with the main meteorological variables, settling down that a very strong relationship exists with the value of the relative humidity (HR), as well as with the precipitation (RR), dry temperature (TT), and dew point temperature (TdTd).

**Keywords:** PM10, meteorological variables, THERMO Scientific High Volume Air Sampler, temporal behavior.

## INTRODUCCIÓN

a contaminación del aire es uno de los mayores problemas que afecta a los países en casi cualquier parte del mundo. El incremento en las cantidades de gases y partículas potencialmente dañinas para la salud y el medio ambiente se ha constatado a escala mundial, y cada día es más obvio que la respuesta a estos problemas se concentra en la búsqueda de soluciones inteligentes (Delgado *et al*, 2004).

Los logros obtenidos en la gestión de la calidad del aire subyacen a la mejora del bienestar económico y social en muchos países en desarrollo. Se ha comprobado que la gestión adecuada de la calidad del aire permite mejorar la salud pública, ya que la contaminación del aire está relacionada con el aumento de pacientes ambulatorios debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares y con el incremento de admisiones hospitalarias y de la mortalidad diaria (OMS, 2004).

El material particulado es un contaminante complejo de diferentes tamaños, formas y orígenes que se encuentran en la atmósfera (Johansson *et al.*, 2007).

Las partículas con tamaño aerodinámico no mayor a 10 micras se denominan PM10, las cuales por su pequeño tamaño pueden ser inhaladas fácilmente y penetrar en el cuerpo humano, afectando la salud de la población expuesta a concentraciones elevadas (Mok and Hoi, 2005). Estudios epidemiológicos muestran una fuerte correlación entre las

concentraciones de material particulado y los problemas respiratorios, indicando que el incremento de las concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> puede causar el incremento de ingresos hospitalarios y de mortalidad diaria (Schwartz *et al.*, 1996; Unal *et al.*, 2011).

La ciudad de Loja tiene una población de 214.855 habitantes y una tasa de crecimiento de 23%, según lo establece el último censo realizado por el INEC (2010), lo que ha incidido en una clara expansión de viviendas y con ello la demanda de servicios que afectan el medio ambiente y que deben plantear desafíos a las autoridades sobre la problemática ambiental debido a la sobre explotación de fuentes fijas estacionarias como calefones, cuyo combustible o portador energético es el gas licuado de petróleo (GLP), que emana producto de la combustión gases como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, los cuales, además, inciden negativamente por constituirse como gases de efecto invernadero GEI.

La ciudad de Loja se encuentra ubicada al sur de la República del Ecuador, en el valle de Cuxibamba. Loja tiene una extensión de 5186,58 ha (52 km<sup>2</sup>) (PNUMA *et al.* 2007). Los límites de la ciudad de Loja son al Norte con la Loma de Zalapa, al Sur con Cajanuma, al Este con Cordillera oriental de los Andes, al Oeste con la Cordillera occidental de los Andes. La ciudad de Loja se encuentra ubicada entre las altitudes de 1950 y 2370 m (Gráfico 1) y está ubicada en las coordenadas siguientes:

Latitud: 03° 39' 55" y 04° 30' 38" de latitud Sur (UTM 17 S: 9501249 N - 9594638 N);

Longitud: 79° 05' 58" y 79° 05' 58" de longitud Oeste (UTM 17 S: 661421 E -711075 E). (GADL. 2010).

Se caracteriza por gozar de un clima templado andino, a excepción de junio y julio, meses en los que se presenta una llovizna de tipo oriental (vientos alisos) con temperatura que fluctúa entre los 16 y 25°C. La época de mayor estiaje se presentan en octubre, noviembre y diciembre con una precipitación media anual que oscila entre 400 y 1100 mm (GEO, Loja. 2006).

En La ciudad de Loja existen diversos problemas ambientales, entre los principales Gráfico la contaminación atmosférica generada por la emanación de gases a la atmosfera (PNUMA *et al.* 2008; Ministerio del Ambiente, 2003), resultando un factor coadyuvante de dicha contaminación, el crecimiento del parque automotor (CEPAL 2008). Por lo general las emisiones de una sola unidad de cualquier vehículo, son muy bajas comparadas con las emisiones de una chimenea industrial. Sin embargo, debido a la cantidad de vehículos

automotores en circulación, representa la fuente principal de contaminación (Agencia Nacional de Tránsito, 2014).

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron los datos correspondientes a valores de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidas mediante un equipo muestreador THERMO de medición de material particulado PM10 perteneciente al Ministerio del Ambiente de Ecuador, ubicado en la sede del antiguo Banco Central del Ecuador en José A. Eguiguren entre Antonio José de Sucre y Simón Bolívar, con coordenadas UTM 17 S 699555 E y 9558054 N. En la Gráfico 1 se muestra un mapa de la ciudad de Loja y en la Gráfico 2 la ubicación de las principales fuentes fijas puntuales. Las ubicaciones de la estación de muestreo y de la Estación Meteorológica “La Argelia” se encuentran en la Gráfico 3.

Los datos de las variables meteorológicas: precipitación (RR), humedad relativa del aire (HR), temperatura media del aire seco (TT), temperatura del punto de rocío (TdTd) y la velocidad del viento (VV) fueron obtenidos en la estación meteorológica automática “La Argelia” ubicada en el área de la UNL en Loja, desde enero de 2013 hasta julio de 2014, los cuales fueron procesados automáticamente en las propias estaciones automáticas de forma que los datos tomados a cada minuto son promediados, y se calculan los valores máximos y mínimos correspondientes y cuyos resultados responden a las horas que van desde las 01:00 hora local hasta las 24:00 (00:00) hora local y enviados para su validación al Centro de Datos del INAMHI Quito, que nos proporcionó la información.

El procesamiento de los datos de PM10 con respecto a las variables meteorológicas se realizó utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion® SN C1U4-E1M9-P566-K135-8851.

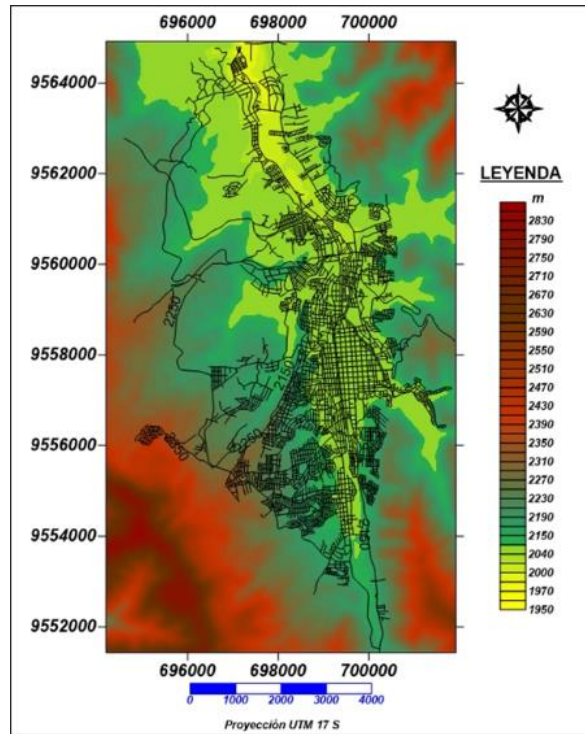


Gráfico 1. Mapa del área urbana de la ciudad de Loja

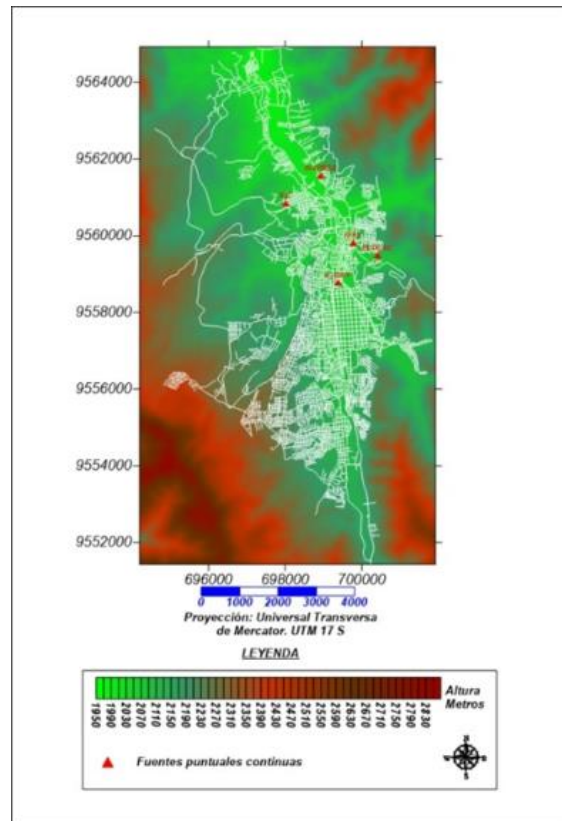


Gráfico 2. Ubicación de las fuentes puntuales

Así mismo se utilizó el software Excel de Microsoft Office para confeccionar diferentes gráficos correspondientes a las series temporales de PM10 y de diferentes variables meteorológicas, así como el CAD Surfer 7® SN WS-199999-JTKp para realizar los mapas de la ciudad de Loja y los gráficos tridimensionales. Los datos de altitud se interpolaron a partir de los datos del Shuttle Radar Topographic Model (SRTM).

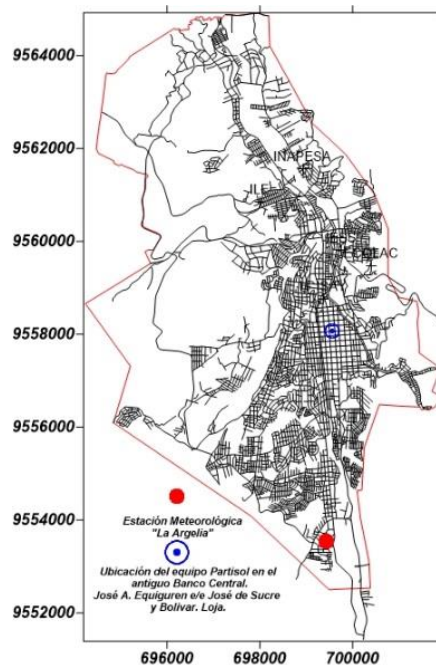


Gráfico 3. Ubicación del equipo Partisol 2000 y la Estación Meteorológica “La Argelia”.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla 1 se muestran los valores originales obtenidos en el muestreo de PM10 utilizando el equipo Partisol 2000. Se puede observar en negritas los valores mínimo y máximo provenientes de los cálculos a partir del pesaje de los filtros.

TABLA 1. MEDICIONES DE PM10 EN LA CIUDAD DE LOJA [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

01/07/2014	1/13/2014	1/19/2014	1/25/2014
11,511	14,504	10,423	17,981
1/31/2014	02/06/2014	02/12/2014	2/18/2014
<b>0,482</b>	11,355	16,479	19,746
2/24/2014	03/02/2014	03/08/2014	3/14/2014
17,845	17,610	8,988	14,882
3/20/2014	3/26/2014	5/13/2014	5/18/2014
<b>122,378</b>	11,331	14,372	2,148
5/25/2014	5/31/2014	06/07/2014	6/13/2014
11,717	7,513	5,544	8,005
6/18/2014	6/25/2014	07/01/2014	07/07/2014
11,509	26,860	24,197	3,955
7/14/2014	7/21/2014	7/25/2014	7/31/2014
10,824	15,171	7,305	14,195

Se puede observar en la tabla I que existen valores muy altos ( $122,378 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el mismo supera los valores permisibles según la norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente y otros muy bajos ( $0,482 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), los cuales fueron descartados al realizar el análisis estadístico de los datos. No obstante, se consideró necesario considerar los mismos para los diferentes análisis de correlación múltiples que se realizaron.

El software Statgraphics Centurion® permite obtener tablas de residuales inusuales de Student en las cuales se muestran todas las observaciones que tienen un residual de Student mayor que 2 en valor absoluto. Los residuales de Student miden en cuánto las desviaciones estándar de cada valor observado de la variable dependiente se desvían del modelo estimado utilizando todos los datos excepto la observación considerada. Estos valores de los residuales superiores a 2 deben ser eliminados, lo cual se logra tomando el valor estimado y sustituyendo al valor original. Esto se debe hacer mientras aparezcan residuales de Student producto del análisis de regresión, bien sea lineal o múltiple.

La mejor correlación múltiple correspondió a la obtenida utilizando como variables independientes a la humedad relativa (HR), la precipitación (RR), la temperatura de punto de rocío (TdTd) y la temperatura media del aire (TT), con un coeficiente de determinación (R2) del 99,1394%. La ecuación resultante es la ecuación (1):

$$\text{ConcPartInic} = 67,697 - 0,885604 \times \text{HR} - 0,381341 \times \text{RR} + 5,14035 \times \text{TdTd} - 2,81904 \times \text{TT} \quad (1)$$

En la Gráfico 4 se presenta el análisis correspondiente a la HR, TT y PM10 modificado de acuerdo a los valores de los residuales de Student. Se puede observar que el rango de los valores de HR en los cuales el valor de PM10 es máximo, se encuentra entre 70 y 80%.

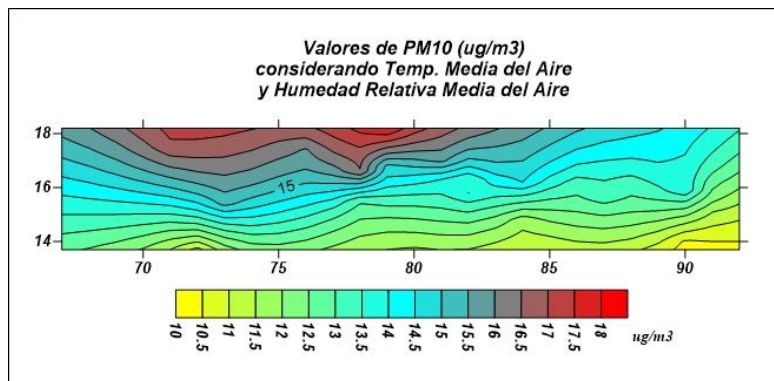


Grafico 4. Análisis correspondiente a la HR, TT y PM10 modificado

Algo similar ocurre al analizar los valores de PM10 con la HR y TdTd, los valores máximos vuelven a encontrarse en el rango de 70 – 80% de HR (ver Gráfico 5).

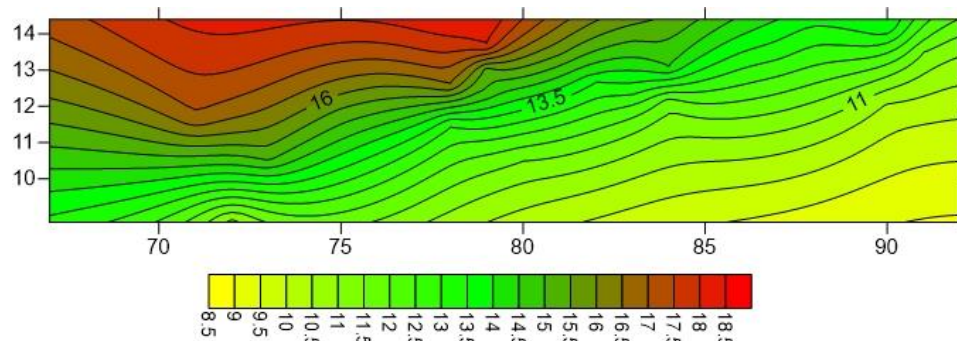


Gráfico 5. Relación de los valores de PM10 con la HR y la TdTd.

Se trabajó para obtener la mejor correlación lineal múltiple utilizando solamente dos variables independientes, la cual resultó ser entre los valores de PM10 como variable dependiente y HR y RR como variables independientes.

En nuestro caso, el valor máximo se considera no representativo por lo cual debe ser modificado o eliminado. Al realizar el primer análisis de regresión se obtuvieron los resultados en los residuales de Student que se muestran en la tabla 2. Este proceso se continuó hasta que se logró un residual de Student inferior a ( $\pm 2,0$ ), resultando un valor de 14,63.

TABLA 2. RESIDUALES DE STUDENT

Fila	Y	Estimado Y	Residual	Residual Estudentizado
13	122,378	21,8672	100,511	<b>17,54</b>

El análisis de Regresión Múltiple entre la Concentración de Partículas como variable dependiente, y las variables independientes humedad relativa media (HR) y precipitación (RR) muestra que los resultados de la estimación de un modelo de regresión lineal múltiple para describir las relaciones entre la variable Concentración de Partículas y las variables independientes, humedad relativa media y precipitación se muestra en la tabla 3.

TABLA 3. RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Parámetro	Estimado	Error estándar	Estadístico t	P-valor
Constante	10,2883	1,31165	7,8438	0,0000
HR	0,047519	0,0163664	2,90345	<b>0,0076</b>
RR	-0,35850	0,0162223	-22,0998	0,0000

El modelo estimado para la concentración de partículas lo muestra la ecuación (2):



$$\text{Concentración de Partículas} = 10,2883 + 0,047519 \times HR - 0,358508 \times RR \quad (2)$$

TABLA 4. ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	135,415	2	67,7073	272,39	<b>0,0000</b>
Residual	6,21429	25	0,248572		
Total (Corr.)	141,629	27			

En la tabla 4 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente, y además se tiene:

$$R^2 = 95,6123 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado para g.l.)} = 95,2613 \%$$

$$\text{Error Estándar de Estimación} = 0,498569$$

$$\text{Error Medio absoluto} = 0,392978$$

$$\text{Estadígrafo de Durbin-Watson} = 1,35488 \text{ (P=0,0292)}$$

$$\text{Auto correlación residual Lag 1} = 0,278709$$

Como el P-valor en la tabla ANOVA es menor que 0,05 indica que existe relación estadística significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R2 indica que el modelo estimado explica el 95,6123% de la variabilidad en la variable Concentración de Partículas. El estadístico R2 ajustado, que es más confiable para comparar modelos con diferentes cantidades de variables independientes es 95,2613%.

El diagrama muestra los valores de 28 periodos. El rango de valores va desde el máximo de 14,882 al mínimo de 5,55391, con un promedio de 12,8078 (Ver Gráfico 7).

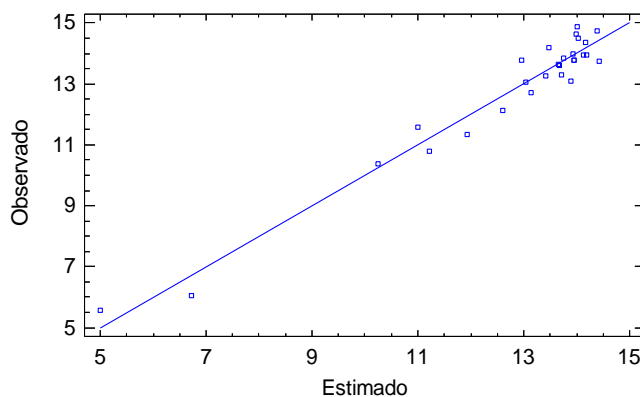


Gráfico 6. Relación entre el valor estimado y el observado modificado mediante los residuales de Student.

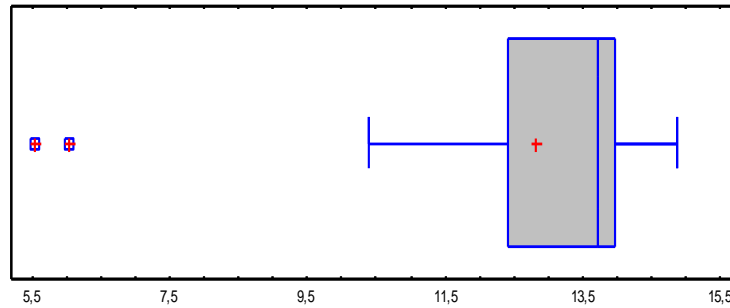


Gráfico 7: Diagrama de caja y bigote

TABLA 5. ESTADÍSTGRAFOS DE VALORES DE PM10 MODIFICADOS

Parámetros	Valor
Total	28
Promedio	12,8078
Desviación Standard	2,29031
Coef. of variación	17,8822%
Mínimo	5,55391
Máximo	14,882
Rango	9,32809

En la Gráfico 8 se puede observar que los valores máximos de concentración de PM10 se concentran en la zona comprendida por valores de HR entre 70 y 80 y de precipitación (RR) inferiores a 5 mm en 24 horas

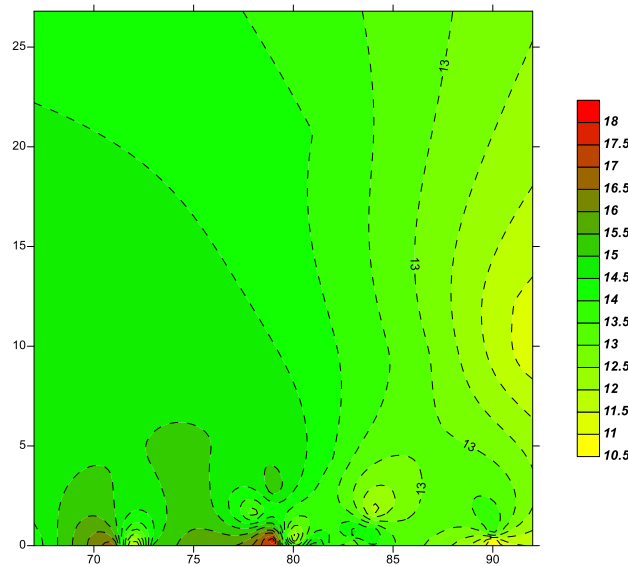


Gráfico 8. Relación entre los valores de concentración de PM10 con la humedad relativa y la lluvia.

**CONCLUSIONES**

De acuerdo a los valores originales obtenidos del pesaje de los filtros, y considerando el valor máximo de  $122,378 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como un error de medición, se puede afirmar que actualmente los valores de PM10 no sobrepasan lo establecido en las normas ecuatorianas de calidad del aire

Existe una buena correlación entre las variables meteorológicas tomadas en su conjunto y los valores de PM10 modificados.

La mejor ecuación resultó la relacionada con las variables Humedad Relativa (HR), Precipitación (RR), Temperatura del Punto de Rocío (TdTd) y Temperatura Seca del Aire (TT) y está dada por la ecuación (1).

Se obtuvo igualmente una magnífica correlación utilizando solamente Humedad Relativa (HR) y Precipitación (RR), lo cual permite incrementar la serie en aquellos casos en que no existen mediciones, la cual se expresa mediante la ecuación (2).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2014. *Estadística de matriculación 2013*. (Consultado 15 julio, 2014).

CEPAL. (2008). *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.

Delgado, M., D. Sánchez y S. Zapata. (2004). *Sistema de Soporte de Decisiones: Aplicación a la Gestión de la Contaminación en la ciudad de Santiago de Chile*. XII Congreso Español Sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy. Universidad de Granada Universidad de Granada. U. Tecnológica Metropolitana. Jaén, España.

GEO Loja 2006. (2006). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. ISBN 978-9942-01-460-3. Loja, Ecuador.

INEC. (2010). *Censo de población y vivienda 2010. Población a nivel Parroquias*. Quito, Ecuador.

Johansson, C., Norman, M. and Gidhagen, L. (2007): "Spatial and temporal variations of PM10 and particle number concentrations in urban air". *Environmental Monitoring and assessment*, 127, 477-487.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2003). "Diagnostico preliminar de la gestión de la Calidad del Aire en Ecuador". Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/fulltext/ecuador/ecuador.pdf>.

- Mok, K. M. and Hoi, K. I., 2005: "Effects of meteorological conditions on PM10 concentrations-A study in Macau". *Environmental Monitoring and assessment*, 102, 201-223.
- PNUMA, 2007: *INFORME ANUAL DEL PNUMA 2007*. ISBN: 978-92-807-2909-2. DCP/1038/NA.
- PNUMA, 2008: *Anuario 2008 del PNUMA*. ISBN: 978-92-807-2880-4. UNEP/GCSS/X/INF/2.DEW/1009/NA.
- PNUMA, I. Municipio de Loja, *Naturaleza y Cultura Internacional*, 2008: "Perspectivas del Medio Ambiente Urbano; Geo Loja". Recuperado de: <http://www.naturalezaycultura.org/docs/Geo%20Loja.pdf> (Consultado Abril 4, 2014).
- OMS. *Calidad del Aire y Salud*. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es>
- Schwartz, J., Dockery, D. W. and Neas, L. M., 1996: "Is daily mortality associated specifically with fine particles?". *Journal of the Air and Waste Management Association*, 46, 927-939.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A. and Incecik, S., 2011: "Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area". *Atmospheric Environment*.