

# EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CO, SO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub> PRODUCTO DEL DESARROLLO DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES DEL CANTÓN RUMIÑAHUI PROVINCIA DE PICHINCHA

Merino Raquel

*Universidad de las Fuerzas Armada – ESPE – Departamento de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio del Medio Ambiente, Sangolquí – Ecuador, Octubre-2014.*

## RESUMEN

El presente trabajo describe la simulación de la dispersión de contaminantes producto de la actividad industrial de tres empresas, al aire ambiente del cantón Rumiñahui; utilizando el paquete AERMOD y, el software Screen View; así como para la elaboración de la rosa de los vientos, el software WRPLOT View. Los datos obtenidos se compararon con las normas límites de calidad de aire del Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA). Las rosas de los vientos de los años 2006-2008, 2010-2011 tuvieron un rango de velocidad promedio de viento entre los 0.5 a 2.17 m/s; mientras que la velocidad máxima se mantuvo entre los 5.7-8.8 m/s, a excepción del año 2008 que fue de 8.8-11.1 m/s. Las direcciones del viento predominantes fueron hacia el sur-suroeste y noroeste-norte (SSE y NWN), a excepción del año 2008 que se dirigió al SE. La estimación de la dispersión de las emisiones de fuentes fijas CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de las empresas N°1, N°2 y N°3, de los años 2006, 2010-2013, con el software Screen View y del año 2006 con AERMOD, mostraron que la concentración de CO de la empresa N°1 del año 2013 y la de los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> de las tres empresas en todos los años de estudio, sobrepasaron el límite permisible del TULSMA para calidad de aire. Realizar monitoreos periódicos al año de las emisiones de fuentes fijas de las empresas del cantón Rumiñahui, e implementar un programa de monitoreo de la calidad del aire de la zona, será de utilidad para informar a la población y a las industrias sobre el impacto que producen los contaminantes en el aire ambiente.

**Palabras Claves:** evaluación, dispersión, contaminantes, atmosféricos, industriales

## INTRODUCCIÓN

El control periódico sobre la calidad de aire, se ha convertido en una prioridad durante los últimos años, debido al constante aumento de la contaminación ambiental producto principalmente del patio automotriz y el sector industrial. Conjuntamente, la salud de los seres humanos está en riesgo por las altas concentraciones de gases atmosféricos, provocando millones de muertes y miles de enfermedades respiratorias al año (OMS, 2005).

La gestión de la calidad de aire es un tema de prioridad en el Ecuador, debido a que se encuentra normado bajo focos legales, orgánicos y ordinarios, como se ve ejemplarizado en la constitución, el plan nacional del buen vivir y el TULSMA; en los que se habla sobre el derecho de la población a vivir en un ambiente saludable, y se considera como una prioridad del Estado ecuatoriano, tomar las medidas necesarias para lograr el equilibrio ambiental y la salud de la población.

El mayor porcentaje de industrias de la región costa se concentran en la provincia del Guayas, mientras que para la región sierra se encuentran en la provincia de Pichincha, concentrándose en el cantón Quito. A pesar de los datos sobre la producción y de las áreas industriales que más se han desarrollado en el Ecuador; aún no se cuenta con datos oficiales sobre los niveles de contaminación producidos, (FLACSO *et al.*, 2008).

Antes del año 2007, el Gobierno Municipal del cantón Rumiñahui, no realizaba un control de las emisiones de gases de fuentes fijas industriales, que eran monitoreados por laboratorios privados hasta ese momento. A partir del año 2010 el municipio pasó hacerse cargo de los monitoreos hasta el término de su acreditación en el año 2013, con un periodo de inspección de dos veces al año. Aunque existen algunos estudios de impacto ambiental y de áreas vulnerables para el desarrollo de actividades industriales, no existe hasta el momento un estudio o control periódico de parámetros meteorológicos, topográficos, o niveles de concentración y transporte de contaminantes en la atmósfera de la zona, la cual es información determinante para conocer la calidad del aire ambiente del cantón, que está normado por el TULSMA, y la cual rige en el ámbito ambiental al cantón, y se encuentra descrito en la tabla 1, la normativa para calidad de aire del libro VI, anexo 4.

**Tabla 1:** Límites máximos permisibles de calidad del aire ambiente. Fuente: (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2003)

Contaminante emitido	Límite máximo permisible (ug/m <sup>3</sup> )	Periodo regulado	Consideraciones
<b>Material Particulado (PM<sub>10</sub>)</b>	50	Anual	-
	150	24 horas	No debe sobrepasar más de dos veces en el año
<b>Material particulado (PM<sub>2,5</sub>)</b>	15	Anual	-
	75	24 horas	No debe sobrepasar más de dos veces en el año
<b>Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</b>	100	Anual	-
	150	24 horas	No debe sobrepasar más de dos veces en el año
<b>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	80	Anual	-
	350	24 horas	No debe sobrepasar más de una vez en el año
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	10 000	8 horas	No debe sobrepasar más de una vez en el año
	40 000	1 hora	No debe sobrepasar más de una vez en el año

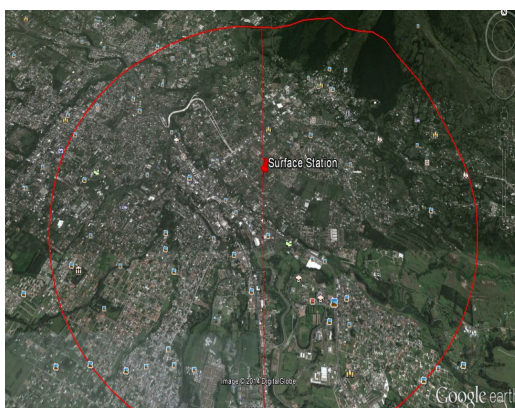
Dentro de este contexto el presente proyecto plantea por primera vez, evaluar la dispersión de los gases contaminantes monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, dispersos en el aire ambiente producto de la actividad industrial de tres empresas presentes en el cantón Rumiñahui, para los años 2006, 2010-2013; que se representan mediante mapas de curvas de iso-concentración por contaminante, así como gráficas de dispersión. Se elaboró las rosas de los vientos con información meteorológica recogida de los años 2006-2008, 2010-

2011, para el análisis de la dispersión de los contaminantes en el aire ambiente. Este estudio servirá de plataforma para estudios futuros sobre la calidad del aire ambiente no solo del cantón, sino en otras zonas del país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolección de datos meteorológicos históricos

Los datos meteorológicos históricos con los que se trabajó en esta investigación, fueron entregados por la red de monitoreo atmosférico de la Secretaría de Ambiente, pertenecientes a la estación meteorológica del Valle de los Chillos localizada en la figura 1, durante los periodos 2006-2008 y 2010-2011, los cuales constan principalmente de datos como dirección y velocidad del viento, nubosidad y temperatura ambiente.



**Figura 1:** Localización de la estación meteorológica del Valle de los Chillos Fuente: (Google Earth, 2013)

### Recolección de datos de emisiones industriales históricas de fuentes fijas del cantón Rumiñahui

Se recolectó datos de emisiones de fuentes fijas de tres empresas de la zona de Cotogchoa, correspondientes al año

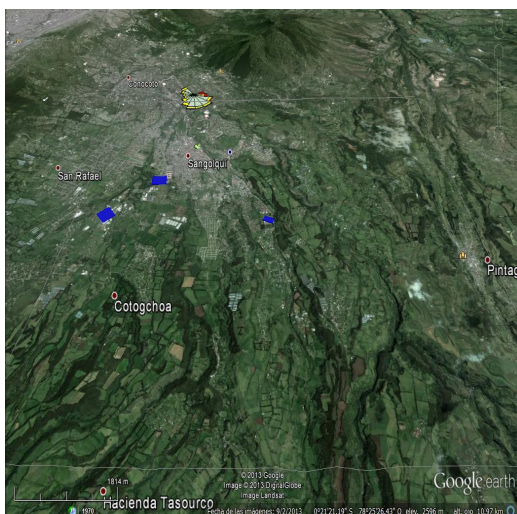
2006, debido a que esta información era la más completa tanto en las mediciones de emisiones, como a los datos meteorológicos. Las caracterizaciones fueron realizadas por laboratorios privados, cuyas identidades al igual que los nombres de las empresas, se omitirán por motivos de confidencialidad. Las empresas fueron identificadas como N°1, N°2 y N°3, mientras que los laboratorios se identificaron con las letras A, B y C.

La DPAGADMR permitió la apertura y revisión de los archivos de la zona industrial de Cotogchoa. Debido a que la entidad se acreditó en el año 2010 para el control y monitoreo de las emisiones de las empresas del cantón, se entregó únicamente información correspondiente a los años 2010 al 2013. Estos fueron clasificados de acuerdo al año de entrega, por lo que se procedió a la búsqueda y recolección de los datos de monitoreo de emisiones de las empresas N°1, N°2 y N°3. En el caso de la empresa N°3, la Dirección solo proporcionó datos entre los años 2011-2013.

### Determinación de información geográfica de la zona de estudio

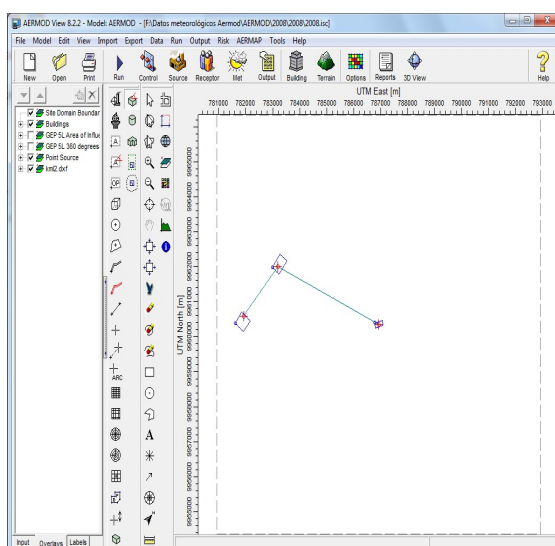
Con el programa de Google Earth, se determinó las coordenadas geográficas y altitud aproximada del terreno de localización de cada una de las tres industrias (ver figura 2). Para la evaluación se descartó construcciones a los alrededores de las empresas (sin building downwash) y se clasificó al área de estudio como zona rural, debido a que ocupa menos del 50% dentro de un radio de tres kilómetros desde las fuentes. Se descargaron imágenes satelitales con Google Earth de las zonas con la extensión

.jpg y que fueron convertidas a la extensión .kml.



**Figura 2:** Ubicación de las empresas de estudio. Fuente: (Google Earth) 2013)

Estas imágenes se cargaron al software AERMOD y se procesaron con AERMAP, el cual se alimentó con representaciones en 3D de las empresas a cada uno de los archivos de resultados generados, como se observa en la figura 3.



**Figura 3:** Procesamiento de la ubicación de las empresas mediante el software AERMAP

## Procesamiento de datos meteorológicos con Screen View y AERMET

Los archivos meteorológicos históricos (hourly surface data) que se preprocesaron en Excel por cada año, fueron cargados conjuntamente con los datos geográficos de ubicación de cada empresa a los software WRPLOT View y AERMET; los cuales fueron procesados a archivos meteorológicos con la extensión .sam. Adicionalmente a esta información AERMET necesita de datos de upper air, los cuales fueron descargados de la página web de la NOAA, el cual registra datos meteorológicos de la mayoría de las estaciones meteorológicas del mundo. Como resultado los software generaron las rosas de los vientos de los respectivos años, los cuales fueron exportados a Google Earth.

## Procesamiento de los datos de emisiones contaminantes de fuentes fijas industriales

Con AERMOD se procesó los archivos meteorológicos resultantes del software AERMET, así como los datos de monitoreo de las emisiones de fuentes fijas, correspondientes al año 2006, debido a que en su conjunto fueron los datos más completos, con los que el programa pudo procesar. Los resultados gráficos de la simulación de la dispersión de los contaminantes CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de las tres empresas, se presentaron en forma de curvas de iso-concentración en gráficas 3D de Google Earth. El resto de datos de emisiones de los años 2006, 2010-2013, fueron procesados con el software Screen View, el cual realiza predicciones estadísticas de la dispersión de cada

contaminante a partir de los parámetros de las fuentes fijas por contaminante, que se diferencia de AERMOD, al procesar la información con su propia data meteorológica; es decir con todas las clases de estabilidad y velocidades de viento. Screen View reporta los resultados en gráficas de dispersión de distancia vs. concentración del contaminante. La distancia máxima de medición de la dispersión fue de tres kilómetros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estimación de la dirección de dispersión de los contaminantes atmosféricos: rosa de los vientos con los datos meteorológicos

La meteorología es parte esencial en el control de los contaminantes atmosféricos, siendo los principales parámetros que se consideran la velocidad y dirección del viento. Las rosas de los vientos son las ejemplificaciones gráficas precisas en el análisis de la dispersión de los contaminantes (De Nevers, 1998).

El informe emitido sobre la rosa de los vientos de los años 2006-2008 y 2010-2011 (ver figuras 4, 5, 6, 7 y 8) muestra los resultados de parámetros de velocidad máxima del viento alcanzada, la velocidad que predominó durante el año y la dirección de viento que prevaleció durante más tiempo (medido en porcentajes representados en los anillos concéntricos de la rosa). En la tabla 2 se enlista el valor de cada parámetro para cada año de estudio. En el anexo C se describen los gráficos de distribución de frecuencia resultantes de las clases de estabilidad de viento, del procesamiento de las datos meteorológicos con WRPLOT View

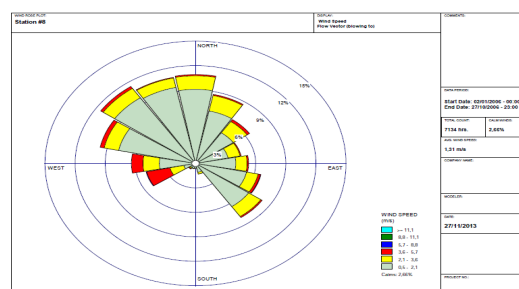


Figura 4: Informe de rosa de los vientos del año 2006

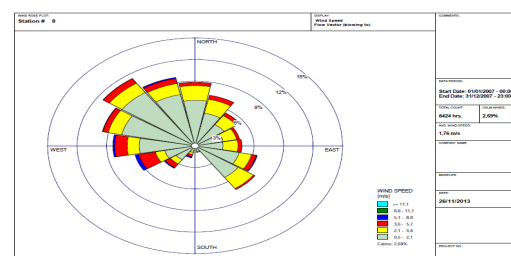


Figura 5: Informe de rosa de los vientos del año 2007

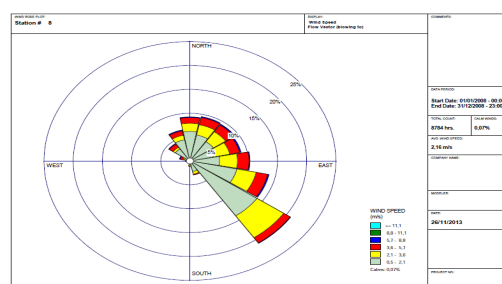


Figura 6: Informe de rosa de los vientos del año 2008

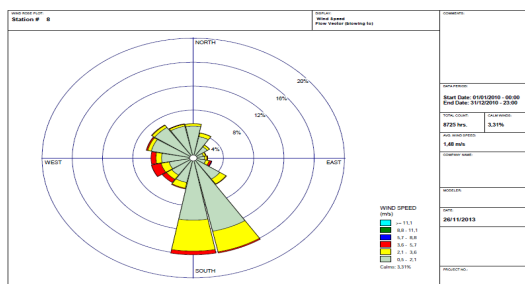


Figura 7: Informe de rosa de los vientos del año 2010

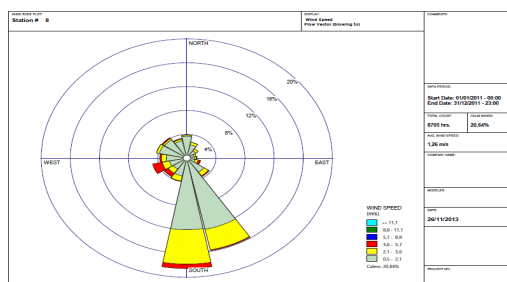


Figura 8: Informe de rosa de los vientos del año 2011

Tabla 2: Resultados de los parámetros medidos en las rosas de los vientos de los años 2006-2008, 2010-2011

AÑO	Rango de velocidad máxima de viento (m/s)	Rango de velocidad de viento predominante (m/s)	Velocidad promedio (m/s)	Dirección dominante
2006	5.7-8.8	0.5-2.1	1,31	Noroeste-Norte (NWN)
2007	5.7-8.8	0.5-2.1	1,76	Noroeste-Norte (NWN)
2008	8.8.-11.1	0.5-2.1	2,16	Sureste (SE)
2010	5.7-8.8	0.5-2.1	1,48	Sur-Sureste (SSE)
2011	5.7-8.8	0.5-2.1	1,26	Sur-Sureste (SSE)

Estimación de las concentraciones de la dispersión de los gases contaminantes CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> producto de las emisiones de empresas N°1, N°2 y N°3 del cantón Rumihahui.

## Procesamiento con Screen View

Las clases de estabilidad y velocidades de viento utilizadas por el software, simulan el “peor escenario”, ejecutando las peores combinaciones entre ambas, para obtener como resultado las más altas concentraciones del contaminante, a nivel del suelo en función de la distancia (Aguasclaras, 2007).

Los archivos de Excel fueron procesados con el software versión libre Screen View, utilizando los datos de emisiones de fuentes fijas de las tres industrias del estudio. Se calculó la tasa de emisión promedio de las mediciones, las cuales son entre uno a tres mediciones de muestra por año, expresadas en las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3: Tasas promedio de las emisiones de fuentes fijas de la empresa N°1.

Año	Tasa promedio de emisión NO <sub>x</sub> (g/s)	Tasa promedio de emisión SO <sub>2</sub> (g/s)	Tasa promedio de emisión CO (g/s)	Velocidad promedio gas (m/s)	Temperatura promedio gas (°K)
2006	453,43	276,59	11,72	47,94	573
2010	230	641	35	2,27	382
2011	269	757	10	6,43	428
2012	358	1246	9	6,20	441
2013	361	1116	285	4,60	438

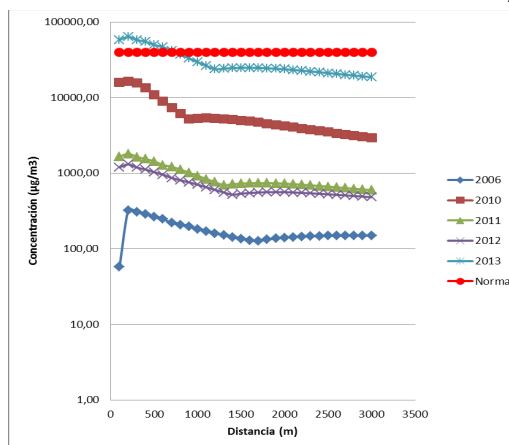
Tabla 4: Tasas promedio de las emisiones de fuentes fijas de la empresa N°2.

Año	Tasa promedio de emisión NO <sub>x</sub> (g/s)	Tasa promedio de emisión SO <sub>2</sub> (g/s)	Tasa promedio de emisión CO (g/s)	Velocidad promedio gas (m/s)	Temperatura promedio gas (°K)
2006	63,80	257,71	2,06	27,20	448,00
2010	241,77	515,17	17,25	8,53	510,15
2011	487,30	1993,50	11,30	9,31	493,95
2012	382,33	1221,77	20,50	10,20	461,98
2013	496,93	2010,13	49,40	8,51	469,00

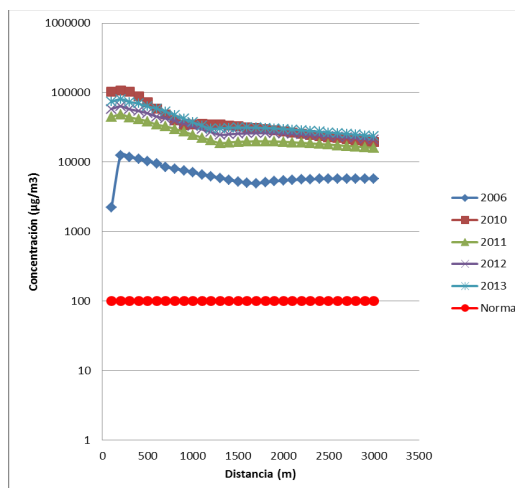
**Tabla 5:** Tasas promedio de las emisiones de fuentes fijas de la empresa N°3.

Año	Tasa promedio de emisión NOx (g/s)	Tasa promedio de emisión SO2 (g/s)	Tasa promedio de emisión CO (g/s)	Velocidad promedio gas (m/s)	Temperatura promedio gas (°K)
2006	1,87	0,97	0,08	9,97	720,50
2011	252,63	1005,97	9,20	10,08	398,40
2012	167,90	198,73	24,93	11,61	501,62
2013	172,60	428,33	15,40	12,33	495,05

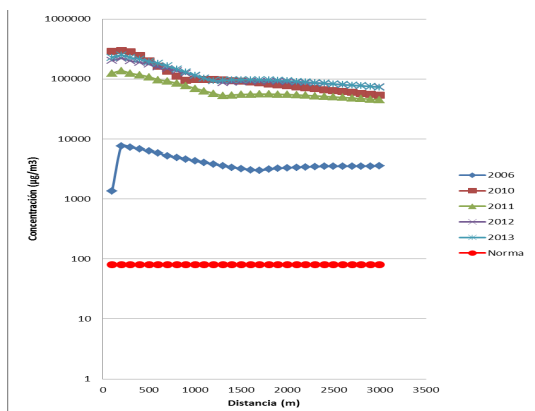
Estas emisiones promedio fueron procesadas en el software, dando como resultados las concentraciones de la dispersión expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en función de la distancia en m. En las figuras 9,10 y 11, se muestra los datos de concentraciones de la dispersión de los contaminantes CO, NOx y SO<sub>2</sub> producto de la empresa N°1, correspondientes a los distintos años en estudio. En las figuras 12, 13 y 14 se observa los resultados de la dispersión de los contaminantes de la empresa N°2; y las figuras 15, 16 y 17 la dispersión resultante de los contaminantes de la empresa N°3. Los resultados de simulación de la dispersión se obtuvieron a cada 100 metros de distancia, dentro de los 3 primeros km. A su vez se comparó con la norma límite del TULSMA para calidad de aire descrita en la tabla 1.



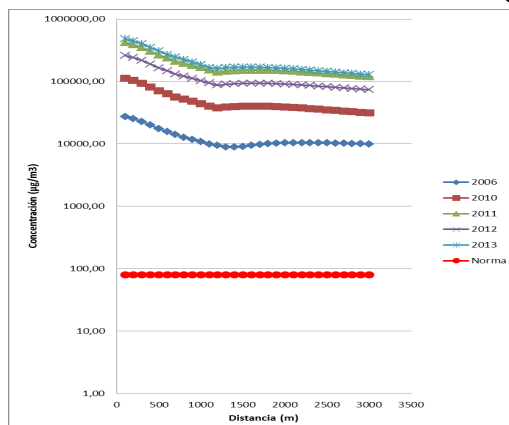
**Figura 9:** Concentración de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



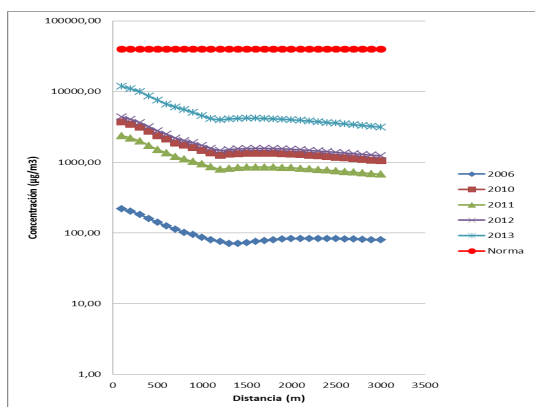
**Figura 10:** Concentración de la dispersión del contaminante NOx de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



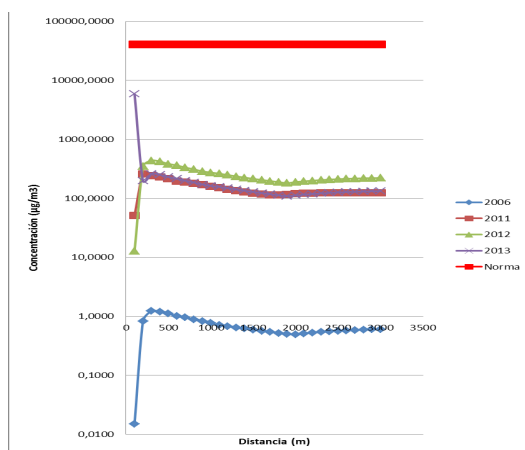
**Figura 11:** Concentración de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



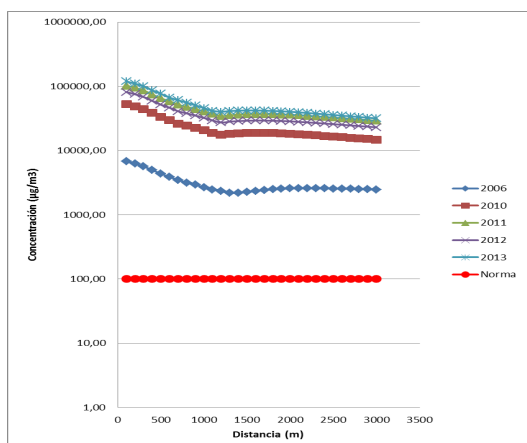
**Figura 14:** Concentración de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



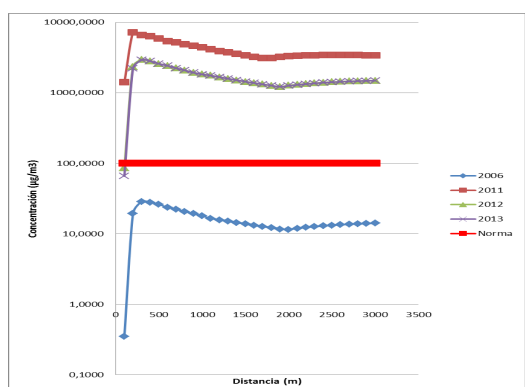
**Figura 12:** Concentración de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



**Figura 15:** Concentración de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.

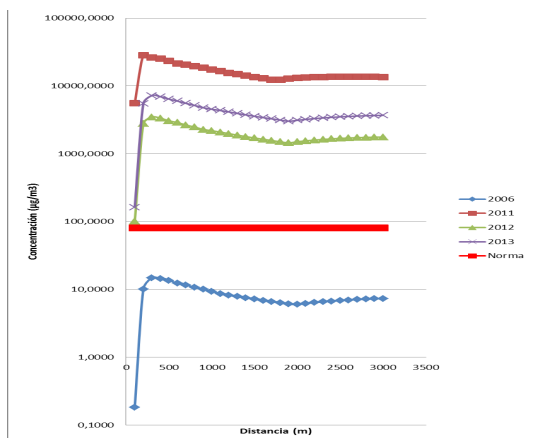


**Figura 13:** Concentración de la dispersión del contaminante NO<sub>x</sub> de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



**Figura 16:** Concentración de la dispersión del contaminante NO<sub>x</sub> de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.



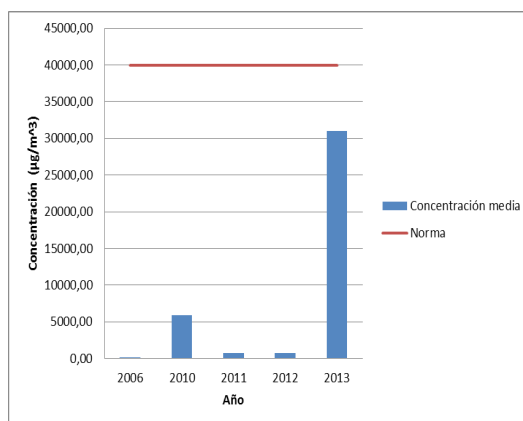


**Figura 17:** Concentración de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 en función de la distancia, vs. la norma límite del TULSMA de calidad de aire.

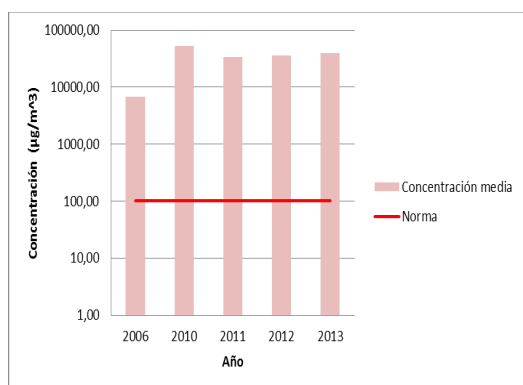
De manera general mientras mayor es la distancia recorrida por el contaminante, menor será su concentración; pero se observa en las figuras 15, 16 y 17, representativas de la dispersión de los contaminantes CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> producto de la empresa N°3, que la dispersión de los contaminantes en algunos años, aumentó significativamente entre los primeros 100 m a 300 m de distancia, para luego estabilizarse. Esto se puede deber a condiciones atmosféricas inestables, sumado un movimiento rápido del viento de forma ondulante, pueden producir altas concentraciones momentáneas a nivel del suelo, donde los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie, (OMS, 2000). Posiblemente exista también una relación entre las tasas de emisión bajas en estos casos, con la altura y el diámetro de la chimenea que son bastante grandes, favoreciendo con la ayuda del viento a que los contaminantes se dirijan al ras del suelo.

Se procesó también cada una de las repeticiones de las tomas de los contaminantes de emisiones de fuentes fijas, de las tres empresas. En las figuras

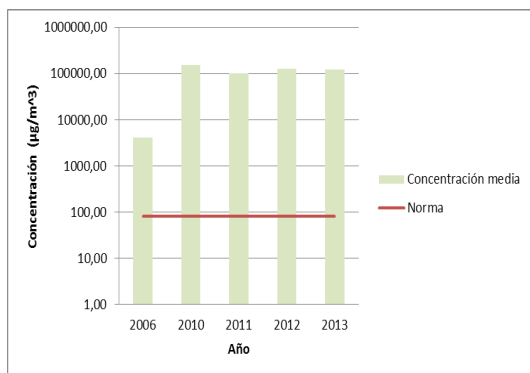
18, 19 y 20, se observa los resultados de los cálculos de concentraciones medias de dispersión por año de los contaminantes CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> de la empresa N°1; en las figuras 21, 22 y 23 corresponden a las concentraciones medias de la empresa N°2 y las figuras 24, 25 y 26 a la empresa N°3. Las gráficas resultantes se compararon con la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire, descrito en la tabla 1.



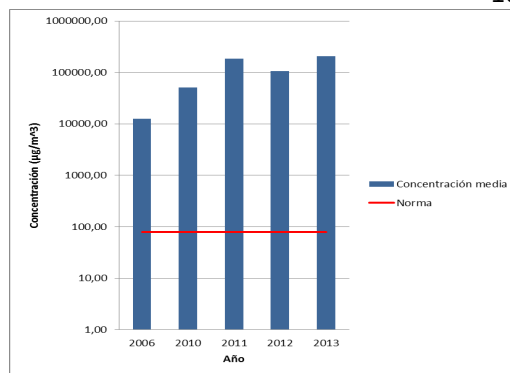
**Figura 18:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



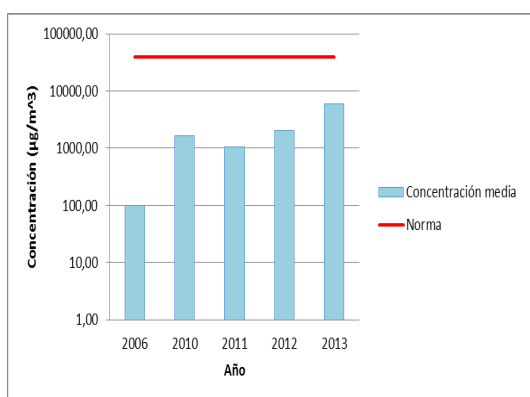
**Figura 19:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante NO<sub>x</sub> de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



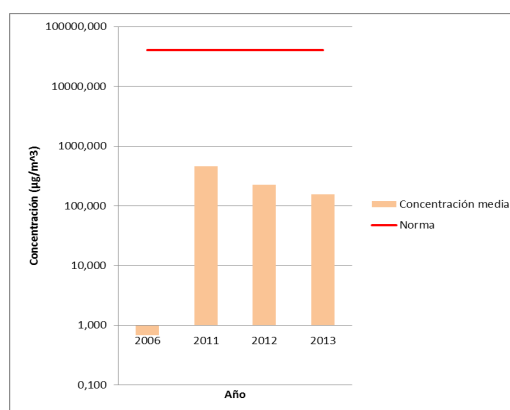
**Figura 20:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°1 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



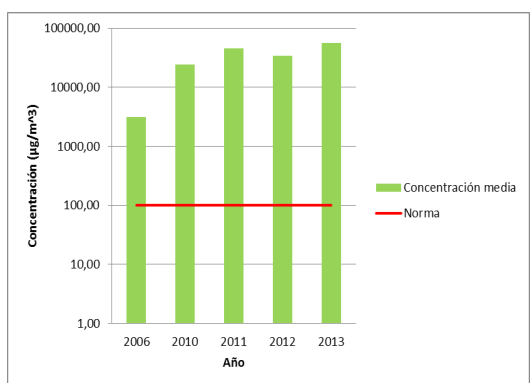
**Figura 23:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



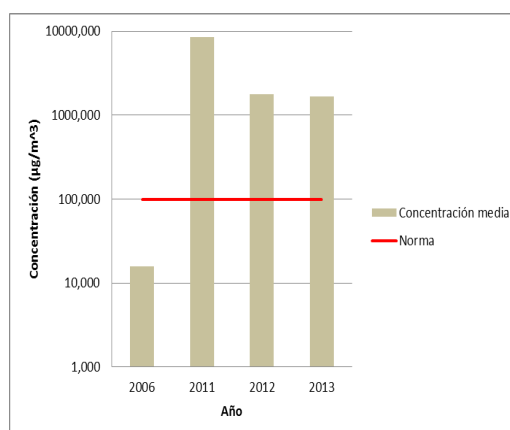
**Figura 21:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



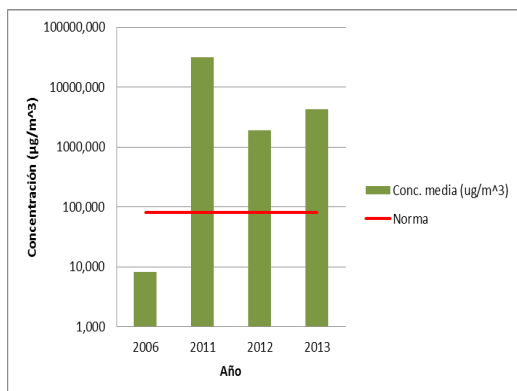
**Figura 24:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante CO de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



**Figura 22:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante NOx de la empresa N°2 de los años 2006, 2010-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



**Figura 25:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante NOx de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.



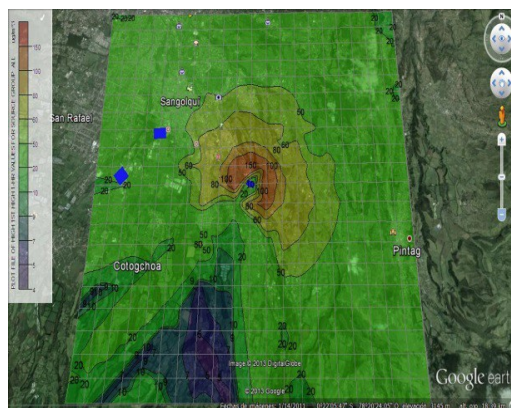
**Figura 26:** Comparación entre las concentraciones medias de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> de la empresa N°3 de los años 2006, 2011-2013 y la norma límite del TULSMA sobre calidad de aire.

Estos resultados de estimación de la concentración de contaminantes en el aire ambiente, a partir de datos reales de emisiones de fuentes fijas, nos indica que en el caso de los contaminantes SO<sub>2</sub> y NOx emitidas por las tres empresas, sobrepasaron las normas límites y pudieron ser causantes de graves problemas de contaminación atmosférica sobre el cantón Rumiñahui, provocando una condición de alarma si sumamos las emisiones de las restantes empresas existentes en el territorio.

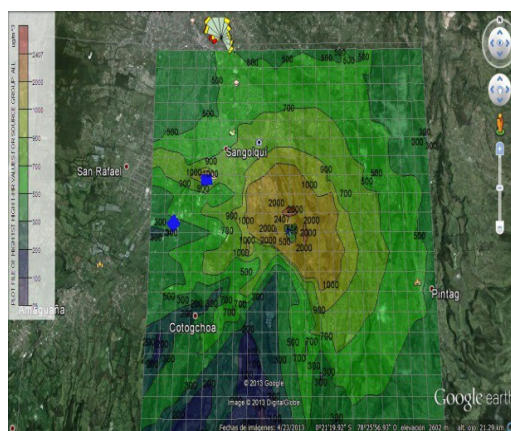
### Procesamiento con AERMOD

El procesamiento con AERMOD de los datos meteorológicos, geográficos y de emisiones de las tres empresas, correspondientes al año 2006 debido a que fueron los datos más completos para determinar la dispersión de los contaminantes, fueron expresados mediante gráficas 3D exportadas por Google Earth a la zona de estudio. En las figuras 27, 28 y 29 se observa la dispersión de cada uno de los contaminantes tomando como punto cartesiano a la

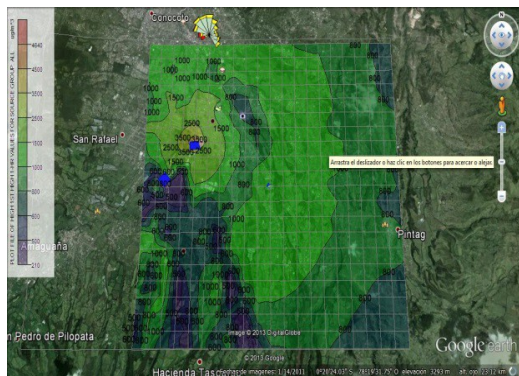
empresa N°1. En la parte izquierda de todas las gráficas se observa la regla de medición de la concentración que está en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , clasificado por colores que indica el valor de la concentración al momento de la simulación de dispersión en la zona según el color que lo esté cubriendo.



**Figura 27:** Resultado de la simulación de la dispersión del contaminante CO producto de las tres empresas en el año 2006, utilizando como punto cartesiano a la empresa N°1



**Figura 28:** Resultado de la simulación de la dispersión del contaminante NOx producto de las tres empresas en el año 2006, utilizando como punto cartesiano a la empresa N°1



**Figura 29:** Resultado de la simulación de la dispersión del contaminante SO<sub>2</sub> producto de las tres empresas en el año 2006, utilizando como punto cartesiano a la empresa N°1

En las gráficas resultantes de la dispersión del contaminante CO producto de las tres empresas en estudio (ver figura 27), se observa que zonas con dispersión uniforme, presentan cúmulos de altas concentraciones del contaminante. Según Lakes Environmental (2013), se debe a la presencia de vientos aislados de baja velocidad, que provocan una alta acumulación en zonas que no necesariamente presentan altas concentraciones. En general la concentración promedio del contaminante se encontró entre los 10-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , aunque en zonas como Pintag, Sangolquí, Cotogchoa y San Rafael, la concentración se mantuvo entre los 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Todas las mediciones cumplieron con la norma límite del TULSMA, descrita en la tabla 1

La figura 28 de la dispersión del contaminante NO<sub>x</sub> de las tres empresas, muestran que las concentraciones a los alrededores de la empresa N°1 se encontraron entre los 900 a 2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que la dispersión a los alrededores de las empresas N°2 y N°3 estuvieron entre los 300-900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; sobrepasando en todos los casos la norma límite respectiva del TULSMA de calidad de aire (ver tabla 1). Al alejarse de las industrias, se puede observar que parroquias como Amaguaña

y Cotogchoa presentaron concentraciones entre los 75-300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuyos valores están bajo y sobre la normativa, mientras que en Pintag existió una variación de la concentración entre los 300-700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y Sangolquí entre los 900-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sobrepasando la norma.

La figura 29 sobre la dispersión de SO<sub>2</sub> producto de las emisiones de las tres empresas, revelan que la concentración que se encuentra a los alrededores de la empresa N°2, varió entre los 2500 a 3500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la cual fue la concentración más alta en comparación con las otras dos empresas. En los alrededores de la empresa N°1, la concentración fue aproximadamente de 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para la empresa N°3 las concentraciones se encontraron entre los 500-800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Algunas zonas aisladas presentaron concentraciones entre los 800-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En toda la zona de estudio las concentraciones sobrepasaron la norma límite del TULSMA para calidad de aire (ver tabla 1). Pintag presentó una concentración entre los 800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Sangolquí entre los 800-1500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y Amaguaña con 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## CONCLUSIONES

Las rosas de los vientos de los años 2006-2008, 2010-2011 arrojaron como resultado, que la velocidad promedio histórica del viento se encontró entre el rango de los 0.5 a 2.17 m/s; mientras que el rango de velocidad máxima se mantuvo entre los 5.7-8.8 m/s, a excepción del año 2008 que fue de 8.8-11.1 m/s;

Las direcciones del viento predominantes de los años de estudio fueron el sur-suroeste y noroeste-norte (SSE y NWN), a excepción del año 2008 que tuvo una

dirección al SE, considerando estos resultados como las direcciones del viento históricas del territorio.

Las estimaciones de dispersión realizadas con el software Screen View mostraron que la concentración de CO de la empresa N°1 del año 2013 y la de los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, en los años 2006, 2010-2013 para las empresas N°1 y N°2, y del 2006, 2011-2013 para la empresa N°3, sobrepasaron las normativa límite permisible del TULSMA para calidad de aire.

La simulación de la dispersión de los contaminantes con AERMOD, mostraron que las concentraciones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, producto de las tres empresas en estudio del año 2006, sobrepasaron la norma límite del TULSMA para calidad de aire.

En general, las concentraciones de las dispersiones producto de las tres empresas, disminuyen mientras se alejan de los puntos de emisión, ya sea por factores como mayor volumen y velocidad del viento o temperatura del gas de salida.

Las simulaciones con AERMOD mostraron tanto dispersiones aisladas así como uniformes, las cuales son producto de consideraciones meteorológicas como velocidades bajas de viento, o la topografía

Hay que tomar en cuenta que los paquetes de simulación no consideran todos los factores que afectan el análisis, como son los relieves topográficos reales

de la zona, o datos exactos de coordenadas geográficas. Aun así, los resultados referenciales son de alta confiabilidad.

### Referencias Bibliográficas

*Aguaclaras*. (2007). Obtenido de <http://ebookbrowse.net/anexo-3-modelacion-emisiones-atmosfericas-pdf-d142746664>

FLACSO; MAE; PNUMA. (2008). *GEOECUADOR 2008*. Obtenido de Capítulo 2: Estado del aire: [www.flacsoandes.org/biblio/catalog/resGet.php?resId=16377](http://www.flacsoandes.org/biblio/catalog/resGet.php?resId=16377)

De Nevers, N. (1998). *Ingeniería de Control de la contaminación del aire*. México D.F: Mc Graw-Hill Interamericana.

Lakes Environmental. (2013). Obtenido de AERMOD Tech Guide: <http://www.weblakes.com/guides/aermod/toc/index.html>

OMS. (2000). Obtenido de Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoroprologo.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoroprologo.html)

OMS. (2005). Obtenido de Guías de calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: <http://www.bvsde.paho.org/bvsea/fulltext/omsguiaaire.pdf>