

Método de selección para la ubicación de puntos de monitoreo de gases de combustión provenientes de fuentes fijas puntuales en la ciudad de Loja, Ecuador

Orlando H. Álvarez Hernández^a, Thuesman Montaña^b, Jorge Maldonado^b, Miguel A Caraballo^b, Carlos Samaniego-Ojeda^b, José Cuenca Granda^b, Byron Solórzano Castillo^b

^a Docente Investigador, Área Agropecuaria y de los Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa, Loja-Ecuador
orlando21alvarez@gmail.com

^b Docentes Investigadores, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Universidad Nacional de Loja, Av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa, Loja-Ecuador
thuesman.montano@unl.edu.ec, jorge.maldonado@unl.edu.ec, miguel.caraballo@unl.edu.ec,
carlos.samaniego@unl.edu.ec, jose.cuenca@unl.edu.ec, byron.solorzano@unl.edu.ec

Resumen. El presente trabajo se realiza dentro del marco del proyecto “Evaluación de la contaminación atmosférica por fuentes de combustión en la ciudad de Loja y su mitigación con energías renovables” y tiene como objeto mostrar el criterio de selección de los puntos de medición para el monitoreo de gases procedentes de fuentes puntuales continuas, teniendo como antecedentes los resultados de encuestas, y la modelación fue realizada utilizando el método de Gradiente K del Dr. M. E. Berlyand modificado por Álvarez O. Se identificaron los sitios de monitoreo y se presenta el método para realizarlo. Las conclusiones más importantes fueron que la utilización del método estadístico de análisis del viento permite comprobar si la distribución del contaminante expulsado por las fuentes puntuales utilizando el modelo de difusión turbulenta de la Teoría de transporte gradiente K es congruente con los valores de velocidad y la frecuencia de direcciones de viento, y se determinaron las direcciones más significativas para la ocurrencia del transporte de contaminantes gaseosos desde las fuentes de emisión, y los valores de velocidad asociados a las mismas. Se recomienda: Adquirir instrumentos medidores de gases. Comprobar los resultados obtenidos en los datos tecnológicos de las fuentes puntuales continuas. Realizar la modelación utilizando el modelo aceptado por el Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador, que se corresponde con modelos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, en específico el AerMod, y Extender este estudio a un período de tiempo superior, de al menos un año.

Palabras Clave: Modelo de Berlyand, método de gradiente K, fuentes estacionarias, gases contaminantes.

1 Introducción

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 [4].

Los modelos de calidad del aire usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes en su dispersión y transformación en la atmósfera. Basados en datos meteorológicos e información de las fuentes de emisión tales como tasas de emisión y parámetros de chimenea, estos modelos caracterizan la dispersión de los contaminantes primarios que son emitidos directamente en la atmósfera y en algunos casos también las reacciones químicas que ocurren en ésta para formar contaminantes secundarios. Finalmente, generan como resultado una concentración ambiental del contaminante simulado.

“Los modelos matemáticos de la calidad del aire son una herramienta de gran utilidad en la planeación y gestión de la política ambiental, pues permiten predecir los cambios en las concentraciones ambientales de distintas especies químicas a lo largo de un día o periodos mayores, como resultado de cambios en los patrones de emisión. Como consecuencia de ello ofrecen la posibilidad de evaluar la efectividad de diferentes medidas de control de emisiones antes de su aplicación y constituyen un paso metodológico intermedio en la evaluación de los efectos a la salud y al medio ambiente” [5].

La aplicación de un modelo es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de una gran cantidad de información generada por diferentes fuentes, tales como: inventario de emisiones, meteorología, topografía, uso de suelo, etc. Sin embargo, es una potente herramienta de análisis, que tiene un amplio espectro de aplicación que va desde la evaluación de estrategias de control de emisiones y su impacto en la calidad del aire con el fin de apoyar la toma de decisiones, hasta la generación de información científica valiosa para comprender mejor la dinámica de la atmósfera y la contaminación en un lugar o región determinada [5].

Si bien hay un gran avance en la elaboración de los planes de acción para mejorar la calidad del aire en zonas urbanas, principalmente en los países desarrollados, un número considerable de personas viven en áreas urbanas (alrededor de 1.500 millones o 25% de la población mundial) y están expuestas a altas concentraciones de compuestos gaseosos y partículas en el aire que respiran.

La ciudad de Loja tiene una población de 214 000 habitantes y una tasa de crecimiento de 23%, según lo establece el último censo realizado por el INEC¹, 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

¹ <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/main.html>

debido a la sobre explotación de fuentes fijas estacionarias como calefones, y cocinas cuyo combustible o portador energético es el gas licuado de petróleo (GLP), que emana producto de la combustión de gases como CO₂, CO, NO_x, SO₂, los cuales, además, inciden negativamente por constituirse como gases de efecto invernadero GEI. Sin embargo, los indicadores de calidad del aire en la ciudad son insuficientes, ya que no se ha implementado un sistema de monitoreo de las diversas emisiones [6]. En un trabajo realizado [7] se calcularon un total de 5078 hogares que utilizan calefones en la ciudad de Loja, así como las emisiones producto del uso de los mismos (Tabla 1).

Tabla 1. Emisiones anuales por calefones que utilizan GLP en la ciudad de Loja, Ecuador

Emisiones anuales por calefones en Loja	kg	Mg	kg/h
CO ₂	3020467	3020.467	344.80
SO ₂	209.6	0.21	0.02
NO _x	2976.8	2.98	0.34
Compuestos Orgánicos Volátiles	531.1	0.53	0.06
CO	531.1	0.53	0.06
Partículas	104.8	0.10	0.01

Fuente: Samaniego, Álvarez y Maldonado [7]

En La ciudad de Loja existen diversos problemas ambientales, entre los principales figura la contaminación atmosférica generada por la emanación de gases a la atmosfera [8], resultando un factor coadyuvante de dicha contaminación, el crecimiento del parque automotor [9]. Por lo general las emisiones de cualquier vehículo individual, son muy bajas comparadas con las emisiones de una chimenea industrial. Sin embargo, debido a la cantidad de vehículos automotores en circulación, la emisión vehicular representa la fuente principal de contaminación.

Según registros del año 2008, la cantidad de vehículos en la ciudad de Loja sobrepasaban ya las 20 000 unidades [6], no obstante para el 2013 resultó ser de alrededor de 38 462 vehículos automotores [10]. Este notable incremento del parque automotor es producto del crecimiento poblacional, así como de la ampliación del perímetro urbano; estas situaciones, más la concentración de las actividades en el centro de la ciudad, constituyen elementos de presión que han originado una congestión del tráfico, generando de esta manera un incremento de emisiones contaminantes a la atmosfera, entre estas dióxido de carbono (CO₂) y partículas, así como hidrocarburos producto de la quema incompleta del combustible.

En el país se cuenta con pocas investigaciones sobre la medición de los gases en las fuentes de emisión, y solamente en Cuenca y Quito se conocen los niveles de emisión. Los efectos de la contaminación del aire a la salud de las personas, no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano y no se han llevado a cabo estudios

epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire. En el año 2000 se realizó un estudio en el cual participó la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) sobre el incremento de las enfermedades respiratorias escolares en Quito, cuyos resultados determinaron que los niños que estudiaban en el sector urbano central presentaron un promedio de carboxi-hemoglobina superior a los valores aceptados como normales [11].

Como parte del proyecto de investigación “Evaluación de la Contaminación Atmosférica por Fuentes de Combustión en la Ciudad de Loja y su Mitigación con Energías Renovables”, se realizó un trabajo de Tesis, en el cual se estudiaron las fuentes puntuales en la Ciudad de Loja y también los contaminantes que se generan en el proceso de la combustión. En el desarrollo de la investigación fue posible evaluar la eficiencia energética, por medio de los analizadores de polución de gases IMR-1400 [1].

A fin de lograr mayor profundidad en el Programa de Monitoreo de las diferentes emisiones es necesario, en primer lugar, el montaje de al menos una estación meteorológica donde se realicen observaciones de gradiente de temperatura y rumbo y velocidad del viento, a fin de calcular las categorías de estabilidad por alguno de los métodos recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), así como se requiere realizar una selección adecuada de la ubicación de los puntos de monitoreo de gases de combustión provenientes de fuentes fijas en la ciudad de Loja, y evaluar su influencia en la modelación de la calidad del aire.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización de la zona objeto de estudio

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 km²) [12]. 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 (Figura 1) y está ubicada en las coordenadas siguientes:

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

Longitud oeste: 79° 05' 58.6" y 79° 32' 42.1"; UTM 17S (661421 E -711075 E)

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 [6]. De acuerdo a los datos del censo (noviembre 2010) de población y vivienda, del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la población de la ciudad de Loja es de 214,855 mil habitantes.

2.2 Fundamentos teóricos de la modelación de la calidad del aire

En el presente trabajo, se determinan en forma preliminar, los puntos de medición para cinco fuentes encuestadas en el trabajo de Rojas[1] (Tabla 2), considerando los resultados de la modelación para los gases CO, CO₂, NO_x y SO₂, utilizando el método de Gradiente K de acuerdo al modelo desarrollado por Berlyand [2] y modificado por Álvarez [3].

Los datos meteorológicos corresponden a la Estación Meteorológica automática ubicada en el Área de la Energía, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja (Figura 2), y son adquiridos con un sensor de velocidad y dirección del viento Vaisala WMS 302 ubicado en una torre a 10 metros de altura, que adquiere datos cada 30 segundos, los cuales fueron procesados de acuerdo a las normas internacionales de la Organización Meteorológica Mundial para los horarios establecidos (01:00; 04:00; 07:00; 10:00; 13:00; 16:00; 19:00 y 22:00 hora local). Se calcularon las frecuencias de velocidades para 16 rumbos utilizando la metodología y el programa NOVTO4 de acuerdo a Álvarez [3].

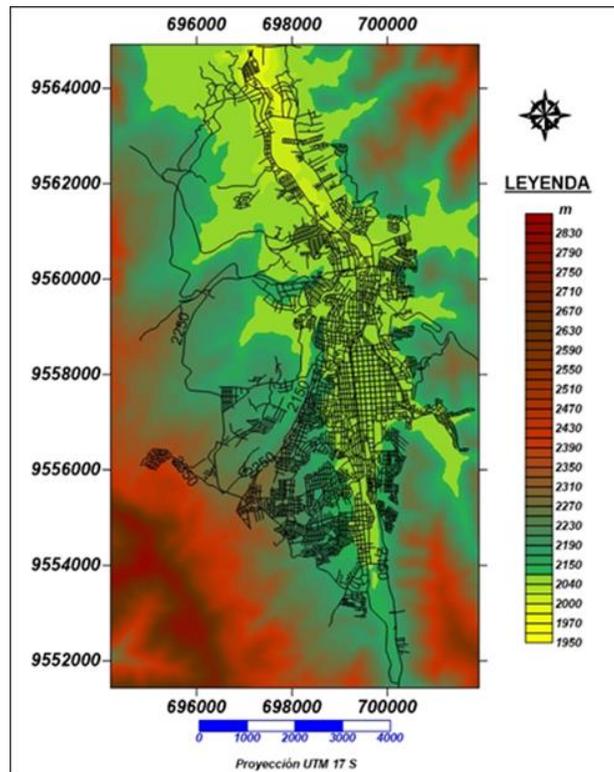


Figura 1. Mapa del área Urbana de la ciudad de Loja y topografía. Fuente: Elaboración propia

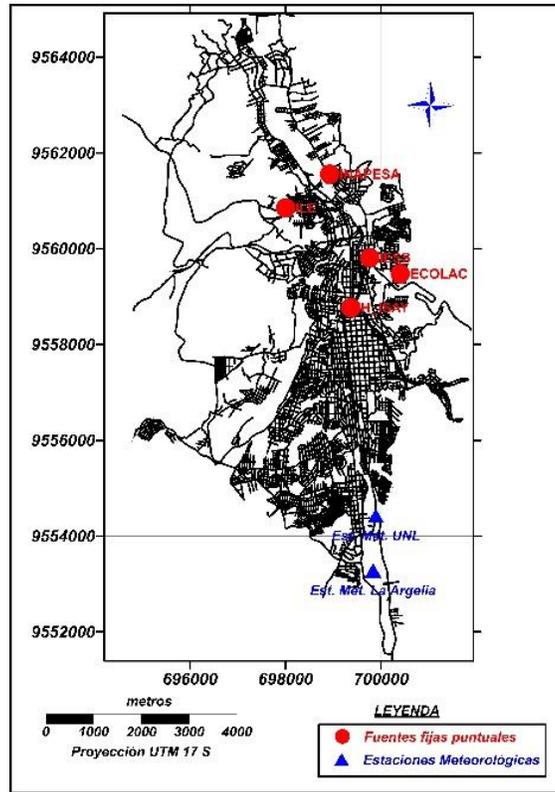


Figura 2. Ubicación de las fuentes puntuales y estaciones meteorológicas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Datos de las fuentes puntuales utilizados en este estudio

Lugar	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	Temp. Gas (°C)	Altura Chime-enea (m)	Diám. Chime-nea (m)	Eficiencia (%) Combust.	Velocidad salida gases (m/s)
IESS	7.02	9.97	5.50	54.20	1.17	299.17	3.8	0.42	86.38	2.82
I. AYORA	4.58	11.70	14.00	50.00	0.00	180.67	13.6	0.80	93.12	1.10
ILE	5.90	10.78	32.17	44.67	0.50	305.33	4.20	0.22	86.70	2.25
INAPESA	4.37	11.85	107.17	51.33	0.00	186.67	5.30	0.26	95.93	2.00
ECOLAC	6.27	10.50	1957.83	11.17	16.33	435.33	4.4	0.22	80.60	1.73

Fuente: Rojas [1]

Las dos primeras fuentes como son Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) y el Hospital ISIDRO AYORA, cuya función es la atención en salud con capacidades de 129 y 243 camas respectivamente, donde las fuentes son utilizadas para la producción de vapor que es utilizado en los procesos de calefacción de agua, autoclaves, secadoras, cocinas a vapor, etc. A su vez ILE (Industria Lojana de Especerías) es una industria dedicada a la industria alimenticia, donde el vapor es utilizado para el proceso de cocción de la pasta de tomate, y otros productos, INAPESA es una industria de procesamiento de cárnicos y el vapor es usado en el proceso de los embutidos, por su parte ECOLAC es una industria de lácteos donde el vapor es utilizado para la pasteurización de la leche, todas las fuentes mencionadas utilizan como combustible el diésel Premium.

Las mediciones de las emisiones de gases contaminantes se realizaron acorde a las normas EPA1 y EPA1A, durante el periodo entre junio y julio 2013.

Se utilizó el modelo de difusión turbulenta de la Teoría de transporte gradiente K, como modelo de control, para determinar las zonas con posibles valores elevados de concentración de contaminantes gaseosos, y a pesar de que el mismo requiere de una integración numérica que es computacionalmente cara, se puede resolver analíticamente con algunas simplificaciones [13]. A partir de este modelo se pueden hacer estimados confiables (25 – 30% de error) de la dispersión de impurezas sin necesidad de estudios detallados de las construcciones urbanas [2] [14]. Se considera el tipo más simple de aproximación utilizado en la modelación de la difusión [15].

En este tipo de modelos, basados en una analogía cualitativa e la Ley de Fick de difusión molecular [15], los flujos turbulentos son expresados en términos de los gradientes de concentraciones medias, en la forma:

$$\overline{c' u'} = -K_x \frac{\partial \overline{c}}{\partial x}; \overline{c' v'} = -K_y \frac{\partial \overline{c}}{\partial y}; \overline{c' w'} = -K_z \frac{\partial \overline{c}}{\partial z} \quad (1)$$

Aquí K_x , K_y y K_z son las difusividades turbulentas hipotéticas en los ejes x, y, z.

El modelo utilizado es una modificación a la ecuación de la concentración máxima (C_m) propuesta por Berlyand [2] y obtenida por métodos semi-empíricos:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta T}} \quad (2)$$

Donde:

M: Emisión ($\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$)

A: Coeficiente, calculado para condiciones normales de intercambio vertical y horizontal ($^{\circ}\text{C}^{-1}\cdot\text{s}^{2/3}\cdot\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$). En el presente estudio se utilizó el valor de A igual a 200.

F: Coeficiente adimensional para las condiciones de salida de la mezcla gas-aire en el punto de emisión. Para expulsiones gaseosas y aerosoles, $F=1$.

H: Altura de la fuente (m).

ΔT : Diferencia de temperaturas entre el aire y la mezcla gaseosa.

V: Volumen de la mezcla gas-aire (m^3s^{-1})

m,n: Coeficientes adimensionales. El coeficiente m viene dado según una función del parámetro f, donde,

$$f = (10^3 \cdot w_o \cdot D) / H^2 \cdot \Delta T \quad (3)$$

Siendo w_o la velocidad de salida de la mezcla (m/s) y D el diámetro de la chimenea. Entonces:

$$m = (0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f})^{-1} \quad (4)$$

A su vez, el coeficiente n depende de un parámetro V_m ($V_m = 0.65(V \cdot \Delta T / H)^{1/3}$), según:

$$\begin{array}{ll} n = |3 - (V_m - 0.3)(4.36 - V_m)| & \text{si } 0.3 < V_m < 2 \\ n = 3 & \text{si } V_m < 0.3 \\ n = 1 & \text{si } V_m > 2 \end{array} \quad (5)$$

El parámetro V_m fue establecido de forma semi empírica por Berlyand [2] a partir de fuentes industriales puntuales, las cuales correspondían a grandes instalaciones energéticas e industriales, lo cual no es el caso que nos ocupa, por lo cual se decidió utilizar el valor absoluto de $[3 - (V_m - 0.3)(4.36 - V_m)]$ para el cálculo de n, para eliminar la posibilidad de valores negativos de C_m para las fuentes con alturas inferiores a 23 metros.

La distancia a la cual ocurre la concentración máxima (x_m) se calcula considerando la altura de la fuente (H), el coeficiente adimensional de filtrado (F), y un parámetro (d) que depende de la denominada por Berlyand, “velocidad peligrosa del viento” (U_m), la cual es función del volumen de la mezcla gas-aire y de ΔT .

La concentración máxima y la distancia a la cual ésta ocurre para una velocidad del viento u diferente de U_m se obtienen como:

$$C_{m_u} = u / U_m \cdot C_m \quad (6)$$

$$X_{m_u} = u / U_m \cdot X_m \quad (7)$$

Donde u es la velocidad promedio del viento en un rumbo y U_m es la velocidad peligrosa del viento que depende del volumen de la mezcla gas-aire y la diferencia de temperaturas ΔT .

Para el estudio de los rumbos y velocidades del viento, se adoptó un tratamiento estadístico con el fin de determinar las zonas de mayor afectación por el transporte o estancamiento de los contaminantes. Se utilizaron los datos de viento obtenidos en la estación meteorológica ubicada en el Área de la Energía de la Universidad Nacional de Loja, correspondientes a los horarios sinópticos de observación para cada mes en particular. Al no existir datos de temperatura del aire se consideró tomar el valor de 20°C como temperatura media del aire, que es la información de la temperatura media en la ciudad de Loja a partir de los datos de la estación meteorológica “La Argelia” proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). Se utiliza una carta característica de la velocidad del viento contra los rumbos del viento (Figura 5), en la cual el valor 1 de las ordenadas corresponde al NNE y la 0 al N, variando en sentido horario cada 22.5 grados.

Una vez calculados los valores de C_m , X_m , r y p , para cada uno de los rangos de velocidad del viento, se obtienen las concentraciones máximas y las distancias a que éstas ocurren para cada una de los 16 rumbos del viento que se consideran en el Programa CONGAS [3] confeccionado en lenguaje FORTRAN de acuerdo con:

$$C_{m_j} = \left[\left(\sum_{i=1}^{24} C_{mu_{i,j}} \right) (F_{i,j}) \right] / \sum_{i=1}^{24} F_{i,j} \quad (8)$$

$$X_{m_j} = \left[\left(\sum_{i=1}^{24} X_{mu_{i,j}} \right) (F_{i,j}) \right] / \sum_{i=1}^{24} F_{i,j} \quad (9)$$

Donde $F_{i,j}$ es la frecuencia de la velocidad del viento $u_{i,j}$ en el rumbo j -simo ($j = 1, 2, \dots, 16$).

Una vez realizados los cálculos anteriores, se introducen en las ecuaciones originales propuestas por Berlyand para cada uno de los rumbos del viento, además se seleccionaron los puntos para la medición de contaminantes utilizando el lugar de mayor valor de concentración en cada uno de los cuadrantes alrededor de las fuentes.

3. Resultados y discusión

La modelación se realizó para los meses de enero, febrero y marzo de 2014, como una primera etapa en el estudio de la contaminación atmosférica por gases de combustión y utilizando los datos tecnológicos de las fuentes (Tabla 2) y los datos de viento a 10 m medidos en la Estación Meteorológica del Área de la Energía de la Universidad Nacional de Loja (UNL). En la Figura 3 se muestran las rosas de los vientos correspondientes a los rumbos del viento para esos meses, así como las rosas para los valores promedio de la velocidad del viento en km/h.

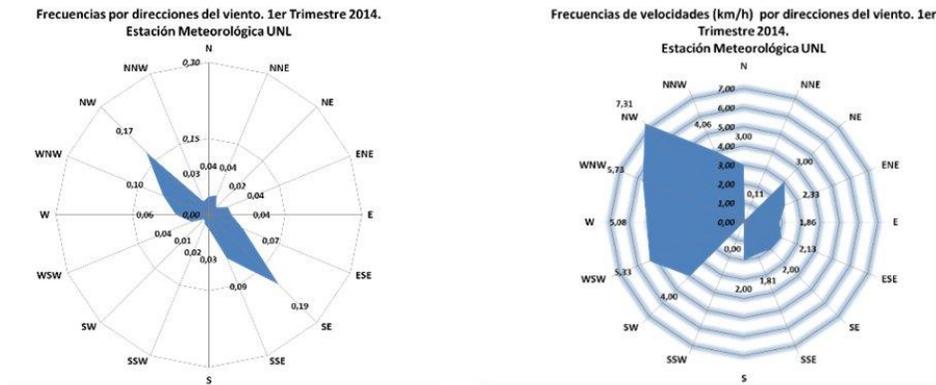


Figura 3. Rosas de direcciones de los vientos y valores de velocidad del viento promedio por rumbos para los horarios sinópticos de observación (01:00, 04:00, 07:00, 10:00, 13:00, 16:00, 19:00 y 22:00 HL). Enero - Marzo 2014. Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se observa que en estos meses predominan rumbos del viento que van del 4to cuadrante al 2do, y viceversa, del 2do al 4to cuadrante, por lo cual, en dependencia del rumbo, los contaminantes emitidos deben moverse en esos rumbos.

Por otra parte, en las rosas de velocidad del viento promedio por rumbos se muestran los mayores valores entre los rumbos SW y N con valores iguales o superiores a 3 km/h, por lo cual los contaminantes deben trasladarse a distancias mayores en los rumbos contrarios. Como los rumbos entre el NNE y el S presentan valores de velocidad del viento entre 0.11 y 2.33 km/h, inferiores a los anteriores, el transporte de contaminantes alcanza, en estos últimos rumbos menor distancia si se considera la ecuación (9), en la cual la distancia máxima por cada rumbo va a depender de la frecuencia de los diferentes valores de la velocidad del viento en cada rumbo, siendo al mismo tiempo, mayores los valores de las concentraciones de contaminantes.

En la figura 4 (izq.) se presentan, el comportamiento de la dirección del viento durante el primer trimestre del año en la estación meteorológica UNL, ubicada en el Área de la Energía de la Universidad Nacional de Loja (UNL), donde se observa que existen 2 rumbos dominantes, correspondiendo el mayor valor de frecuencia al rumbo Norte Noroeste (NNW) y un máximo relativo del Sur (S), con solamente un rumbo del cual no se presentaron valores de viento que fue el del Suroeste (SW). Por otra parte, en la figura 4 (der.) se observan valores de velocidad del viento bajos, toda vez que el 46.77% corresponde a valores iguales o inferiores a 2 km/h, por lo cual, y considerando la ecuación (9), así como los datos de las chimeneas con alturas inferiores a 13 metros, la distancia hasta la cual se transportarán los contaminantes no puede ser grande.

En la figura 5, se presenta la relación entre valores de velocidad del viento y los rumbos (carta característica), observándose que de acuerdo a lo explicado anteriormente

respecto a los rumbos predominantes del viento, los valores de frecuencia de ocurrencia se agrupan alrededor de los rumbos más significativos. Al mismo tiempo, los valores de velocidad del viento más altos se observan para el rumbo NW, por lo cual los contaminantes se deben transportar hasta distancias mayores en la rumbo al SE de las fuentes, dispersándose en un grado mayor.

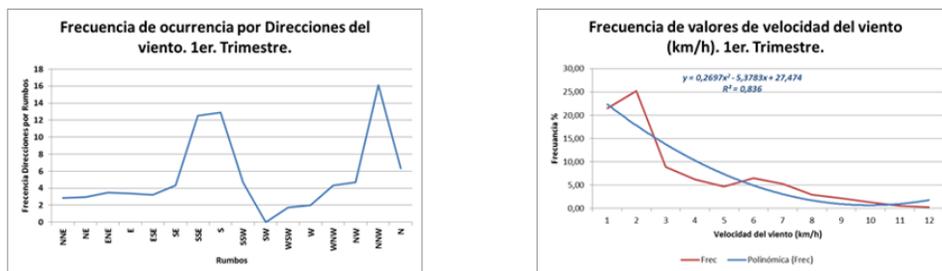


Figura 4. Frecuencia de ocurrencia por direcciones y valores de velocidad del viento (km/h). 1er. Trimestre 2014.

En la figura 6 se presenta la modelación correspondiente al NOX para el 1er Trimestre dada por la suma de todas las fuentes. En esta figura se comprueba que los valores del contaminante en la rumbo SE es menor y alcanza mayores distancias debido a que los valores de la velocidad del viento es mayor, así como una alta frecuencia de ocurrencia de este rumbo, al tiempo que en la rumbo NE y NNE es donde ocurre la mayor concentración debido a ser hacia donde soplan los vientos con valores muy bajos de velocidad del viento (1 km/h) (Figura 5).

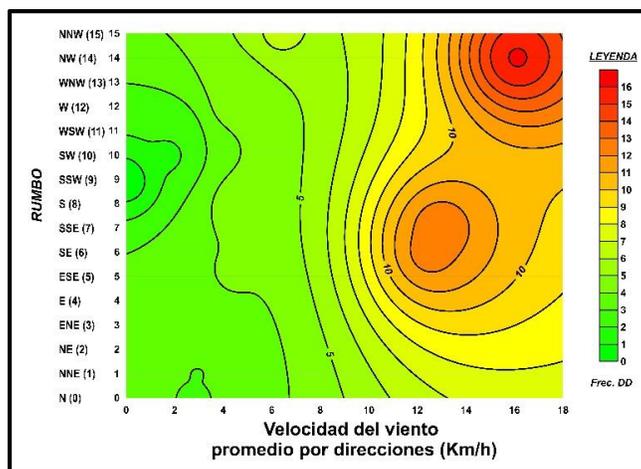


Figura 5. Carta característica del comportamiento del viento en la Est. Met. UNL. 1er Trimestre.

Esta situación permitió ubicar los puntos de medición alrededor de las fuentes de emisión como se presenta en las figuras 6 y 7, donde se muestra la selección de puntos de medición alrededor de las cinco fuentes fijas utilizadas en el presente trabajo. Esta selección se basa en cuatro puntos alrededor de cada fuente con los valores más altos de inmisión en cada cuadrante.

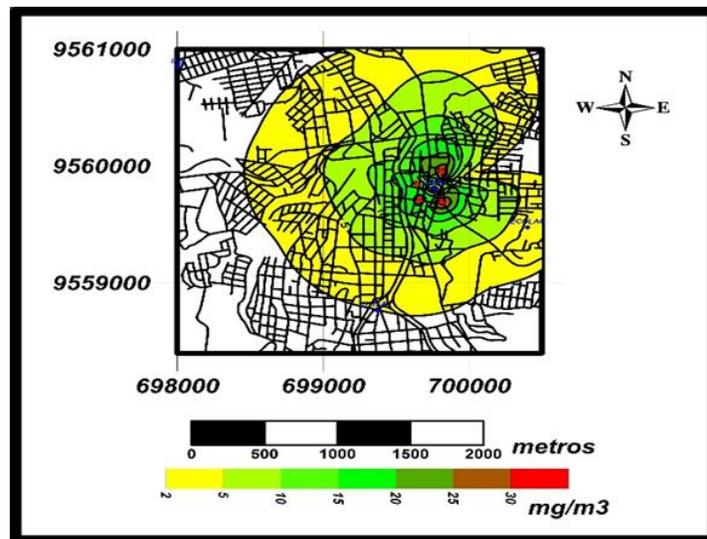


Figura 6. Modelación de NOx para el 1er. Trimestre 2014. Se muestra la fuente principal de este contaminante. Los puntos con mayores valores son los seleccionados para realizar el monitoreo.

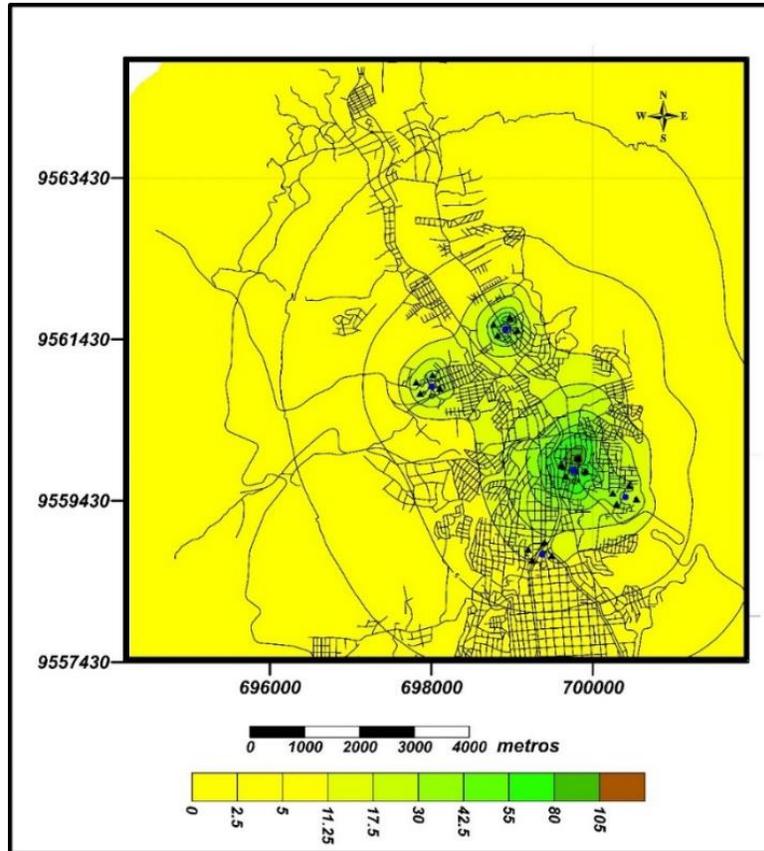


Figura 7. Selección de los puntos de medición alrededor de las cinco fuentes fijas utilizadas. Los valores de la sumatoria están dados en mg/m³ de NO_x.

4. Conclusiones

- Se determinaron los rumbos más significativas para la ocurrencia del transporte de contaminantes gaseosos desde las fuentes de emisión, así como los valores de velocidad asociados a las mismas. Los valores de concentración del contaminante en la rumbo SE es menor y alcanza mayores distancias debido a que los valores de la velocidad del viento es mayor, así como una alta frecuencia de ocurrencia de este rumbo, al tiempo que en la rumbo NE y NNE es donde ocurre la mayor concentración debido a ser hacia donde soplan los vientos con valores muy bajos de velocidad del viento (1 km/h).

- La distribución del contaminante expulsado por las fuentes puntuales utilizando el modelo de difusión turbulenta de la Teoría de transporte gradiente K es congruente con los valores de velocidad y la frecuencia de rumbos de viento.
- Existe correspondencia entre las zonas de mayor concentración de contaminantes según el modelo de control utilizado con los valores de velocidad para cada rumbo del viento, siendo congruentes los mismos.

5. Recomendaciones

- Realizar el montaje de al menos una estación meteorológica donde se lleven a cabo observaciones de gradiente de temperatura y rumbo y velocidad del viento, a fin de calcular las categorías de estabilidad por alguno de los métodos recomendados por la Organización Meteorológica Mundial OMM)
- Adquirir instrumentos medidores de gases con el fin de realizar mediciones de comprobación para determinar los errores cometidos por el método de modelación en los diferentes puntos de medición.
- Comprobar los resultados obtenidos en los datos tecnológicos de las fuentes puntuales continuas utilizando las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Realizar la modelación utilizando un modelo de los aceptados por el Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador, los cuales se corresponden con modelos aceptados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, en específico se recomienda utilizar el AerMod.
- Extender este estudio a un período de tiempo superior, de al menos un año, para poder obtener valores estadísticos más representativos de la zona.

6. Referencias

1. Rojas, C. (2014). Evaluación de los impactos ambientales que causan las fuentes fijas puntuales y mitigación mediante el uso de energías renovables en la ciudad de Loja. TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE: Ingeniero Electromecánico. Universidad Nacional de Loja.
2. Berlyand, M.E (1975). Sovremenni problemii atmosfernoe diffusi y zagrasnenii atmosferii. Ed. Hidrometeorológica. Leningrado. URSS.
3. Álvarez, Orlando (1994). Diagnóstico y Pronóstico de la contaminación del aire por SO₂ y H₂S en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano. Tesis en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Geográficas. Instituto de Meteorología. Academia de Ciencias de Cuba.

4. OMS (2004). Informe sobre la salud en el mundo 2004. ISBN 92 4 356265 7 (Clasificación NLM: WA 540.1). ISSN 1020-6760
5. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 2012. Modelos Matemáticos de la Calidad del Aire. Disponible en <http://www.inecc.gob.mx/calair-herramientas-analisis/557-calair-modelos> (visitado noviembre, 2014).
6. GEO Loja (2008). Perspectivas del Medio Ambiente Urbano GEO Loja. Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, la Municipalidad de Loja y naturaleza y Cultura Internacional. ISBN 978-9942-01-460-3.
7. Samaniego-Ojeda, C., O. Álvarez y J. Maldonado (2014): “Emisiones provocadas por combustión de GLP a partir de calefones en la ciudad de Loja y su posible relación con Enfermedades Respiratorias Agudas (ERAs)”, Informe preliminar del Proyecto: Evaluación de la contaminación atmosférica por fuentes de combustión en la ciudad de Loja y su mitigación con energías renovables.
8. PNUMA (2008). Anuario 2008 del PNUMA. ISBN: 978-92-807-2880-4. UNEP/GCSS/X/INF/2.DEW/1009/NA
9. CEPAL (2008). Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, 2008. Febrero 2009. 426pp.
10. Agencia Nacional de Tránsito Loja (ANT) (2014). Estadística de matriculación 2013. Disponible http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&ved=0CCoQFjACOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fwebnec%2FEstadisticas_Economicas%2FEstadistica%2520de%2520Transporte%2FPublicaciones%2FAnuario_de_Estad_de_Transporte_2013.pdf&ei=fTZ_VPXiGcqfgwThjIHQAg&usq=AFQjCNEbqWKMXhbfKUylOxwMAPzJzrGIZA&bvm=bv.80642063,d.eXY. (Visitado noviembre, 2014).
11. FLACSO, MAE, PNUMA, 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente: Estado de aire. Disponible en URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/LFLACSO-FLACSO-PUBCOMP.pdf> (visitado noviembre, 2014)
12. PNUMA (2007). Informe anual del PNUMA 2007. ISBN: 978-92-807-2909-2. DCP/1038/NA
13. Curiel, L.D. (1990). Diagnóstico y Pronóstico de la Contaminación por SO₂ en la ciudad de Matanzas. Tesis en opción al Grado Científico de Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas. I.S.P. “José A. Echeverría”
14. Szepesi, D.J. (1989). Compendium of Regulatory Air Quality Simulation Models. Akademiai Kiadó. Budapest. Hungría.
15. S Pal Arya (2002). A Review of the Theoretical Bases of Short-Range Atmospheric Dispersion and Air Quality Models. Proc. Indian Natn Sci Acad, 69, A, No 6, November 2003, pp 709–724.