

INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA-ECUADOR

INVENTORY OF ATMOSPHERIC EMISSIONS FROM FIXED SOURCES OF COMBUSTION IN THE CUENCA-ECUADOR INDUSTRIAL PARK

Diana Moscoso Vanegas^{1}, Ana Astudillo Alemán¹ y Mayra C. Morales Pérez²*

¹ Universidad de Cuenca, Av.12 de abril. Ciudadela Universitaria, Cuenca, Ecuador.

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuani Km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Septiembre 27, 2017; Revisado: Noviembre 9, 2017; Aceptado: Enero 9, 2018

RESUMEN

En la actualidad la estimación de las emisiones atmosféricas desde fuentes fijas de combustión es una necesidad en la gestión de la calidad del aire urbano de la ciudad de Cuenca, con la finalidad de disponer de la información del inventario de emisiones que permita determinar el impacto generado al recurso aire, el cual afecta visiblemente a la salud humana y al ecosistema. El objetivo de esta investigación fue cuantificar y estimar las emisiones atmosféricas de los contaminantes más representativos generados en fuentes fijas de procesos de combustión. Para ello se seleccionaron 30 empresas de diferentes sectores económicos y la metodología para la elaboración del inventario se basa en el empleo de factores de emisión y mediante muestreo automático en la fuente. Los resultados muestran que el Dióxido de Azufre (SO₂) es el contaminante de mayor porcentaje generado en la Elaboración de papel cartón y otros con un total de 24,01 kg/h; debido a que la empresa que conforma este rubro emplea combustible con una alta proporción de azufre y labora continuamente los 7 días de la semana; el contaminante que se emite en menor cantidad es el Monóxido de Carbono (CO) generado mayoritariamente por el rubro Metalmecánica con un total de 7,52kg/h, y referente a los Óxidos de nitrógeno (NO_x) la mayor carga contaminante corresponde al rubro Fabricación de cerámica, tubos y productos galvanizados con un total de 13,83kg/h, lo cual es atribuido al número de fuentes de combustión.

Palabras clave: carga contaminante; fuentes fijas; inventario de emisiones; aire.

Copyright © 2018. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Diana Moscoso, Email: dmoscosovanegas@gmail.com

ABSTRACT

The estimation of atmospheric emissions from fixed sources of combustion is currently a necessity in the management of the urban air quality of the Cuenca city. It is extremely important to have the information of the inventory of emissions, which allows to determine the impact generated in the air, which visibly affects human health and ecosystem. The objective of this research was to quantify and estimate the atmospheric emissions of the most representative pollutants generated in fixed sources of combustion processes. For this purpose, 30 companies from different economic sectors were selected; the methodology for the preparation of the inventory is based on the use of emission factors and automatic sampling at the source. The results show that sulphur dioxide (SO₂) generated by paperboard elaboration and others, is the highest pollutant, with a total of 24.01kg / h. This amount is produced because the company which elaborates this item uses fuel with a high proportion of sulphur, and works continually the 7 days a week; the pollutant emitted in less quantity is the carbon monoxide (CO) generated mainly by the metalworking sector with a total of 7,52kg / h. Referring to the nitrogen oxides (NO_x), the highest pollutant corresponds to the Production of ceramics, pipes and galvanized products with a total of 13,83kg / h, which is attributed to the use of different sources of combustion.

Key words: load pollutant; fix sources; emission inventory; pollution; air.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo industrial es indispensable para la vida moderna y la ciudad de Cuenca en Ecuador no es la excepción, alcanzando en los últimos años un gran avance industrial, que ha contribuido al aumento de las emisiones atmosféricas generadas por las fuentes fijas ubicadas en el parque industrial y que son emitidas de forma continua a través de sus chimeneas, generando contaminantes que influyen en el calentamiento global, afecciones a la salud, sequías, entre otros (Vega, 2010).

En un estudio de emisiones atmosféricas, efectuado en Cuenca en el año 2011, se pudieron identificar entre las principales fuentes de contaminación del aire en esta ciudad, el tráfico vehicular, las industrias, las centrales térmicas y las emisiones provenientes de las ladrilleras, gasolineras, canteras, entre otras (Espinoza y EMOV, 2012).

El Parque Industrial de la ciudad se encuentra ubicado al noreste de la misma y en él se concentra una diversidad de industrias entre las que se destacan los siguientes rubros: alimenticio, cerámica, metal mecánica, elaboración de llantas, textiles, plásticos, entre otros. Ante esta situación y la falta de información referente a la calidad del aire en Cuenca, causadas por fuentes fijas, se realizó un inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes fijas de combustión con el objetivo de establecer los rubros que generan la mayor carga contaminante.

Con ello se logra un instrumento estratégico y básico para posteriores estudios, para futuras decisiones por parte de las autoridades competentes del control de las emisiones en esta zona productiva de la ciudad para una adecuada gestión de la calidad del aire.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en la parroquia El Vecino, ubicada a la orilla izquierda del río Machángara, al noreste de la ciudad de Cuenca, a cinco kilómetros del centro de la misma; cuenta con 70,8 hectáreas (Municipalidad de Cuenca, 2012). Se consideraron 30 fuentes fijas de combustión para el estudio y las mismas se encuentran detalladas en la tabla 1. En la figura 1 aparece representada la ubicación del Parque industrial como área de estudio.



Figura 1. Ubicación del Parque Industrial de Cuenca, Azuay

Tabla 1. Características de las empresas objeto de estudio

<i>Rubro</i>	<i>Empresa</i>	<i>Actividad</i>	<i>Tipo de combustible</i>	<i>Consumo de combustible</i>		
				<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>
Fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados	Empresa A	Producción de cerámicas para pisos y paredes en gres y porcelanato	Gas licuado natural (GLN)	X		
	Empresa B	Elaboración de tuberías de acero y productos galvanizados	Diesel (*S=1%)		X	
	Empresa C	Fabricación de cerámica	GLP		X	
	Empresa D	Elaboración de trabajos con PVC, calandrados y laminados	Diesel (*S=1%)		X	
Fabricación de muebles y	Empresa E	Fabricación de muebles	Madera			X

carpintería	Empresa F	Fabricación de partes y piezas de todo tipo de muebles, de cualquier material	Madera		X	
	Empresa G	Fabricación de muebles y accesorios (no metálicos)	Madera			X
Pastificio y fabricación de pastas	Empresa H	Fabricación de fideos	Diesel (*S=1%)		X	
	Empresa I	Fabricación de fideos	Diesel (*S=1%)		X	
Elaboración de papel, cartón y otros	Empresa J	División de empaques de cartón, de papel y de reciclados	Bunker (*S=3,5%)	X		
Alimentos y Embutidos	Empresa K	Elaboración de embutidos	Diesel (*S= 1%)		X	
	Empresa L	Elaboración de embutidos	Diesel (*S= 1%)		X	
	Empresa M	Elaboración de pan	Diesel (*S= 1%)		X	
Embotellado ra y elaboración de bebidas	Empresa N	Elaboración de bebidas no alcohólicas, y envasado de agua para bebida	Diesel (*S= 1%)			X
Fabricación de velas	Empresa O	Elaboración de velas de colores	Diesel (*S= 1%)			X
Lácteos	Empresa P	Elaboración de lácteos	Bunker (*S=3,5%)	X		
	Empresa Q	Procesamiento de Lácteos	Diesel (*S= 1%)			X
Tintes y pinturas	Empresa R	Fabricación de pinturas y pegamentos	Bunker (*S=3,5%)	X		
	Empresa S	Elaboración de pigmentos	Gas natural	X		

Fabricación de llantas	Empresa T	Reencauchado de llantas usadas	Diesel		X	
	Empresa U	Elaboración de neumáticos	Bunker (*S=3,5%)	X		
	Empresa V	Fabricación de llantas y cámaras de caucho natural y sintético.	Diesel (*S= 1%)			X
Metal mecánica	Empresa W	Fabricación de cocinas y hornos	Diesel (*S= 1%)		X	
	Empresa X	Fabricación de cilindros	Diesel (*S= 1%)		X	
	Empresa Y	Fundición Férrica	GLP		X	
	Empresa Z	Fabricación de soldaduras y metales	Diesel (*S= 1%)			X
Industrias Automotriz	Empresa AA	Fabricación de base de motor para autos	Diesel (*S= 1%)		X	
Textiles y sintéticos	Empresa AB	Fabricación de prendas de vestir	Diesel (*S= 1%)	X		
	Empresa AC	Elaboración de textiles	Diesel (*S= 1%)	X		
Químicos	Empresa AD	Elaboración de productos químicos	Diesel (*S= 1%)			X

*S es el porcentaje en masa de azufre presente en los combustibles (Torrella, 2014).

2.1. Selección del método de estimación de emisiones

De acuerdo a la metodología los métodos usados para la elaboración de este inventario de emisiones fueron dos:

- Muestreo en la fuente
- Estimación de emisiones mediante factores de emisión

Para el muestreo en la fuente se empleó un equipo TESTO 350X/L y se aplica la metodología establecida en el Anexo 3 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas (Ministerio del Ambiente, 2015). Los contaminantes que se consideraron para este trabajo fueron el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno y azufre (NO_x y SO₂).

La carga contaminante se determinó en función del caudal en m³/s y las concentraciones de los contaminantes expresadas en mg/m³, siendo medida de forma puntual durante una hora. Esta será expresada en kg/h.

Para la estimación de las emisiones se emplearon los factores de emisión, que fueron extraídos del compendio AP-42 de la EPA y fueron considerados dependiendo del tipo de combustible que la empresa utilice (Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile, 2009).

La ecuación general para la obtención de las estimaciones de las emisiones atmosféricas mediante factores de emisión, sin importar el tipo de actividad es la siguiente:

$$E = fe \cdot Na \cdot \left(1 - \frac{Ea}{100}\right) \quad (1)$$

Donde:

- E= Emisión (kg/h)
- fe= Factor de emisión
- Na= Nivel de actividad diaria, semanal o mensual de la fuente estimada
- Ea= Eficiencia de abatimiento (Dirección General de Salud Ambiental de Perú, 2005).

Para la eficiencia de abatimiento, se consideró un valor de cero debido a que las empresas no disponen de sistema de control para la reducción de emisiones.

2.2. Análisis estadístico

Para determinar si existen diferencias significativas entre la carga contaminante y los diferentes tipos de combustibles se aplicó el estadígrafo de Kruskal Wallis, versión no paramétrica más acertada del análisis de varianza clásico mediante el empleo del software IBM SPSS.

La hipótesis nula considera que las muestras provienen de la misma población, no hay diferencias significativas entre ellas.

La hipótesis alternativa determina que hay diferencias significativas entre las muestras.

Para analizar las diferencias significativas se realizó la siguiente consideración:

Si el nivel de significancia basado en la distribución asintótica (Sig.)>0,05 se acepta la hipótesis nula, por lo tanto no hay diferencias entre los grupos; si (Sig.)<0,05 se rechaza la hipótesis nula, es decir hay diferencias significativas entre los grupos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 2, 3 y 4 presentan las emisiones de CO, NO_x y SO₂ en las industrias de los 14 sectores económicos evaluados, agrupadas de acuerdo a los niveles alto medio y bajo de cargas contaminante.

Según se observa en la figura 2, las mayores emisiones de dióxido de azufre (SO₂) provienen de las empresas A, J, P, U y AB siendo la empresa de elaboración de papel, cartón y otros (J) la que emite la mayor carga contaminante con un valor de 8,72kg/h. Las empresas J, P y U utilizan como combustible el bunker con un alto contenido de azufre, como ya se refirió en la tabla 1. Además, las empresas A, J y AB, presentan un

mayor número de fuente fijas de combustión (hornos, secadores, calderas, etc.) y un aumento en el ritmo productivo, lo cual implica un consumo excesivo de combustible. Las mayores emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), se registran en la empresa A con un valor igual a 3,70kg/h correspondiente a la fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados, estas concentraciones se atribuyen a que el 42% del total de fuente fijas de combustión analizadas en esta industria utilizan hornos y atomizadores los cuales trabajan a elevadas temperaturas, produciendo cantidades de NO_x térmico, mayores a las generadas por los otros rubros; seguido por las empresas J, X y AB; mientras que las mayores emisiones de monóxido de carbono (CO) se registra en la industria de muebles y carpintería, en correspondencia con la biomasa (leña) utilizada como combustible, siendo la empresa G la que reporta las mayores emisiones de este contaminante con un valor igual a 1,07kg/h (figura 2).

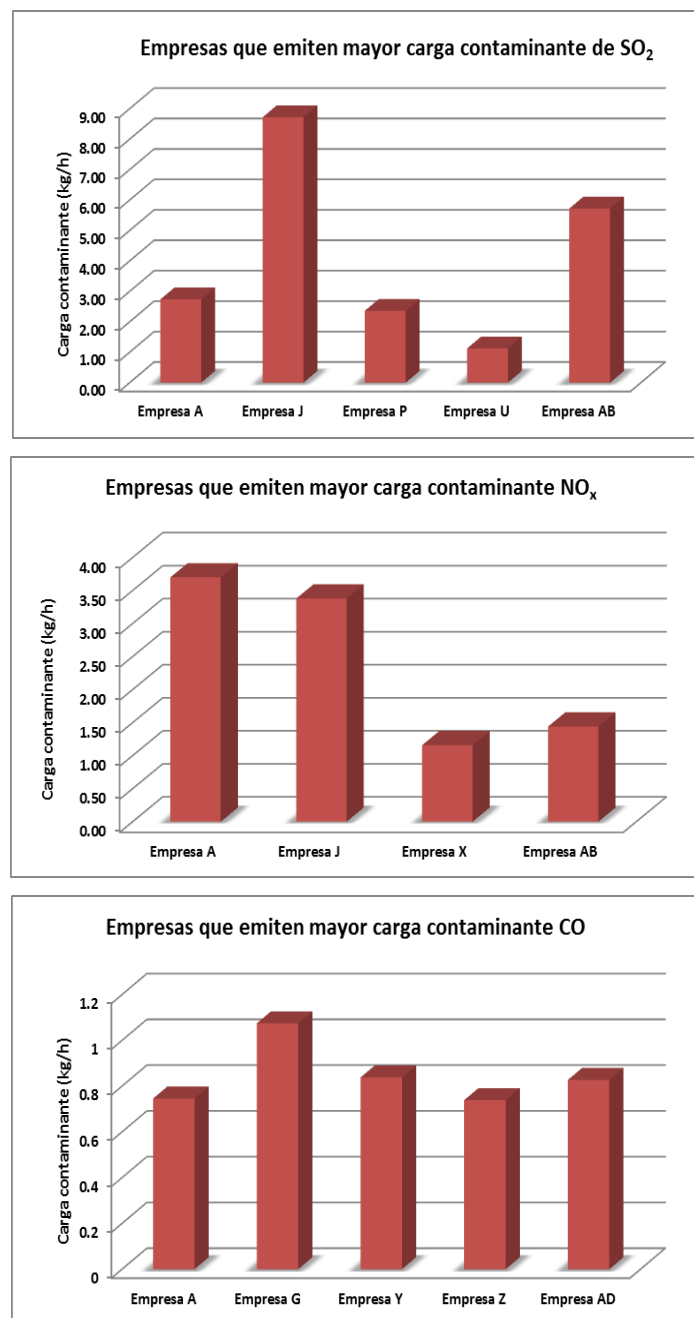


Figura 2. Empresas que emiten la mayor carga contaminante de SO_2 , NO_x y CO (kg/h)

Aunque en la figura 3 se reportan las empresas con mediano niveles de cargas contaminantes emitidas, es de señalar, que estas empresas representan el 60% del total de las fuentes objeto de estudio y de ellas las empresas W del sector Metal Mecánica, la empresa O en fabricación de velas y la empresa B de elaboración de pigmentos en el sector de Tintes y pinturas tienen estos niveles intermedios para los tres contaminantes, lo cual las señala con emisiones significativas por la sinergia del impacto de los tres contaminantes. Por otra parte, las empresas AB y J ya fueron mencionadas con emisiones elevadas de dióxido de Azufre y según se refiere en esta figura, presentan emisiones intermedias de CO lo que justifica la afirmación de que en la empresa AB la eficiencia de combustión no es buena.

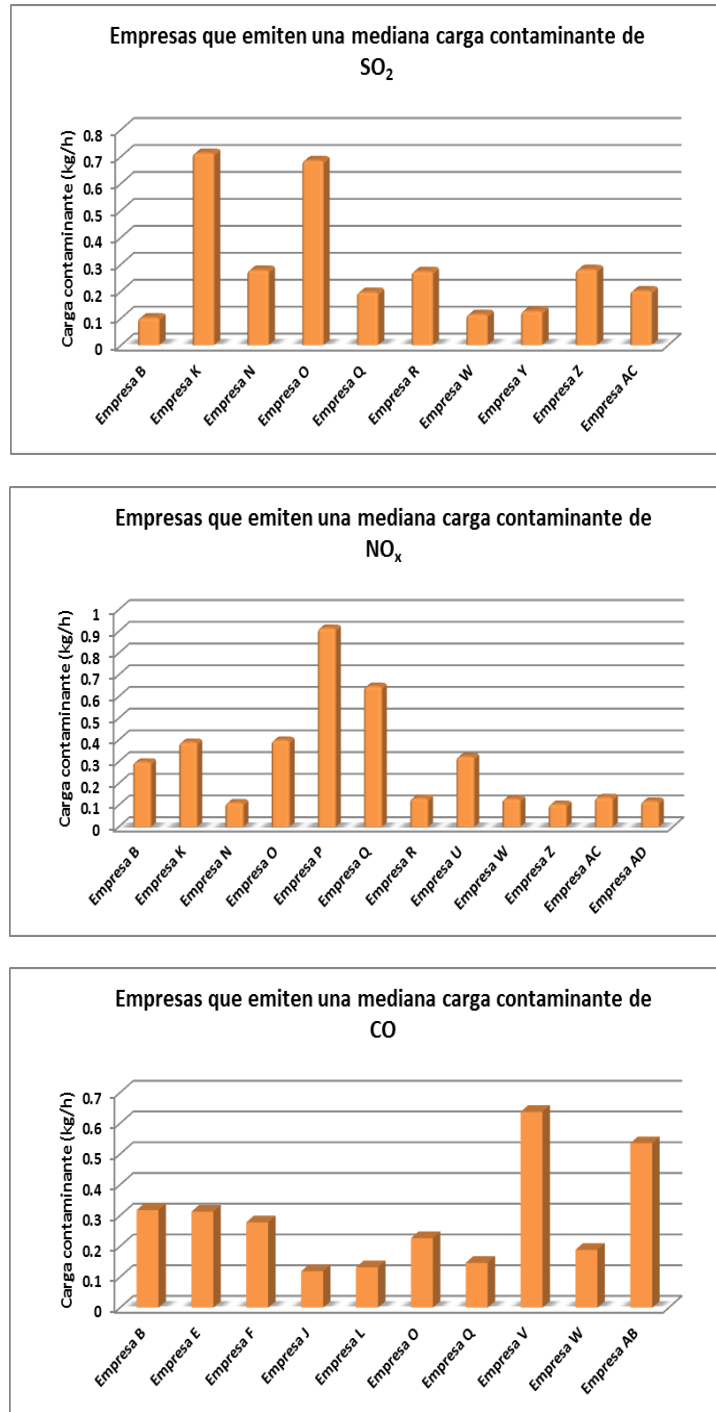


Figura 3. Empresas que emiten una mediana carga contaminante de SO₂, NO_x y CO (kg/h)

En la figura 4 se puede apreciar que la menor carga contaminante de SO_x se emite en la empresa E y para el resto de los contaminantes, es la empresa AA de la industria automotriz la de menor carga contaminante de NO_x y CO, con 0,012kg/h y 0,0031kg/h respectivamente.

Respecto a la carga contaminante media para SO₂, los valores oscilan entre 0,102kg/h y 0,712kg/h para los rubros O y B respectivamente debido al empleo de diésel como combustible. Para NO_x la carga contaminante media varía entre 0,916kg/h (empresa P) y 0,105kg/h (empresa Z) y CO con rangos entre 0,637kg/h y 0,118kg/h para las fábricas V y J respectivamente.

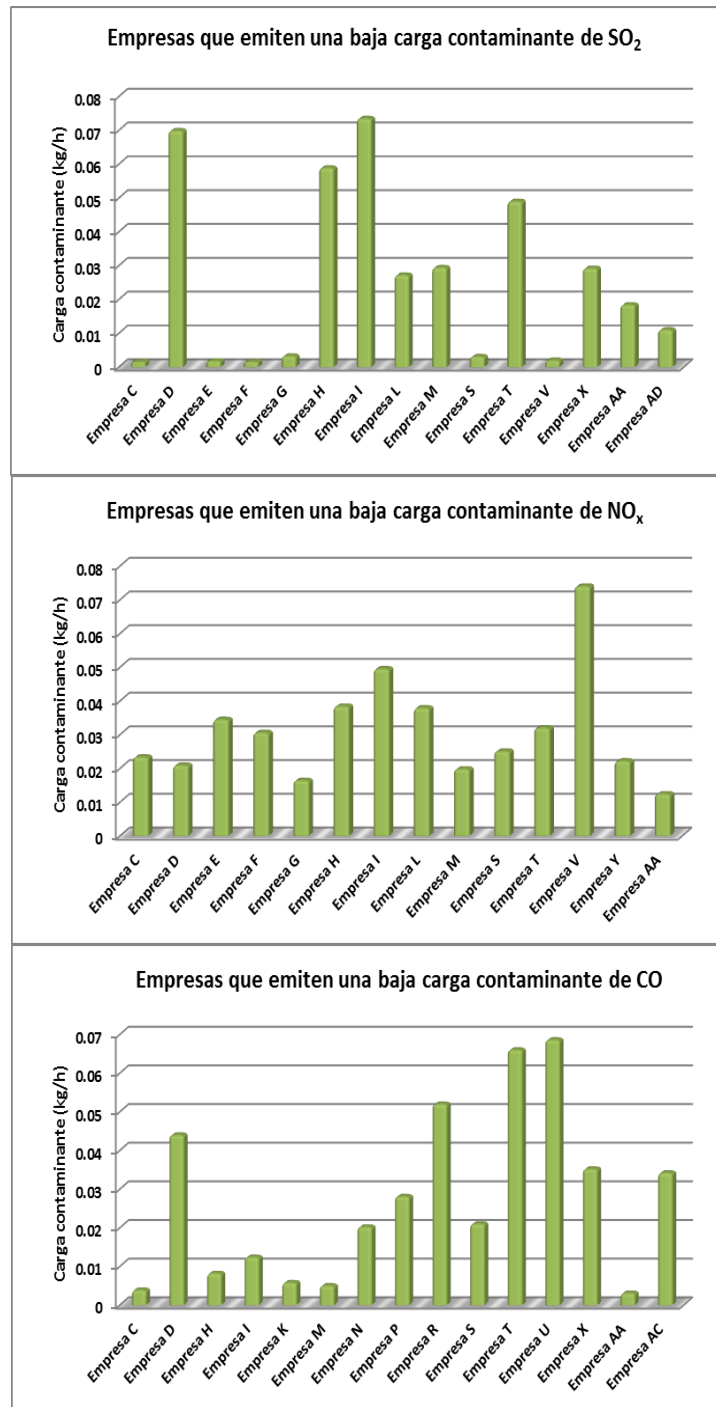


Figura 4. Empresas que emiten la menor carga contaminante de SO₂, NO_x y CO (kg/h)

La tabla 2, presenta las emisiones de CO, NO_x y SO₂ generadas por los catorce sectores estudiados, siendo el total de carga de 7,52kg/h de CO, 13,828 kg/h de NO_x y 24,01kg/h de SO₂ respectivamente. De todos los sectores, el que presenta las mayores emisiones de CO corresponde a metal mecánica con una carga contaminante de 1,80 kg/h, para el NO_x el sector de cerámicos, tubos y productos galvanizados genera la mayor emisión ascendente a 4,043 kg/h y para el caso del SO₂ el sector con mayor emisión de carga contaminante es el papel y cartón con una emisión de 8,719 kg/h.

En correspondencia con los anteriormente expuesto el sector que mayor aporta con el contaminante CO es Metalmecánica con un 39,34%, seguido por Fabricación de muebles y carpintería con un 36,37% y un 24,28% para el rubro de cerámicos, tubos y productos galvanizados. Para los otros sectores económicos los porcentajes son bajos.

Para el contaminante NO_x, los rubros que más aportan con este compuesto son: Fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados con un 33,75%, elaboración de papel, cartón y otros con un 28,21%, seguido por textiles y sintéticos con un 13,16%, lácteos con un 13,04% y finalmente metalmecánica con un 11,82%.

Elaboración de papel, cartón y otros, aporta con un 40,9% de dióxido de azufre (SO₂) siendo el sector más representativo, seguido por textiles y sintéticos con un 27,82%, Fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados 13,67%, Lácteos 12,01%, y Fabricación de llantas con un 5,50%; mientras que los rubros restantes sus porcentajes son bajos.

Tabla 2. Carga contaminante emitida desde fuentes fijas

<i>Rubros industriales</i>	<i>Carga contaminante (kg/h)</i>		
	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO₂</i>
Cerámicos, tubos y productos galvanizados	1,111	4,043	2,909
Muebles y carpintería	1,665	0,082	0,007
Pastificio y pastas	0,021	0,088	0,132
Papel, cartón y otros	0,118	3,379	8,719
Alimentos y embutidos	0,142	0,448	0,769
Pastificio y fabricación de pastas	0,020	0,112	0,279
Velas	0,226	0,400	0,685
Lácteos	0,174	1,564	2,557
Tintes y pinturas	0,073	0,158	0,277
Llantas	0,772	0,430	1,172
Metal mecánica	1,800	1,416	0,552
Industrias Automotriz	0,003	0,012	0,018
Textiles y sintéticos	0,569	1,577	5,922
Químicos	0,827	0,119	0,011

Finalmente, para analizar si existen diferencias significativas entre las cargas contaminantes generadas en los diferentes rubros y el tipo de combustible empleado se aplicó el estadígrafo de Kruskal Wallis y según los resultados estadísticos que aparecen en la tabla 3 se evidencia que existen diferencias significativas entre las cargas

contaminantes de NO_x ($p \leq 0,05$) y SO₂ ($p \leq 0,05$), no así para la cara contaminante del CO.

Tabla 3. Estadígrafo Kruskal Wallis

<i>Estadísticos de contraste</i>			
<i>Estadígrafos</i>	<i>CO</i>	<i>NOx</i>	<i>SO₂</i>
Chi-cuadrado	6,133	14,880	17,943
Grados de libertad (gl)	6	6	6
Nivel de significancia basado en la distribución asintótica (Sig.)	0,408	0,021	0,006
a. Prueba de Kruskal-Wallis			

Los resultados de este trabajo están en correspondencia con lo planteado por otros autores. Jaramillo y col., 2004 y Pimiento y col., 2013 en su investigaciones en Colombia reportan que es el SO₂ el contaminante que aporta mayores cargas a la contaminación asociadas al tipo de combustible utilizados en sus calderas, seguidas de las emisiones de NO_x y el CO, los valores reportados por ellos son similares a los aquí presentados al afirmar el primero de estos autores, que es precisamente la industria del papel y artes gráficas la que aporta las mayores emisiones de SO₂ con un 43,07%, corroborando esta tendencia con el estudio realizado en Cuenca que el porcentaje representó el 40,9 % de este contaminante. El segundo autor afirma en su estudio que el contaminante SO₂ presentó mayores emisiones con un total de 19,69kg/h, seguido por los contaminantes NO_x y CO que aportaron 8,46kg/h y 4,83kg/h respectivamente y en esta investigación los valores por contaminante están en el mismo orden, pero las cargas son algo superior, pero en una magnitud no significativa según se reporta en el análisis de la tabla 2.

Por último, (Aponte y col., 2010); (Núñez y Sarmiento, 2013); (Montoya, 2013) e (Hidalgo, 2014); concluyen que la cantidad de emisiones gaseosas que emite una industria depende del tamaño de la misma y de la actividad que realiza, pues de estas dependerá la cantidad de fuentes de combustión que tendrá. También afirman que combustibles como el coque y el bunker generan mayor cantidad de gases contaminantes que un combustible como el GLP. Estas consideraciones se corroboran en este trabajo ya que las empresas que mayor aporte tienen de los contaminantes evaluados fundamentalmente los óxidos de azufre y nitrógeno utilizan combustibles diesel y bunker. La única empresa que utiliza como combustible el GLP y que es la empresa que más aporta cargas de NO_x, sus emisiones se deben al número de fuentes de combustión que utiliza como también se afirma por estos autores en sus investigaciones.

4. CONCLUSIONES

1. El SO₂ es el contaminante con mayor generación por parte de las empresas analizadas, produciendo un total de 24,01 kg/h, siendo el rubro elaboración de papel cartón y otros el mayor aportador con 8,71 kg/h el cual emplea bunker para su combustión que en su contenido de azufre la composición es 2,5 veces superior al diesel.
2. El CO es el contaminante de menor emisión con un valor de 7,52kg/h y el sector Metalmecánica con 4 empresas es el de mayor carga contaminante con 1,80 kg/h.
3. La empresa A correspondiente al rubro fabricación de cerámica, tubos y productos galvanizados emite la mayor carga contaminante de NO_x (3,69 kg/h), lo cual se atribuye al número de fuentes de combustión.
4. Los rubros que aportan la mayor generación de carga contaminante de SO₂, NO_x y CO en el parque industrial de la ciudad, son: elaboración de papel, cartón y otros, fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados y Metalmecánica.
5. Existen diferencias significativas entre la carga contaminante de SO₂ y NO_x con los diferentes tipos de combustibles, ($p \leq 0,05$).
6. Las emisiones dependen de la cantidad de fuentes fijas que posee la industria y del ritmo de producción.

REFERENCIAS

- Aponte, C.H., Silva, J.P., y Laín, S., Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali., *El Hombre y la Máquina*, Vol. 34, No.1, 2010, pp. 106-114.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile., *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, Chile, 2009, pp. 1-144.
- Dirección General de Salud Ambiental., *Resultados del Inventario de emisiones de fuentes fijas.*, Perú, Arequipa, 2005, pp. 1-24.
- Espinoza, C., y EMOV., *Informe de la Calidad del Aire*, año 2011., Cuenca. 2012, pp. 1-49.
- Hidalgo, E.A., *Estimación de emisiones gaseosas de fuentes fijas en el sector industrial del cantón Rumiñahui.*, Tesis presentada en opción al Grado de Ingeniero Químico, en la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2014.
- Jaramillo, M., Núñez, M.E., Ocampo, W., Pérez, D., y Portilla, G., *Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo.*, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, No. 31, 2004, pp. 38-48.
- Ministerio del Ambiente., *Norma de Emisiones al Aire desde fuentes fijas.*, En *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.*, s/e, Quito, 2015, pp. 1-24.
- Montoya, C., *Inventario de Emisiones Atmosféricas del valle de Aburrá*, año base 2011., *Convenio de Asociación No. 243 de 2012*, Colombia, 2013, pp. 1-163.
- Municipalidad de Cuenca., *Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón*

- Cuenca. Determinaciones para el Uso y Ocupación del suelo urbano., Cuenca, Azuay, Ecuador, Registro Oficial 262, 13 de marzo de 2012, pp. 3-479.
- Núñez, J.A., y Sarmiento, D.S., Inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes fijas ubicadas en la vía Girón-Bucaramanga desde el puente el palenque hasta el colegio la Salle., tesis presentada en opción al Grado de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2013, pp. 1-92.
- Pimiento, T., Magaly, L., y Rangel Ortiz, S.P., Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre Palenque y Café Madrid., Tesis presentada en opción al Grado de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2013.
- Torrella, E., La Combustión., Disponible en línea: www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675360.pdf. 2014. (Revisado Noviembre 2017).
- Vega, M., Calidad del aire en América Latina vs combustibles alternativos., España, Ediciones Universidad de Salamanca, 2010, pp. 201-214.