

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE
COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA,
MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2”**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Ambiental.

AUTORES:

Avilés Flores Daniela Marisol
C.I. 0107211153

Rivera Banegas Miguel Ángel
C.I. 0106069149

DIRECTORA:

Ing. Diana Lucía Moscoso Vanegas, Msc.
C.I. 0102339454

CUENCA – ECUADOR

2018



Resumen

La contaminación del aire es un problema a escala mundial. En la ciudad de Cuenca encontramos dos importantes fuentes de contaminación: el parque automotor y el parque industrial. Esta investigación da a conocer la dispersión de los contaminantes (CO , NO_x y SO_2) en la ciudad, provenientes del sector industrial. Para ello se elaboró un inventario de emisiones actualizado, mediante revisión bibliográfica y levantamiento en la fuente, aplicando la metodología establecida en el TULSMA y el Acuerdo Ministerial 097-A. Se reportó un total de 122 industrias, y 22 de ellas son consideradas como fuentes fijas de emisión.

Se encontró que el contaminante de mayor emisión es el SO_2 con 69,5437 g/s, seguido por los NO_x con 19,6781 g/s y por último el CO con 2,9226 g/s siendo el mayor aportador el rubro de elaboración de cartón y papel para el SO_2 y NO_x y el rubro de productos industriales farmacéuticos y químicos para el CO . Se realizó la modelación de la dispersión de los contaminantes (CO , NO_x , SO) utilizando los softwares Disper 5.2 y Screen View 3 y finalmente se procedió a comparar los dos softwares con una escala cualitativa en la que se tomó en cuenta 5 aspectos: facilidad de comprensión, calidad gráfica, portabilidad, seguridad y exactitud de la información, siendo el Disper 5.2 con una valoración de 4 aceptable y Screen View 3 con 3,6 también entra en el rango aceptable.

Palabras claves: Dispersión, contaminación, software, parque industrial



Abstract

The air contamination is a global problem. In the city of Cuenca we find two important sources of contamination: The vehicle fleet and the industrial park. This investigation reveals the dispersion of pollutants (CO, NO_x and SO₂) in the city which originate from the industrial sector. For this we elaborated an inventory of realized emissions through bibliographical review and on-site survey applying the methodology established in TULSMA and in the Ministerial Agreement 097-A. A total of 122 industries were examined and 22 of those are considered fixed sources of emissions.

It found that the major contaminant was SO₂ with 69,5437 g/s, followed by NO_x with 19,6781 g/s and finally CO with 2,9226 g/s. The major contributors in the category of production of carton and paper are SO₂ and NO_x and CO in the category of the industrial pharmaceuticals and chemical products. It presented the modeling of the dispersion of the contaminants (CO, NO_x, SO₂) utilizing the software Disper 5.2 and Screen View 3 and finally we proceeded to compare those two softwares on a qualitative scale where we took into account 5 aspects: easiness of comprehension, graphic quality, portability, security and accuracy of information. Disper 5.2 achieved an evaluation of 4 which is acceptable and Screen View 3 with an evaluation of 3,6 belongs to the rank of acceptable.

Key words: dispersion, contamination, software, industrial park



Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
1. Introducción	14
2. Antecedentes	17
3. Marco teórico	22
3.1 Contaminación atmosférica.....	22
3.2 Tipos de contaminantes	23
3.3 Trazas atmosféricas.....	24
3.4 Contaminantes criterio	24
3.5 Fuentes de emisión.....	26
3.6 Factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes	27
3.7 Monitoreo y evaluación de la calidad del aire	27
3.8 Modelación.....	29
3.9 Requisitos para modelos del tipo gaussiano	30
3.10 Screen View 3 (screen3)	31
3.11 Disper 5.2.....	32
3.12 Calidad de Softwares	32
4. Metodología	34
4.1 Tipo de investigación	34
4.2 Ubicación y descripción del área del estudio.....	35
4.3 Determinación de la muestra.....	35
4.4 Recopilación de información	36
4.4.1 Información bibliográfica	36
4.4.2 Levantamiento en la fuente	36
4.4.3 Información meteorológica	37
4.5 Procesamiento de datos.....	37
4.5.1 Clasificación de empresas	37
4.5.2 Corrección de datos	38
4.6 Modelación.....	40
4.6.1 Software Disper 5.2.....	40
4.6.2 Screen View 3.....	45
4.7 Comparación de modelos	47
5. Resultados y discusión.....	48
5.1 Inventario de emisiones	48
5.2 Modelación.....	54
5.3 Comparación de Software.....	58



6. Conclusiones y recomendaciones	66
6.1 Conclusiones	66
6.2 Recomendaciones	67
Bibliografía	68
Anexos	71
Anexo 1	71
Anexo 2	75
Anexo 3	78
Anexo 4	79
Anexo 5	101

Índice de tablas

Tabla 1: Atributos del Screen View.....	31
Tabla 2: Clasificación de las empresas por rubro.	38
Tabla 3: Nivel de insolación.....	43
Tabla 4: Número de fuentes fijas por empresa.	50
Tabla 5: Inventario de emisiones según el rubro.	51
Tabla 6: Cargas contaminantes globales de las empresas.....	53
Tabla 7: Inventario global de las empresas a ser modeladas.	55
Tabla 8: Datos meteorológicos promedio (28 marzo – 7 abril 2017).....	55
Tabla 9: Resultados del software Screen View 3.....	56
Tabla 10: Resultados del software Disper 5.2	57
Tabla 11: Valoración de software	63

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema general de la metodología seguida para el estudio.....	34
Figura 2: Ubicación de la zona de estudio	35
Figura 3: Ventana principal, software Disper 5.2	41
Figura 4: Ventana propiedades de la atmósfera, Disper 5.2.....	41
Figura 5: Ventana para cálculo K, Disper 5.2	43
Figura 6: Ventana propiedades de la fuente, software Disper 5.2.....	44
Figura 7: Ventana principal, software Screen View 3.....	46
Figura 8: Ventana de parámetros meteorológicos, software Screen View 3	46
Figura 9: Porcentaje de empresas consideradas como fuentes fijas de combustión. ...	48
Figura 10: Porcentaje de las fuentes de los datos levantados	49



Figura 11: Porcentaje de levantamientos in-situ realizados	50
Figura 12: Porcentajes de fuentes modeladas.....	54
Figura 13: Visualización gráfica de resultados obtenidos (Disper 5.2)	59
Figura 14: Visualización gráfica de resultados obtenidos (Screen View 3)	59
Figura 15: Comparación de las concentraciones del CO obtenidas con ambos softwares.....	60
Figura 16: Comparación de las concentraciones del NOx obtenidas con ambos softwares.....	61
Figura 17: Comparación de las concentraciones del SO2 obtenidas con ambos softwares.....	61
Figura 18: Comparación de las concentraciones del CO obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)	62
Figura 19: Comparación de las concentraciones del NOx obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)	62
Figura 20: Comparación de las concentraciones del SO2 obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)	63



Daniela Marisol Avilés Flores, autora del trabajo de titulación “**DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 02 de Enero de 2018

Daniela Marisol Avilés Flores
C.I. 0107211153



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Daniela Marisol Avilés Flores, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “**DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2**”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 02 de Enero de 2018

Daniela Marisol Avilés Flores

C.I. 010721115



Miguel Angel Rivera Banegas, autor del trabajo de titulación “DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 02 de Enero de 2018

Miguel Angel Rivera Banegas
C.I. 0106069149



Miguel Angel Rivera Banegas, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “**DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2**”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 02 de Enero de 2018

Miguel Angel Rivera Banegas

C.I. 0106069149



Dedicatoria

A Dios por nunca abandonarme en la lucha para alcanzar esta meta, que a pesar de todo siempre ha permanecido a mi lado.

A mi madre hermosa que siempre con sus oraciones, consejos, amor y apoyo constante me han ayudado a seguir hacia arriba y adelante, usted es mi más grande bendición e inspiración de vida.

A mi padre, que ha sabido llegar con las palabras correctas en el momento oportuno y hacerme reír cuando me hacía falta.

A mis hermanas Sandra y Nathy que las amo con todo mi corazón, que siempre me han hecho reír y tomar las cosas del lado más relajado y divertido.

A mi hermano Juan por sus consejos y conversaciones que me ayudaron a ver las cosas de diferente manera, te amo ñaño.

A ti ñaño Bayron que más que hermano eres mi mejor amigo, siempre me apoyaste cuando y como lo necesite, siempre tus consejos fueron de aliento, eres mi inspiración, te amo.

Y por último a ti Miguel, significas mucho para mí, no pude haber tenido un mejor compañero, gracias por todo el apoyo constate y comprensión en todo momento, te quiero tanto.

Daniela



Dedicatoria

A mi madre, Alejandrina, que es la más grandiosa en este mundo, por su enorme apoyo y por ser la principal fuente de inspiración durante toda mi formación como profesional.

A Fernando que día a día supo brindarme su apoyo incondicional y porque siempre ha estado ahí para alentarme y no permitir que me dé por vencido ante las adversidades.

A mis hermanos Diana, Danny, Angélica y Astry, cada uno de ustedes con sus grandes cualidades han sido fuente de inspiración y sobre todo han sabido apoyarme y brindarme sabios consejos para ser una mejor persona.

A mi compañera de tesis, por su paciencia, esfuerzo y sobre todo por ser parte de esta aventura.

A todos los que supieron alentarme.

Miguel



Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios que nos ha dado la inteligencia y sabiduría necesaria durante todo este grandioso proceso y nos ha permitido culminar esta hermosa etapa de nuestras vidas.

A nuestras familias, que siempre con sus sabios y oportunos consejos nos apoyaron incondicionalmente, enseñándonos a dar todo de nosotros en todo momento hasta haber cumplido nuestros objetivos.

A nuestra directora de tesis Ing. Diana Moscoso por su constante apoyo durante el desarrollo de nuestro trabajo, al Ing. Fernando Heredia por su valioso tiempo invertido, por su apoyo y consejos para el desarrollo del presente y por ultimo a todas las personas y empresas que nos supieron brindar sus sabios consejos e hicieron posible la culminación de nuestro trabajo.

*Daniela
Miguel*



1. Introducción

La contaminación del aire es un problema mundial que afecta a países desarrollados así como a los que están en vías de desarrollo, este perjudica considerablemente al medio ambiente y sus consecuencias son percibidas por las personas, presentando problemas de salud y alterando la calidad de vida. La baja calidad del aire se considera como un importante riesgo medio ambiental para la salud, debido a los altos niveles de contaminación se produce un incremento de la morbilidad (OMS, 2016).

A nivel global, se emiten considerables cantidades de gases contaminantes y partículas que a largo plazo alteran las condiciones normales de la atmósfera deteriorando los recursos indispensables para un desarrollo sostenible (OMS, Guías para la calidad del aire, 2004).

Estudios realizados por (García y Cooman, 2006; Jachero y Moscoso, 2009; Astudillo, 2013; Abad, 2013) citado por García y Jachero (2015) han evidenciado que la calidad del aire en la ciudad de Cuenca, se ha deteriorado a lo largo del tiempo, y que actualmente presenta un riesgo toxicológico de gran importancia, tanto para los seres humanos, como para el medio ambiente.

En las zonas urbanas, la calidad del aire se ve alterada especialmente por el parque automotor y por las emisiones producidas en las zonas industriales (García y Jachero, 2015). De la misma manera, en Cuenca según la (EMOV, 2016) la principal fuente de contaminación del aire es el parque automotor, seguido por las emisiones que aportan las industrias ubicadas en la zona noroccidente de la ciudad.

Las zonas industriales representan fuentes fijas que emiten distintos tipos de contaminantes. El incremento de estas industrias está íntimamente ligado con el desarrollo económico, lo que conlleva a un excesivo uso de combustibles para la producción de energía eléctrica o térmica (Jiménez , 2011).

El principal problema que se deriva de las emisiones gaseosas es su capacidad para dispersarse a través del aire y recorrer grandes o pequeñas distancias dependiendo de factores como: la topografía del lugar, meteorología de la zona, estabilidad atmosférica, etc. Durante el proceso de transporte, los contaminantes pueden sufrir cambios en su composición pudiendo así formar contaminantes secundarios (García & Jachero, 2015).



La modelación de la calidad del aire ha logrado cumplir un papel crucial dentro de la determinación de legislaciones y normas, permitiendo conocer los valores máximos permisibles de los contaminantes emitidos por los focos emisores, con esto se contribuye a disminuir el impacto sobre el ambiente al establecer planes tanto para combatir episodios donde los niveles de contaminación son elevados, así como para establecer sistemas de alerta cuando surjan eventos extremos.

Cuando se presentan casos en el que los focos emisores son industrias, los modelos de dispersión ayudan a conocer el alcance máximo de los contaminantes y sus concentraciones, así como también permiten definir la altura de la emisión para así garantizar que las emisiones no afecten a los alrededores de donde se encuentra emplazada el área industrial (Hernández et al., 2015).

Es importante poder conocer la distancia de dispersión de contaminantes provenientes de las fuentes fijas emplazadas en el Parque Industrial, debido a la expansión de la ciudad, las residencias se encuentran cada vez más próximas a esta zona, pudiendo tener graves influencias en la salud y calidad de vida de los habitantes. El uso de modelos de dispersión de contaminantes ayuda a determinar con mayor facilidad y en menor tiempo las zonas que se ven afectadas por dicha dispersión, así como la distancia a la que las concentraciones alcanzan su valor máximo. En este estudio se utilizó los modelos de dispersión: Screen View 3 y Disper 5.2.

En la actualidad son pocos los estudios realizados en cuanto a la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes fijas en la ciudad de Cuenca y menos aún que aborden comparación entre los softwares Screen View 3 y Disper 5.2, siendo estas herramientas las que facilitan de gran manera el estudio del movimiento de los contaminantes, debido a los pocos datos de entrada que estos manejan y además que pueden llegar a proporcionar resultados para la toma de decisiones.

Por lo anterior mencionado, para este estudio se han planteado los siguientes objetivos:



Objetivo General:

- Determinar la dispersión en el aire de los contaminantes emitidos por fuentes fijas emplazadas en la zona del Parque Industrial de la ciudad de Cuenca mediante el uso de los softwares DISPER 5.2 y SCREEN VIEW 3.

Objetivos Específicos:

1. Determinar las cargas contaminantes de las industrias situadas en el Parque Industrial de la ciudad de Cuenca y realizar un inventario de emisiones actualizado.
2. Modelar la dispersión de las cargas contaminantes con el software DISPER 5.2 y SCREEN VIEW 3.
3. Comparar los resultados obtenidos con el software DISPER 5.2 y SCREEN VIEW 3.



2. Antecedentes

El parque industrial es un área para uso exclusivo del desarrollo industrial, cuenta con un espacio definido, infraestructura y área de gestión concreta. Dichas características permiten que el parque industrial pueda:

- Promover la creación de empresas nuevas e innovadoras.
- Favorecer a la creación de empleos y por ende incentivar la economía
- Ser parte del ordenamiento urbano.
- Atraer nuevas inversiones al proveer de la infraestructura necesaria (López, 2014)

El parque industrial de Cuenca fue construido bajo un marco legal el 3 de noviembre de 1973, constituida como una compañía mixta, constando como socios fundadores; el Municipio de Cuenca, el Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador (CENDES), la actual Corporación Financiera Nacional (CFN), el Centro de Reversión Económica del Azuay, Cañar y Morona Santiago (CREA), la Cámara de Industrias de Cuenca y el Consejo Provincial del Azuay (López, 2014).

Este sitio se encuentra ubicado al noreste de la ciudad, junto a las orillas del río Machángara. Actualmente cuenta con 112 actividades productivas, además de otras localidades, dentro de las cuales destacan: Asociación Empresas del Parque Industrial, Cámara de la Pequeña Industria, Centro de Exposiciones Huayna Cápac, Estación de Bomberos N°4 Jaime Maldonado Ambrosi y el Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional (SECAP).

Cremades y Rincón (2011) indican que un inventario de emisiones es “un listado actualizado y amplio de las emisiones estimadas de los contaminantes atmosféricos en un área geográfica específica y durante un intervalo de tiempo determinado”. Además se menciona que los inventarios de emisiones en conjunto con el uso de modelos de dispersión de contaminantes conforman una herramienta adecuada para evaluar la calidad del aire. A su vez, como los resultados del inventario alimentan a los modelos de dispersión de contaminantes, la incertidumbre del inventario resulta ser una medida de la calidad de lo que se obtendrá del modelo. El estudio se caracterizó por la poca disposición de las industrias a suministrar información, sin embargo se pudo estimar las tasas de emisión, los parámetros de las chimeneas y la calidad de los valores estimados.



Aguirre y Machado realizaron un estudio en el 2015 en el que se elaboró un inventario de emisiones proveniente de fuentes fijas de combustión ubicadas en el Parque Industrial de la ciudad de Cuenca. Se analizó el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). En dicho estudio encontraron 121 industrias de las cuales 32 fueron consideradas como fuentes fijas de combustión. Para una correcta elaboración del inventario las autoras mencionan la importancia de clasificar a las empresas según su actividad económica o rubro, además de la importancia de conocer los dispositivos emisores de contaminantes que se ubican en cada empresa. La metodología que se utilizó para la elaboración del inventario se basó en el empleo de factores de emisión, además se utilizaron resultados obtenidos directamente desde la fuente y base de datos de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) de la ciudad de Cuenca. En dicho estudio encontraron que el contaminante más representativo resultó ser el SO₂ mismo que en su mayoría es emitido por el rubro elaboración de cartón y papel, mientras que el contaminante de menor emisión resultó ser el CO emitido por el rubro fabricación de muebles y carpintería.

Núñez y Sarmiento (2011) estimaron las emisiones totales de NO₂, SO_x, CO y material particulado en su estudio en la ciudad de Bucaramanga. Al igual que Aguirre & Machado, (2015), en este estudio también se clasificó a las empresas según su rubro para poder elaborar el inventario de fuentes fijas y se recomendó realizar una visita de reconocimiento para identificar las distintas fuentes. De las 61 empresas analizadas 13 fueron del sector alimenticio; 11 de servicios; 10 de metal mecánicos, 8 distribuidoras, 7 de construcción, 6 textiles, 3 petroquímicas y 3 sin especificar, destacando que las 19 empresas que son consideradas distribuidoras no habrían generado ningún contaminante.

Así también Jaramillo, Núñez, Ocampo, Perez, y Portilla (2004) presentaron el resultado de la cuantificación y cualificación de contaminantes atmosféricos convencionales (COV, MP₁₀, CO, NO_x y SO_x) emitidos por fuentes antropogénicas para el año 1997 en la zona urbana de Cali-Yumbo (Colombia). Se consideró fuentes de área, puntuales y móviles. Para las fuentes puntuales se utilizó información en las declaraciones entregadas a las autoridades ambientales por 108 empresas del área. Además se utilizó el método de factores de emisión para relacionar el nivel de actividad productiva de las empresas con la emisión de contaminantes. Se encontró que las fuentes móviles son las mayores responsables de la emisión de contaminantes a la atmósfera seguidas por las emisiones de las fuentes puntuales. Los resultados



obtenidos para las fuentes puntuales indican una elevada emisión de SO_x y NO_x por parte de la industria papelera, mientras que la industria química contribuye en mayor proporción con CO. Los autores mencionan lo complejo de estimar la incertidumbre de los valores calculados en el estudio debido a que se encontró que la información proporcionada por las empresas a las autoridades ambientales es incompleta y en algunos casos inconsistente, además se menciona que al utilizar factores de emisión los resultados son menos confiables.

Hernández (2012) cita a Canepa & Bultjes (2011) al decir que la modelación de la contaminación atmosférica es un intento de describir la relación funcional entre las emisiones, las concentraciones y deposiciones producidas. En su estudio analizó el impacto de las fuentes fijas en la ciudad de Pinar del Río utilizando un modelo gaussiano de dispersión. Se simuló la dispersión de SO_2 , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} y CO emitidos por las 21 fuentes durante 15 días representativos del período lluvioso. Observándose que las máximas concentraciones se producían en horarios de la mañana y noche. También producto de estas emisiones, se vieron afectadas algunas zonas cercanas a la ciudad. Estos modelos de calidad del aire utilizan técnicas matemáticas y numéricas para simular aquellos procesos físicos y químicos que sufren los contaminantes en la atmósfera. Para esto utilizan una serie de datos de entrada como meteorológicos, del terreno, de uso del suelo y de información técnica de la fuente emisora. Así también Valdés, Fernández, Ramos, y Bautista, (2008) utilizaron el modelo de dispersión gaussiano para simular la distribución espacial de la concentración de SO_2 emitido por los complejos procesadores de gas de Petróleos Mexicanos y se encontró valores que sobrepasan la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el SO_2 .

Galván (2012) en Bucaramanga realizó un estudio de impacto ambiental atmosférico de la producción de alimentos concentrados en la ciudad de Bucaramanga, para eso trabajó con cuatro empresas como fuentes fijas de emisión y elaboró un inventario de emisiones de PST, CO, SO_2 , CO_2 . Por otra parte llevó a cabo un modelo de dispersión utilizando el software Screen View 3 para estimar las concentraciones máximas posibles en terreno simple y terreno complejo respectivamente.

Bustillos (2011) realizó el estudio sobre la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, para ello utilizó los softwares ambientales



especializados Screen View y Disper 5.2; y obtuvo un diagnóstico general del cumplimiento de los parámetros del Texto Unificado Secundario de Legislación de Medio Ambiente (TULSMA). El autor estableció los valores de la concentración por la dispersión y alcance de los contaminantes a nivel del suelo mediante simulación con Screen View y profundizó el análisis de la simulación únicamente para las empresas que reportaban emisiones significativas de contaminantes mediante el uso del software Disper 5.2. En dicho estudio se da un enfoque al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes en Ecuador, pero no se realiza una comparación entre los dos softwares utilizados.

Cabrera (2012) menciona que los modelos de dispersión atmosférica, han tenido importancia mundial para el control e implementación de redes de monitoreo o control de emisiones a nivel industrial. Define a Screen View 3 como un modelo de dispersión de tipo gaussiano, que entrega resultados de dispersión atmosférica, tales como: máxima concentración, altura de pluma, parámetros de dispersión verticales y laterales, frente a distintas posibilidades de escenarios. En su estudio se explican los distintos aspectos del modelo Screen View 3, sus posibilidades de entradas y salidas, conceptos básicos, especificación de los valores de variables y parámetros, ecuaciones y descripciones técnicas, además de la ejecución del modelo en cada uno de los diferentes escenarios que soporta el modelo de dispersión, comparando, evaluando y analizando cada uno de los resultados conseguidos. Concluye que Screen View 3, junto con otros modelos de dispersión atmosférica, también cuenta con falencias respecto a los enfoques meteorológicos, además que en zonas de menor urbanidad, como la que estudió, aún se presenta escasez de información básica lo que imposibilitó una validación exhaustiva de la herramienta de modelación.

En un estudio llevado a cabo por Moscoso, Vásquez y Astudillo (2015) se trabajó con los modelos de dispersión Disper 5.2 y WRF/Chem y se analizó la calidad de la modelación, grado de aproximación y limitantes. En este estudio se utilizó también el Sistema de Información Geográfica ArcGIS para generar los mapas a partir de los resultados obtenidos en los modelos. Disper 5.2 presentó una modelación de calidad baja debido a la baja resolución en la simulación.

García y Espinoza (2015) estudiaron mediante un modelo matemático la dispersión de los contaminantes gaseosos procedentes del Parque Industrial de Cuenca; los datos obtenidos fueron analizados mediante dos softwares, uno de modelación de



contaminación atmosférica y otro de análisis geoestadístico y generación de imágenes. Se trabajó con 34 fuentes fijas de combustión durante 18 meses con los contaminantes CO, NO_x y SO₂, encontrando que este último supera los límites permisibles establecidos por el TULSMA y la OMS.

En el estudio de Holmes & Morawska (2006) se menciona que a los modelos de dispersión no son clasificables de acuerdo a términos de mejor o peor, en vista a que algunos de ellos pueden resultar efectivos en ciertos estudios, mientras que en otros no; así mismo es posible que un modelo no se adapte a un mismo escenario con condiciones diferentes. Por lo tanto la efectividad va a depender del tipo de modelado requerido, ambiente de dominio y la naturaleza de las fuentes de emisión.



3. Marco teórico

3.1 Contaminación atmosférica

Se denomina contaminación atmosférica a la presencia de sustancias en la atmósfera, ya sean de origen natural o de actividades antrópicas, que en determinadas concentraciones y tiempo pueden traer repercusiones en la salud humana y en el medio ambiente (Ariza, Sánchez, y Franco, 2014). Las emisiones producto de las actividades antrópicas están jugando un papel cada vez más importante en los problemas actuales de contaminación atmosférica y calentamiento global, considerando que han experimentado un incremento sostenido desde la revolución industrial.

A pesar de que la contaminación atmosférica se produzca por los arrastres de gases o diferentes tipos de gases o materiales volátiles almacenados o utilizados de otras formas, la principal forma de contaminación atmosférica es la combustión que implica la oxidación de los elementos del combustible, materia prima y aire (Aránguez et al., 1999).

La contaminación atmosférica aumentó significativamente en el siglo XVIII con el comienzo de la revolución industrial, la misma que empezó a sustituir actividades como la agricultura, con esto la población migró a las ciudades y la industria comenzó a tener acogida; para la producción de energía las industrias hacían uso de combustibles fósiles como el carbón y petróleo. El principal problema de contaminación en siglo XIX fue las cenizas y humos producidos por la combustión de los combustibles fósiles de diferentes plantas de energía, que no tenían control alguno y eran emitidas directamente a la atmósfera (Astudillo, 2012).

Según la Organización Mundial de la Salud la contaminación atmosférica es un importante problema medioambiental para la salud de las personas, es por eso que al reducir los niveles de contaminación del aire se estará automáticamente disminuyendo la tasa de morbilidad ocasionada por enfermedades que afectan al sistema respiratorio como cáncer de pulmón, asma y otros.

El incremento de los niveles de contaminación atmosférica externa e interna tienen efectos asociados para la salud, particularmente el asma y otras alergias, la cual se encuentra ligada con otros factores como son los elevados gastos médicos



considerando la morbilidad cardiovascular y respiratoria tomando como referencia la emisión de gases nocivos que se encuentran en el ambiente producto de la actividad industrial (Rodríguez et al., 2010).

Barrios, Peña, y Osses (2004) señalan que la contaminación atmosférica es un problema ambiental por cuanto a la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental «aire» y su deterioro afecta notablemente la calidad de vida de las personas.

Como problema ambiental, la ciudad de Cuenca no es ajena a este fenómeno, las emisiones de gases contaminantes que se generan en el parque industrial es un problema latente. Algunos estudios (García y Jachero, 2015; Moscoso y Pacheco, 2006) demuestran una importante generación de contaminantes gaseosos (CO, NO_x, SO₂,) que se originan en las fuentes fijas de combustión de estas industrias; así como la presencia de ozono (contaminante secundario) en zonas periféricas de la ciudad (Moscoso y Pacheco, 2006).

3.2 Tipos de contaminantes

Los contaminantes del aire se clasifican generalmente en tres grupos: material particulado, contaminantes gaseosos y olores.

Material particulado: son conjunto de partículas ya sean estas sólidas y líquidas que son emitidas directamente a la atmósfera por ejemplo el hollín de diésel, polvo de agricultura, de vías y aquellas que son el resultado de diferentes procesos productivos. Entre estas partículas se encuentran; partículas totales en suspensión, PM₁₀, PM_{2.5}, partículas finas y ultrafinas. El material particulado no sedimenta en periodos cortos de tiempo si no por el contrario permanece suspendido en el aire durante un periodo de tiempo debido a sus características como la densidad y tamaño. Estas partículas llegan a ser una mezcla compleja de otros compuestos químicos como hidrocarburos, metales, sales, etc., que podrían combinarse entre sí para lograr formar otros compuestos secundarios (Arciniegas, 2013).

Contaminantes gaseosos: dentro de estos incluyen los compuestos de azufre como el dióxido y trióxido de azufre (S₂O, S₃O), monóxido de carbono (CO), compuestos de nitrógeno (NO, NO₂, NH₃), compuestos orgánicos (HC), compuestos volátiles (COVs), compuestos halogénicos (HF y HCl) y sustancias olorosas. Estos compuestos se



pueden combinar y formar a partir de estos contaminantes secundarios, ya sea por medio de reacciones químicas, térmicas o fotoquímicas (OMS, 2004).

Olores: se conoce que los olores se pueden producir a partir de agentes químicos específicos como los mercaptanos, sulfuro de hidrogeno y aquellos que son difíciles de definir químicamente (OMS, 2004).

3.3 Trazas atmosféricas

Atmósfera es una palabra que deriva de los vocablos griegos “atmos” (vapor) y “sphaira” (esfera), es decir, esta es toda la capa que envuelve a la Tierra mayoritariamente gaseosa. Está constituida en su mayoría por nitrógeno y oxígeno con un 78% y 21% respectivamente, el 1% restante está conformado por otros gases como por ejemplo argón, dióxido de carbono y además existen otras especies que debido a sus distintos estados de agregación y sus proporciones muy bajas son denominados como trazas atmosféricas.

Tanto el oxígeno como el dióxido de carbono que se encuentra en forma relativamente abundante en la atmósfera junto con las trazas son las que definen las propiedades químicas y radiactivas de la atmósfera, además esto influye de manera directa en los sistemas bióticos y abióticos pues establecen las condiciones para la vida.

El constante incremento de las trazas a nivel de la tropósfera, tanto a nivel local como regional y los efectos negativos que están causando a la población, especialmente en áreas urbanas, han llevado a los diferentes gobiernos a tomar medidas que ayuden a regular algunas de estas trazas atmosféricas (Bustos, 2004)

3.4 Contaminantes criterio

Contaminantes criterio se denomina al conjunto de trazas compuestas por el dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO) y aerosoles (Bustos, 2004).

Dióxido de azufre: Este no forma parte de los gases de efecto invernadero, pero pueden influenciar el clima. El SO₂ es precursor de la formación de los aerosoles y además tiene un efecto de enfriamiento sobre el clima, es por eso que este compuesto



debe ser considerado dentro de la modelación del clima. Las emisiones a nivel mundial del SO_2 están entre los 70 a 80 millones de toneladas por año.

Cerca del 80% de las emisiones de SO_2 provienen de la combustión de los combustibles fósiles y principalmente del carbón. La concentración de ese gas en áreas desalojadas puede llegar a valores de 0,5 ppb, en sectores urbanos llega a valores de 10 ppb y en las fuentes de emisión de las industrias, así como las erupciones volcánicas pueden llegar a tener valores tan altos como 1000 ppbv (Benavides y León, 2007).

La principal fuente de emisión de SO_2 a la atmósfera es debido a la combustión de carbón con alto contenido de azufre, este compuesto logra combinarse con el oxígeno para formar H_2SO_4 . A su vez la lluvia ácida se forma cuando la humedad del aire se mezcla con el ácido sulfúrico o nítrico que posteriormente caen al suelo en forma de precipitación provocando daños severos, tanto al suelo como a los organismos que viven en él (Daniels et al., 2007).

Óxidos de nitrógeno: representan una gran familia de gases traza que se encuentran presentes en la troposfera de la Tierra. Entre estos compuestos se encuentran; el óxido nítrico (NO), el ácido nítrico (HNO_3), los aerosoles nitrados, el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el peroxi-acetil-nitrato (PAN). A la suma entre el óxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno se le llama óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los NO_x provienen tanto de procesos antropogénicos (centrales de energía, automóviles), así como naturales (quema de biomasa, actividad microbiana en el suelo). Generalmente se distinguen dos mecanismos de formación de NO_x :

- NO_x combustible que se forma a partir del nitrógeno que está directamente relacionado con la composición del combustible.
- NO_x térmico que se forma a partir de la fijación del nitrógeno atmosférico en los procesos de combustión, depende de la temperatura de combustión.

La mayor parte de los NO_x emitidos a la atmósfera se contribuyen al NO_x combustible, pues estos representan casi un 80%, mientras que el 20% restante se atribuye a los NO_x térmicos. Para que se dé la producción de NO_x existen varios factores como el



tipo de tecnología que se utilice, el exceso de aire en las maquinarias, tipo de combustible, etc., (Benavides y León, 2007)

Monóxido de carbono: El CO se forma a partir de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono y posteriormente es oxidado a CO₂ a través de procesos naturales, la mayor parte de las emisiones del CO provienen del parque automotor, así como de los equipos de combustión. En cuanto a fuentes móviles las emisiones de CO están en función de la eficiencia de los motores, las emisiones son mayores cuando no hay suficiente oxígeno para la combustión completa, esto suele ocurrir comúnmente cuando el motor al arrancar está frío o en velocidades bajas. El CO influye en la formación de otros compuestos como el ozono troposférico y el metano. (Benavides y León, 2007)

Ozono: el ozono es un gas constituyente de la atmósfera que cuando supera sus niveles normales de concentración se vuelve un problema (Daniels et al., 2007). El ozono troposférico es el más perjudicial debido a que se presenta como el principal componente del smog fotoquímico antropogénico. En vista de que el ozono troposférico ha ido aumentando y considerando que este también se constituye como un gas de efecto invernadero, se estima que provocará un forzamiento radiactivo detrás del CO₂ y el metano. El ozono troposférico resulta de la combinación de compuestos orgánicos volátiles con óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar (Benavides y León, 2007)

3.5 Fuentes de emisión

Las fuentes de contaminación del aire provienen de las actividades humanas y se clasifican principalmente en:

- Fuentes estacionarias
- Fuentes móviles
- Fuentes de área
- Fuentes naturales

Las fuentes estacionarias, también conocidas como fuentes fijas o puntuales de contaminación, se refieren a un punto fijo del que se emiten los contaminantes criterio, además de otros que pueden llegar a ser peligrosos. Actualmente las



tecnologías van encaminadas hacia la disminución de la contaminación proveniente de este tipo de fuentes, para ello se ha incentivado el uso de energías renovables.

Las fuentes móviles incluyen los diferentes tipos de transporte, de los cuales el mayor problema son los automóviles, debido a las grandes cantidades de monóxido de carbono que emiten, además de otros gases en pequeñas cantidades; para el control de estos se ha optado por métodos como la revisión vehicular y control en el uso del tipo de combustible.

Las fuentes de área hacen referencia a una serie de fuentes dispersas que no se encuentran correctamente definidas dentro de un inventario de emisiones debido a su complejidad pero que igualmente pueden afectar de gran manera la calidad de aire.

Por último las fuentes naturales como las actividades volcánicas, la vida vegetal y animal juegan un papel crucial en la calidad del aire, pues estos pueden aportar con cantidades significativas de contaminantes como el N_2O y metano (INECC, 2014).

3.6 Factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes

El transporte y dispersión de los contaminantes se relacionan con factores complejos como: variaciones globales y locales del clima, así como las condiciones topográficas de la zona a ser estudiada (Molina & Jiménez, 2015). Además, existen otros factores como la naturaleza de las fuentes de emisión (fijas, móviles), el equipo utilizado durante el monitoreo y los fenómenos sinérgicos que pueden llegar a darse al ser emitidos los contaminantes (Cruz, Cabello, Sorinas, Varela, & Costa, 2015)

Este transporte y dispersión tienen repercusiones en la concentración de los contaminantes en el aire, la concentración a su vez está relacionada con la magnitud de las fuentes de emisión, así como de variaciones locales que aumentan la eficiencia de su dispersión, tales como: el viento, turbulencia, altitud, temperatura, humedad, etc., (OMS, 2004).

3.7 Monitoreo y evaluación de la calidad del aire

Los tres complementos necesarios para evaluar la calidad de aire son:

- Monitoreo del ambiente



- Modelos
- Inventario de emisiones

El monitoreo no solo se encarga de la recopilación de los datos de las mediciones, pues con estos se proceden a evaluar la situación actual y así proporcionar la información necesaria para que las autoridades competentes tomen las decisiones pertinentes en cada caso, para gestionar así de manera adecuada el medio ambiente (OMS, 2004).

La estimación de las emisiones de fuentes fijas se realiza mediante los siguientes métodos:

- Monitoreo sistemático de los contaminantes mediante mediciones directas.
- Evaluación de las emisiones a través de modelos matemáticos cuyo principio son ecuaciones numéricas que se rigen a procesos de combustión.
- Estimación mediante factores de emisión que se basan en información referente a los equipos utilizados para la combustión del combustible.
- Balances de masa (Cruz et al., 2015).

Los modelos de contaminación atmosférica son herramientas importantes para la interpolación, predicción y optimización de las medidas de control propuestas, pero para que se pueda dar un uso correcto de estos, se deben disponer de datos de monitoreo reales y validados. Los modelos a utilizarse van a depender de condiciones tanto de la zona de estudio, así como de la fuente de emisión.

Un inventario de emisiones para cualquier zona de estudio puede requerir de las emisiones de fuentes puntuales, de área y móviles. Estos generalmente son estimados mediante factores de emisión que dependen de cada tipo de fuente, así como también pueden ser estimados mediante mediciones *in situ*.

Estas herramientas son interdependientes por lo tanto si se requiere de una buena gestión del ambiente se deberá contar con un trabajo integral entre el monitoreo, los modelos y los inventarios de emisiones del lugar donde se va a realizar el estudio y a partir de esta información determinar los criterios de la calidad de aire (OMS, 2004).



3.8 Modelación

Durante décadas la modelación ha logrado convertirse en una herramienta vital en diversos enfoques científicos pues con esta se busca explicar o reproducir las observaciones del estudio. “La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones” (Higashi & Burns, 1991).

Durante los últimos 100 años ha existido una creciente preocupación ambiental y dentro de esta sobresale la calidad atmosférica; para esta se han desarrollado modelos encaminados a determinar el comportamiento de los contaminantes, contribuyendo con este análisis a evitar el deterioro de la atmósfera y mejorando la calidad de vida de las personas (Hernández et al., 2015). La modelación es una herramienta útil en el caso de procesos ambientales ya que es de uso habitual para estudios científicos, existen paquetes de programas diseñados para enfrentar cualquier tipo de problema que se presente en el medio ambiente, ya sea para el tratamiento de aguas residuales, residuos sólidos o para la calidad de aire.

Los modelos de dispersión tratan de resolver la ecuación de advección-difusión que es la evolución de la concentración de un contaminante en un lugar determinado y que va a depender de factores como las características de la fuente y de la zona de estudio. Por lo tanto el principal objetivo de los modelos de dispersión es calcular la distribución de los contaminantes y su posterior evolución, realizando con esto una predicción y estimación de la calidad de aire de la zona en estudio (CIEMAT, 2016).

Debido al esfuerzo de conocer las concentraciones de los contaminantes alejados del punto emisor se han desarrollado diversos modelos de dispersión para estimar la calidad de aire. Entre estos están: modelos gaussianos, urbanos, regionales y globales.

a) Modelos urbanos y regional

Estos modelos suelen estar direccionados a ser herramientas de gestión de calidad de aire, este tipo de modelos son más complejos debido a la necesidad de considerar los datos meteorológicos a escala urbana y regional, contaminantes secundarios y procesos de disposición (Bustos, 2004).



b) Modelos globales

Estos se encargan de resolver la ecuación de continuidad para toda la atmósfera, este al igual que los modelos regional y urbano crecen en complejidad de acuerdo a las variables que se vayan incorporando (Bustos, 2004).

c) Modelos gaussianos

Los modelos gaussianos son de uso común cuando se trata de problemas de contaminantes no reactivos y que provienen de fuentes fijas como chimeneas de industrias. En este modelo se supone que el penacho tiene una distribución normal o Gauss, de las concentraciones que está definida por la dirección del viento (Bustos, 2004).

Los gases que tienen características similares a las del aire pueden ser considerados como gases neutros, y para poder modelar este tipo de gases se utilizan modelos gaussianos. Cuando se utiliza este modelo, las fuerzas que influyen en las moléculas del gas permiten que se muevan a través del aire son el viento y la turbulencia atmosférica (Carrari, Aparacio, Bandoni, y Tonelli, 2004).

3.9 Requisitos para modelos del tipo gaussiano

Datos de la fuente: dentro de este tipo de información se tiene la ubicación de las fuentes fijas de emisión, así como el diámetro de la chimenea, velocidad y temperatura de salida de los gases. Existen modelos en los que se requiere datos suplementarios como datos del terreno o elevación de la fuente.

Datos meteorológicos: en los modelos gaussianos se requiere información meteorológica de la zona en la que se pretende hacer el estudio como la temperatura atmosférica y la velocidad de viento.

Datos de receptores: áreas de alta densidad poblacional o concentración máxima esperada a nivel del suelo. Los resultados obtenidos a partir del uso de este tipo de modelos por lo general son mapas que representan la concentración de contaminantes dispersos en el área por medio de gráficas de isóneas de concentraciones (Bustos, 2004).



3.10 Screen View 3 (screen3)

Screen View 3 usa el modelo Gaussiano de dispersión, este software fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para proporcionar un método sencillo que permita estimar concentraciones máximas de diferentes contaminantes a nivel del suelo en función de la distancia de la fuente emisora. Este software es recomendado por la EPA para realizar análisis inicial de emisiones (EPA, 1995). Screen View 3 requiere de factores de la fuente de emisión y datos meteorológicos para poder evaluar la concentración de contaminantes emitidos por una fuente (Bustillos, 2011).

Screen View puede modelar escenarios con terreno simple o complejo y dar resultados a distancias discretas o automatizadas. Screen View es la versión de prueba del modelo ISC3. El modelado preliminar puede eliminar la necesidad de un modelado más complicado, ahorrando tiempo y recursos (Lakes, 2016).

En la *Tabla 1* se muestran las ventajas y desventajas que presenta el software Screen View 3.

Tabla 1: Atributos del Screen View

Screen View	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
Interacción con un ordenador	No puede determinar explícitamente impactos máximos de múltiples fuentes
Interface con el usuario para obtener datos de entrada	
Realiza cálculos a corto plazo para una sola fuente	
Incluye la estimación de máxima concentración de piso y la distancia	
Incorpora efectos de flujo de caída, para las regiones cercana y lejanas	
El modelo puede incluir los efectos del terreno	
Calcula las concentraciones promedio de 24 horas	
Se puede modelar utilizando el método de integración numérica	



Puede modelar los efectos de fuentes volumétricas	
Puede calcular la concentración máxima a cualquier número de distancias especificadas por el usuario	

Fuente: (EPA, Guía del Usuario del Modelo Screen3, 2000)

Elaboración: Autores

3.11 Disper 5.2

Es un software que permite evaluar de una manera rápida y sencilla la dispersión de cualquier contaminante atmosférico como, por ejemplo: NO_x, CO, NO, sulfatos, etc. Este software genera mapas de concentración de un contaminante en planos a la altura deseada y al nivel del terreno. Disper 5.2 es un modelo que permite incluir diferentes fuentes fijas y tiene la capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante (Canarina, 2001).

3.12 Calidad de Softwares

Estayno, Dapozo, Cuenca, y Greiner (2009) señalan que la calidad del software es un concepto difícil de contextualizar, básicamente porque no es comparable con la calidad de la manufactura del producto, es decir, que para un software existen cuestiones específicas que colocan una barrera para interpretar la calidad como un producto cualquiera.

Según la Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE) Std. 610-1990, la calidad del software está definida por “el grado con el que el sistema, componente o proceso cumple los requerimientos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario” (López et al., 2008). La norma internacional que rige la evaluación de software es la ISO 9126, la cual describe siete características que deben tener los programas de computación: fiabilidad, modificabilidad, comprensible, rendimiento, utilizable, probable y portable.

García & Secades (2013) sostienen que las deficiones de calidad de la norma ISO se orientan a las facilidades que ofrece el software, una vez que este operativo, los cuales deben tener como mínimo las siguientes cualidades:



- Fiabilidad, enfocada a que opere sin errores
- Modificable, en caso de requerir hacer cambios de manera sencilla
- Comprensible, entender el software operativo, cuando se enfrente a un cambio o ajuste.
- Rendimiento, velocidad y compacidad del programa
- Utilizable, capacidad de uso sencillo del software
- Probable, construir y ejecutar fácilmente casos de prueba.
- Portable, facilidad de mover el programa de un entorno de trabajo a otro.

Según Largo y Marin (2005) existen diferentes tipos de software entre los cuales están: los financieros, administrativos, educativos y a la medida.

4. Metodología

4.1 Tipo de investigación

En este estudio se llevó a cabo una investigación exploratoria, ya que se analizaron fenómenos reales obtenidos directamente en la fuente, además de que se efectuó un acercamiento a factores que no se había estudiado a profundidad. Para el desarrollo se basó en aspectos cualitativos y cuantitativos, que permiten generalizar los resultados y compararlos con investigaciones similares.

El presente se elaboró en dos etapas: la primera, una revisión de campo para el reconocimiento y actualización de las fuentes fijas de combustión, y en la segunda se realizó el procesamiento de datos y simulación mediante los softwares especializados Disper 5.2 y Screen View 3, así como la comparación de estos.

En la *Figura 1* se presenta un esquema de la metodología aplicada al estudio.

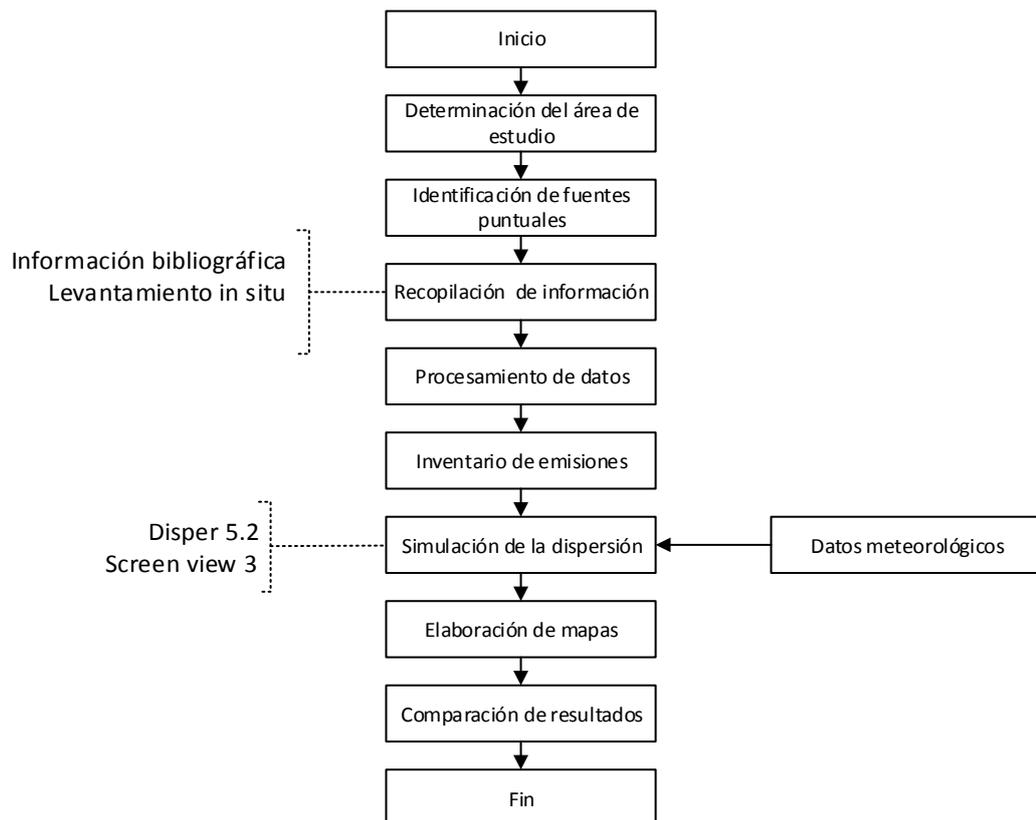


Figura 1: Esquema general de la metodología seguida para el estudio

4.2 Ubicación y descripción del área del estudio

El cantón Cuenca, se ubica en las coordenadas 2°39' a 3°00' de latitud sur y 78°54' a 79°26' de longitud oeste. El cantón comprende quince parroquias urbanas que en conjunto se les denomina ciudad de Cuenca, con un área total de 72.32 km², y una altitud de 2560 m s. n. m. aproximadamente y con una temperatura media de 15 °C (Bermeo, 2013).

El área de estudio se ubica en la parroquia El Vecino al noroeste de la ciudad y está delimitada de la siguiente manera: al noroeste por la calle Paseo Río Machángara, al este y sureste por los márgenes del Río Machángara, al sur por la Panamericana Norte y al Suroeste por la Avenida de la Américas. La ubicación exacta se muestra en la *Figura 2*.



Figura 2: Ubicación de la zona de estudio

4.3 Determinación de la muestra

En el estudio de Aguirre & Machado (2015) se estableció un total de 32 empresas como fuentes fijas de emisión, a partir de esto se actualizó el listado de empresas, y se determinó que: cinco de ellas ya no se encuentran emplazadas en el parque industrial, cuatro han cambiado sus procesos productivos razón por la cual no son consideradas como fuentes fijas de combustión y una se encuentra fuera de funcionamiento. La muestra final para el estudio fue de 22 empresas.



4.4 Recopilación de información

La información necesaria para la elaboración del inventario de emisiones y el modelamiento se obtuvo de dos maneras, mediante revisión bibliográfica y levantamiento en la fuente.

4.4.1 Información bibliográfica

Para conocer el estado actual de reportes de emisiones de gases de combustión emitidas por las distintas empresas, se consultó en la base de datos de la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca (CGA); a partir de esto se trabajó con los datos actualizados; mientras que los datos de ubicación y clasificación de las empresas por el rubro se obtuvieron en la Asociación de Empresas del Parque Industrial de Cuenca (AEPIC).

4.4.2 Levantamiento en la fuente

Para llevar a cabo los levantamientos en la fuente, previamente se envió solicitudes de ingreso a las diferentes empresas y se coordinó fechas de visita con cada una de ellas. Se realizó el levantamiento únicamente en las empresas que respondieron positivamente a la solicitud. Luego se caracterizó cada una de las fuentes fijas de combustión y se comprobó que cumplan con los requisitos técnicos mínimos establecidos en el TULSMA para poder realizar las mediciones en la fuente. En el levantamiento se recopiló información de las concentraciones de los gases de combustión (CO, NO_x, SO₂), velocidad y temperatura de salida de los gases, además información de los equipos de combustión y características de las chimeneas.

Equipo Utilizado

Para la cuantificación de los gases de combustión (CO, NO_x, SO₂), velocidad y temperatura de salida de los mismos, se utilizó un analizador de gases de combustión Testo 350 XL y una sonda Pitot facilitados por el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca.

Muestreo de gases de combustión

Para el muestreo de gases de combustión el equipo Testo 350 XL toma una muestra de gas y presenta el análisis en el tiempo especificado por los usuarios y el mismo va a variar dependiendo de las características de la chimenea, para el análisis el equipo



utiliza celdas electroquímicas que miden directamente las concentraciones del CO, NO_x y SO₂, así como la temperatura de salida de estos.

Definición de puertos y puntos de medición

Para determinar el número de puertos y puntos de medición se utilizó el Método 1: “definición de puertos de muestreo y puntos de medición”, que se establece en el TULSMA (Libro VI, Anexo 3).

Determinación de velocidad de salida de gases

La velocidad de salida de gases se obtuvo con la ayuda de la sonda Pitot y el equipo Testo 350 XL, el mismo que nos proporciona la velocidad mediante la Ecuación 1:

$$V = S * \sqrt{\frac{2 * P_d}{Rho}} \quad (1)$$

En donde, V = velocidad (m/s), S = Factor del tubo pitot (1), P_d = Presión dinámica y Rho = Densidad del gas de salida

4.4.3 Información meteorológica

La mayoría de los modelos gaussianos aceptan datos meteorológicos de superficie que consideran la clasificación de estabilidad atmosférica, dirección y velocidad del viento, la temperatura atmosférica y altura de la capa de mezcla.

En este estudio se utilizó los datos de la estación meteorológica ubicada en el SECAP, perteneciente al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca. Esta estación proporcionó datos de temperatura del aire, velocidad y dirección del viento.

El parámetro de estabilidad K de Pasquill-Gifford es utilizado en los modelos de dispersión y varía acorde a la velocidad del viento y al ángulo de insolación en el punto de muestreo. Para determinar el ángulo de insolación respectivo a cada fuente se utilizó el programa online *SunEarthTools*.

4.5 Procesamiento de datos

4.5.1 Clasificación de empresas

Por cuestiones de confidencialidad, en este estudio no se puede identificar a las empresas por su respectivo nombre, por lo que se optó por clasificarlas considerando las actividades productivas a las que se dedica cada una de ellas siguiendo lo



realizado por Aguirre y Machado (2015) y Nuñez y Sarmiento (2011); y se representó a cada empresa con una letra del alfabeto. Para la clasificación según el rubro o actividad que vemos en la *Tabla 2* se utilizó información provista por la AEPIC.

Tabla 2: Clasificación de las empresas por rubro.

Rubro	Empresas
Alimentos y embutidos	Empresa A
	Empresa B
	Empresa C
	Empresa D
Elaboración de cartón y papel	Empresa E
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa F
	Empresa G
	Empresa H
Elaboración y distribución de velas	Empresa I
Fabricación de cerámicos	Empresa J
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K
Industria automotriz y partes	Empresa L
	Empresa M
Materia prima	Empresa N
Metal mecánico	Empresa O
Partes y piezas línea blanca	Empresa P
Pegamentos y pintura	Empresa Q
	Empresa R
Producción de lácteos	Empresa S
	Empresa T
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa U
	Empresa V

4.5.2 Corrección de datos

El equipo Testo 350 XL reporta los valores de concentración de CO, NO_x y SO₂ en partes por millón (ppm); para presentar el inventario de emisiones es necesario obtener datos de flujos o cargas contaminantes (mg/s o kg/h) para cada uno de los gases.



Para esto se calcula el caudal de salida de los gases mediante la Ecuación 2:

$$Q_s = V * A \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi * De}{4} \quad (3)$$

En donde, Q_s = Caudal de salida; V = velocidad de salida de los gases y A = Area de salida.

En la Ecuación 3 tenemos que De en chimeneas circulares es igual al diámetro de las mismas, mientras que en chimeneas cuadradas y rectangulares se calcula mediante la Ecuación 4:

$$De = \frac{2 * L * B}{L + B} \quad (4)$$

En donde L = largo de la sección de la chimenea y B = ancho de la sección de la chimenea.

El caudal Q_s debe ser corregido a condiciones normales de temperatura utilizando la Ecuación 5:

$$Q_c = Q_s * \frac{273}{273 + T_s} \quad (5)$$

En donde, Q_c = Caudal de gases corregido; Q_s = Caudal de salida y T_s = Temperatura de salida de los gases.

Finalmente se aplica la Ecuación 6 para obtener la carga contaminante de cada uno de los gases de combustión:

$$C_x = Cx_{ppm} * \left(\frac{PM_x}{22,4}\right) * Q_c \quad (6)$$

En donde, C_x = Carga contaminante del gas x (mg/s); Cx_{ppm} = concentración en ppm del gas x; PM_x = Peso molecular del gas x (g/mol); 22,4 =Volumen molar del gas a condiciones normales de presión 1atm y temperatura 273,15 K. (L/mol) y Q_c = Caudal de gases corregido (Nm³/s).

De esta manera se corrige los datos obtenidos tanto en la revisión bibliográfica, como en el levantamiento *in-situ*, para así presentar el inventario de emisiones.

Para las empresas que poseen más de una fuente bajo su responsabilidad se utiliza el esquema burbuja que indica el Acuerdo Ministerial 097-A, para ello se aplica la Ecuación 7:



$$C_{global} = \frac{A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + \dots + A_i * E_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (7)$$

Donde, C_{global} =concentración de emisión global para el conjunto de fuentes fijas de combustión, A_i = factor de ponderación, que puede ser el consumo de combustible de la fuente i, o el caudal de gases de combustión de la fuente i; E_i = concentración de emisión determinada para la fuente i.

4.6 Modelación

El primer paso para la selección del modelo es la determinación de los parámetros con los que se trabajará durante el proceso de modelación, y los mismos nos ayudarán a seleccionar el modelo que más se adecue a los datos obtenidos. Una vez que se ha seleccionado el modelo es preciso especificar los valores que tomarán las variables durante la modelación de manera que estos valores reflejen de la mejor manera la situación del sistema. La ejecución del modelo consiste básicamente en la resolución de ecuaciones ya sea analítica o numéricamente y obtener resultados de la aplicación de estas ecuaciones .

En el presente estudio se emplearon los softwares Screen View 3 y Disper 5.2 para realizar el modelamiento de la dispersión de los contaminantes. Screen View 3 es un software libre acceso que se puede obtener en la página oficial de la EPA, mientras que el software Disper 5.2 requirió de una licencia para su uso, mismo que es propiedad del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca.

El periodo de tiempo es importante a la hora de elaborar los modelos. Por lo que las cargas contaminantes utilizadas en el proceso de modelado, son únicamente las que provienen de los datos levantados en el período de tiempo desde el 28 de marzo al 7 de abril del 2017.

4.6.1 Software Disper 5.2

Para empezar a trabajar con este modelo se debe cargar el mapa del área de estudio geo referenciado, así como también se especifica la escala en la imagen. A continuación se ingresan los datos de las propiedades de la atmósfera y de datos de las fuentes. En la *Figura 3* se puede observar la ventana principal del software.

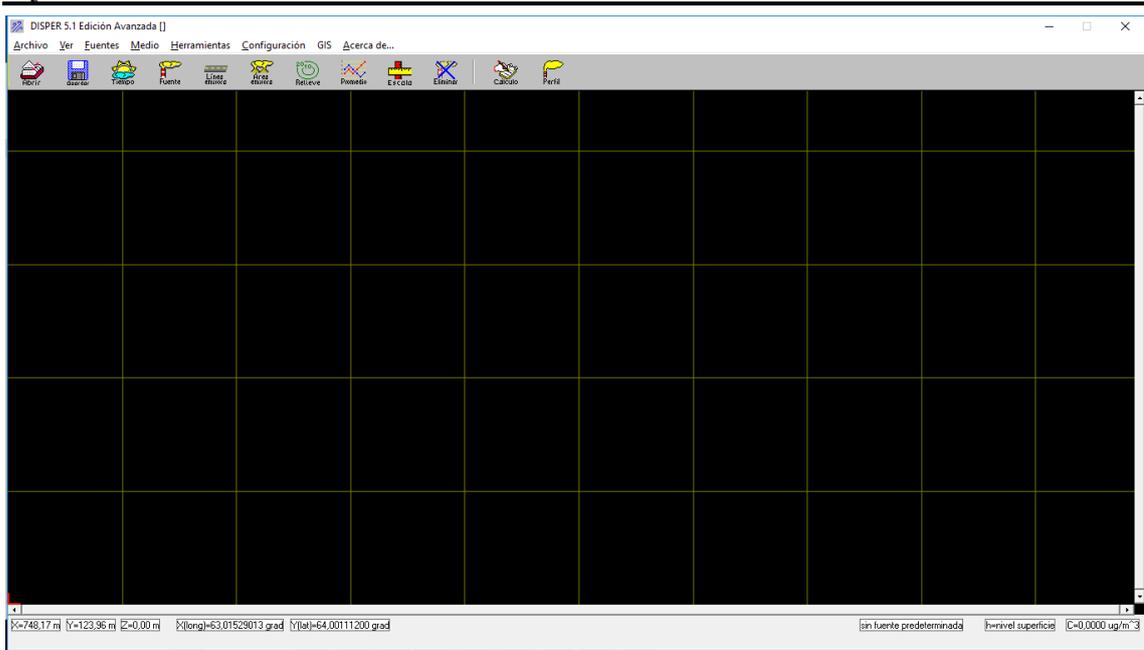


Figura 3: Ventana principal, software Disper 5.2

Datos de las propiedades de la atmósfera

La ventana que se muestra en la Figura 4 permite ingresar los parámetros referentes a la atmósfera:

Figura 4: Ventana propiedades de la atmósfera, Disper 5.2

Velocidad del viento (m/s): En esta casilla se introduce la velocidad del viento que indica el anemómetro. El programa permite registrar velocidades de viento no inferiores a un metro por segundo; si se introduce una velocidad inferior a dicho valor, el programa tomará automáticamente una velocidad de 1 m/s. En este estudio no se reportaron velocidades inferiores a 1 m/s.



Dirección del viento (°): Indica la dirección hacia la que sopla el viento. El programa toma un rango de direcciones que van desde 0° a 360°. El 0° y 360° corresponden a vientos que soplan hacia el norte. El viento proveniente del norte y que sopla en dirección sur tendría una dirección de 180°.

Temperatura del aire (K): Indica la temperatura atmosférica en grados Kelvin. La relación entre grados Kelvin y Celsius es la siguiente $T(K)=t(C)+273$ de esta manera, 273 K son 0 grados centígrados de temperatura.

Altura de la capa límite (m): Es la altura de la capa límite atmosférico, contado desde el nivel del mar en ausencia de relieves topográficos en metros y puede tener un valor variable en una simulación. Los valores empleados para el estudio pueden ser de 600m en áreas urbanas y de 250m en áreas rurales. El programa no permite una capa límite de menos de 10 m de alto. En el caso de tener relieves topográficos, la altura de la capa límite seguirá a la altura topográfica del terreno en cada punto del mismo manteniendo su valor inicial con respecto a la superficie del suelo.

Altura del anemómetro (m): En el estudio las chimeneas no disponían de anemómetro propios, por lo que se utilizó la altura del anemómetro de la estación del SECAP, con una altura desde el piso de 10 m.

Atmósfera rural o urbana: En esta opción se define la atmósfera, ya sea rural o urbana. El medio influye en el tipo de dispersión de contaminantes. Un entorno urbano presenta una temperatura y una rugosidad superficial bastante diferente del rural, lo que influye en la forma de las turbulencias y en la dispersión de contaminantes. El programa evalúa automáticamente los efectos en el cálculo de ambas opciones.

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford: Indica la estabilidad de la atmósfera. Una atmósfera muy estable proporcionará un penacho contaminante bien definido y acotado en el espacio. Una atmósfera inestable y turbulenta producirá que la nube contaminante se disperse ampliamente en el aire. El programa supone seis tipos diferentes de estabilidad atmosférica. Dichas categorías corresponden a la clasificación A-F de Pasquill (1974). Una atmósfera del tipo F (K=6) es la de máxima estabilidad. En este punto, el programa permite trabajar de dos maneras diferentes: o bien introducir directamente el valor de K proporcionado por los meteorólogos, o bien

poder estimar dicho valor a partir de parámetros más sencillos haciendo uso del botón obtención de K que aparece en la misma ventana (Canarina, 2001) .

Se trabajó con la segunda metodología, que permite estimar K como se muestra en la *Figura 5*:

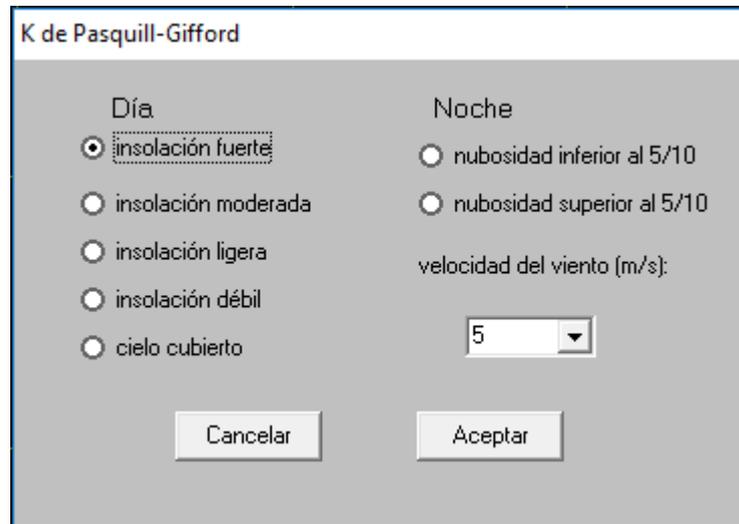


Figura 5: Ventana para cálculo K, Disper 5.2

En la ventana que se muestra en la *Figura 5* se escoge el nivel de insolación durante el día, mismo que depende del ángulo de insolación como se puede ver en la *Tabla 3*. El ángulo de insolación se obtiene con el programa online *SunEarthTools*. Durante la noche se podrá elegir entre nubosidades mayores o inferiores a 5/10, en el presente estudio se trabajó con nubosidades inferiores a 5/10.

Tabla 3: Nivel de insolación.

Nivel	Fuerte	Moderada	Ligera	Débil
α^*	$\alpha > 60$	$35 < \alpha < 60$	$\alpha < 35$	$\alpha < 15$

Datos de entrada de la Fuente Fija

Altura del emisor sobre el nivel del suelo (m): Es la altura de la boca de salida de la chimenea sobre el nivel del suelo.

Velocidad de salida del contaminante (m/s): Es la velocidad de salida del gas en el orificio de la chimenea. Se supone que el gas tiene una velocidad de salida hacia arriba.



Temperatura del gas en el punto de salida (K): Es la temperatura del gas en el orificio de salida de la chimenea.

Diámetro del orificio de salida del gas (m): Es el diámetro expresado en metros del orificio de la chimenea. El diámetro mínimo aceptado por el programa es de 0,01 m.

Flujo de salida del contaminante (g/s): Es la cantidad de materia contaminante que se emite en la unidad de tiempo por el agujero de salida de la chimenea. Dicha magnitud física se conoce como flujo. Los valores típicos del flujo dependerán del contaminante analizado. Si no se conoce el flujo de salida, el programa permite estimarlos de una manera muy sencilla en determinados casos para ello deberá pulsar el botón estimación del flujo de salida.

Coefficiente de decaimiento del contaminante (1/s): Es una magnitud que caracterizará la pérdida del contaminante cuando éste desaparece por medio de algún tipo de proceso químico. Por ejemplo, el SO_2 reacciona con la atmósfera para producir ácido sulfúrico y precipitarse mediante lluvia ácida. En el caso del SO_2 (que da lugar a la lluvia ácida) vale $0,0000481 \text{ s}^{-1}$. En este estudio se considera el caso más general, donde no hay pérdida por reacción química significativa, siendo el coeficiente igual a 0, suponiendo así una reacción nula de los contaminantes en la atmósfera (Canarina, 2001).

En la *Figura 6*, se visualiza la distribución de las propiedades de la fuente puntual en la ventana del software Disper 5.2:

Propiedades de la fuente puntual	
Altura de la chimenea desde el nivel del suelo (m):	<input type="text" value="35"/>
Flujo de salida del contaminante (g/s):	<input type="text" value="1"/>
Velocidad de salida del contaminante (m/s):	<input type="text" value="15"/>
Coefficiente de decaimiento del contaminante (1/s):	<input type="text" value="0"/>
Temperatura del gas en el punto de salida (K):	<input type="text" value="432"/>
<input type="button" value="Estimación del Flujo de salida"/>	
Diámetro del orificio de salida del gas (m):	<input type="text" value="2"/>
<input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Aceptar"/>	

Figura 6: Ventana propiedades de la fuente, software Disper 5.2



Una vez ingresados los datos de las propiedades de la atmósfera y datos de la fuente fija se da inicio al modelado. Cabe mencionar que los datos meteorológicos se ingresaran antes que los datos de la fuente.

4.6.2 Screen View 3

En la ventana principal del software se escoge el tipo de fuente (Source Type), esta puede ser punto, área, flama o volumen; el coeficiente de dispersión (Dispersion Coefficient) dependerá de la zona de estudio, misma que puede ser urbano o rural, si la densidad poblacional es mayor que 750 personas/km², se utilizará la opción urbana, de lo contrario se selecciona la opción rural. También se puede configurar la altura del receptor (Flagpole Receptor). Se trabaja con fuente puntual, coeficiente de dispersión urbano y una altura de receptor de 0 m.

Datos de entrada de la Fuente Fija

Los datos requeridos por el software para este tipo de fuente son los siguientes:

- Emission Rate (g/s): Es la tasa de emisión del contaminante a estudiar.
- Stack Height (m): Es la altura de la chimenea que se eleva desde el suelo.
- Stack Inside Diameter (m): Es el diámetro interno de la chimenea.
- Stack Gas Exit Velocity or Stack Gas Exit Flow Rate (m/s): Es la velocidad de salida de los gases de combustión en la chimenea. Además, con Screen View el usuario puede elegir entre utilizar la velocidad de salida de gases o la tasa de emisión (m³/s).
- Stack Gas Exit Temperature (K): Es la temperatura de salida de los gases de la chimenea.
- Ambient Air Temperature: Es la temperatura ambiente del aire alrededor de la fuente. Puede expresarse en (K) o (F).

En la *Figura 7* se observa la distribución de la ventana inicial del software Screen View 3:

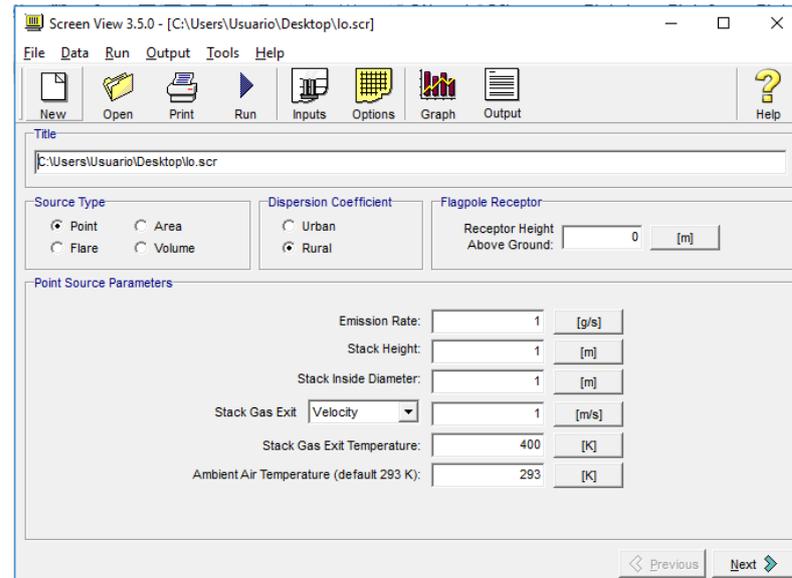


Figura 7: Ventana principal, software Screen View 3

Datos de meteorología y terreno

Screen View 3 permite variar los datos de entrada tanto para la meteorología como para el tipo de terreno. De acuerdo con el tipo de terreno con el que se vaya a trabajar, el programa solicitará determinados datos de meteorología. En este estudio se trabaja con “Simple Terrain”. La opción de terreno elevado simple se usa si el terreno se extiende por encima de la elevación de la base de la chimenea, pero es menor que la altura de la chimenea física.

Al trabajar con “Simple Terrain” se despliega la ventana mostrada en la Figura 8:

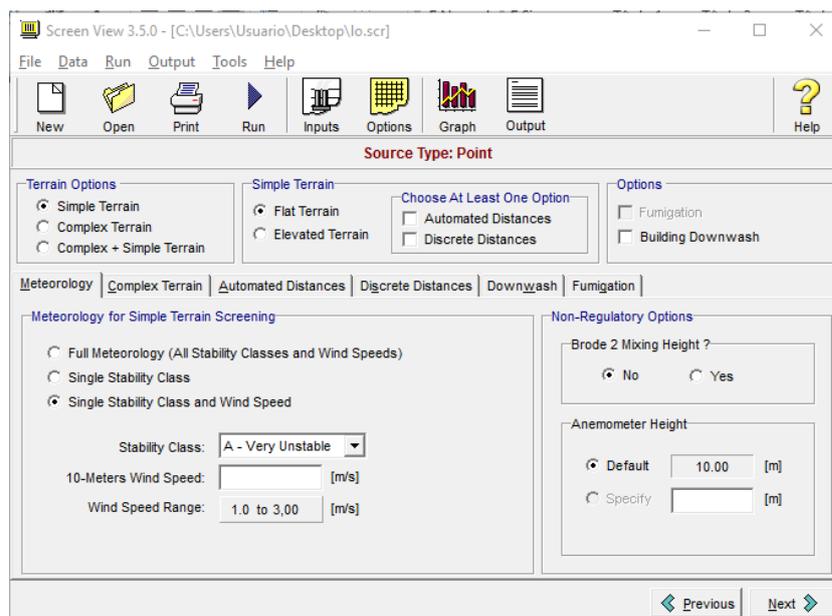


Figura 8: Ventana de parámetros meteorológicos, software Screen View 3



Para la meteorología se utiliza “Single Stability Class and Wind Speed” que permite elegir el tipo de estabilidad y la velocidad del viento. Por último, la altura del anemómetro, que en el programa se tiene como default 10 m y es la misma a la que se encuentra el anemómetro ubicado en el SECAP.

Se modeló cada empresa por separado y respectivamente para cada uno de los gases de emisión (CO, NO_x y SO₂) con datos meteorológicos por hora.

4.7 Comparación de modelos

En la presente investigación se analizó los softwares Screen View 3 y Disper 5.2 desde el contexto educativo, tomando como parámetros de valoración la facilidad de comprensión del programa, la calidad gráfica, la portabilidad, seguridad y exactitud de la información.

Para la valoración de los parámetros, se consideró una calificación cualitativa con base a los siguientes puntajes:

De 0 a 1 Inaceptable

De 2 a 3 mínimo aceptable

Más de 3 Aceptable (Largo y Marin, 2005).

5. Resultados y discusión

5.1 Inventario de emisiones

A partir de la revisión bibliográfica y el levantamiento *in-situ* se obtuvo datos cuantitativos que permitieron calcular las emisiones gaseosas y realizar el inventario.

En la zona de estudio se constató 112 industrias (Anexo 1); se pudo identificar una disminución en cuanto al número de las mismas al comparar con las 121 industrias identificadas en el estudio realizado en la misma zona por Aguirre y Machado (2015). Se determinó un total de 22 empresas a ser consideradas como fuentes fijas de combustión, representando un 20% del total de empresas emplazadas en el Parque Industrial, como se observa en la *Figura 9*.

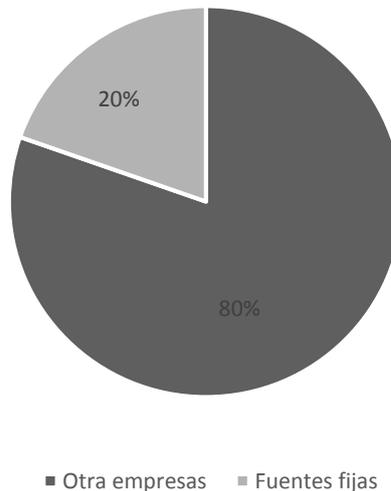


Figura 9: Porcentaje de empresas consideradas como fuentes fijas de combustión.

El origen de los datos necesarios para realizar el inventario de cargas contaminantes se distribuye de la siguiente manera: 36% (8 empresas) se obtuvieron de la base de datos de la CGA, 32% (7 empresas) mediante levantamiento directo en la fuente por parte de los autores, 18% (4 empresas) datos facilitados por las empresas, representando un total de 86% (19 empresas) de las que se disponen datos para elaborar el inventario de cargas contaminantes y un 14% (3 empresas) no se pudo obtener información. De las 3 empresas que no se dispuso de información, una pertenece al rubro de alimentos y embutidos (Empresa B), otra al rubro de industria automotriz y partes (Empresa L) y la última pertenece a materia prima (Empresa M).

En la *Figura 10* se puede observar la distribución del origen de los datos para elaborar el inventario.

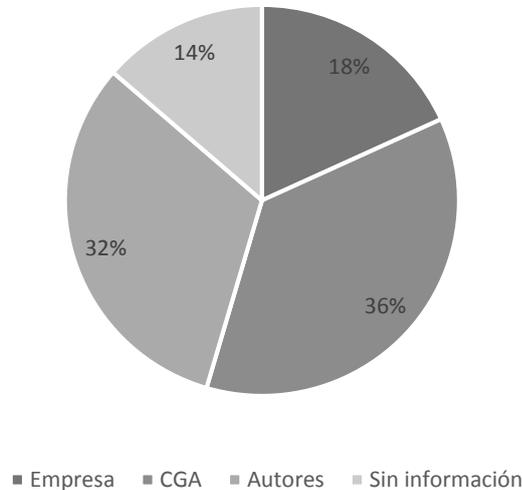


Figura 10: Porcentaje de las fuentes de los datos levantados

Al revisar la base de datos de la CGA, se pudo observar que todos los resultados de las emisiones se obtuvieron mediante levantamiento *in-situ* siguiendo los parámetros que establece el Anexo 3 del Libro VI del TULSMA y el Acuerdo Ministerial 0-97A, pero realizado por distintas empresas certificadas. Los datos proporcionados por las empresas de igual manera provienen de levantamientos *in-situ* aplicando la misma metodología indicada en el TULSMA. En un estudio previo (Aguirre y Machado, 2015) elaboraron un inventario utilizando la misma metodología, pero el 50% de sus resultados se obtuvieron a partir de factores de emisión, argumentando que Ibarra y col., 2006, Pareja y col., 2012 y Jaramillo y col., 2004; establecen que el mejor método para elaborar un inventario de emisiones es el de factores de emisión, debido a la disponibilidad de información y los recursos con los que se puede contar. Sin embargo en este estudio se elaboró el inventario con datos obtenidos totalmente en la fuente lo que da mayor precisión a los resultados, como menciona Cremades y Rincón (2011) en la jerarquía de los métodos de estimación de emisiones (MEE) que propone el CICA (1997b) y considera los costos de elaboración y la precisión del cálculo. Esa jerarquía es: pruebas *in situ*, modelos de emisión, factores de emisión, balances de masa, encuestas y extrapolación de datos.

En la *Figura 11* se puede ver el porcentaje de levantamientos realizados por los autores y por empresas certificadas. Teniendo entonces que, de las 19 empresas, el



63% (12 Empresas) de los levantamientos *in-situ* fueron realizados por empresas certificadas y el 37% (7 Empresas) por los autores.

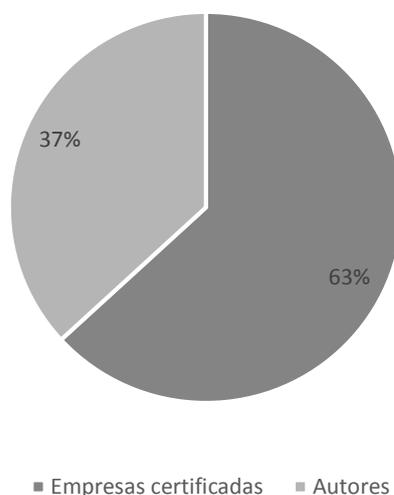


Figura 11: Porcentaje de levantamientos *in-situ* realizados

Concordando con Aguirre y Machado (2015) se identificó el número de dispositivos emplazados en cada una de las empresas y el total de ellos en el área de estudio como se puede ver en la *Tabla 3*. La mayoría de empresas presentan entre 1 y 2 dispositivos con excepción de la Empresa S que cuenta con 35. El rubro productos industriales farmacéuticos y químicos resulta ser el que más dispositivos aporta al estudio con un total de 36. En conjunto se tiene un total de 60 dispositivos distribuidos en 19 empresas para la elaboración del inventario de cargas contaminantes.

Tabla 4: Número de fuentes fijas por empresa.

Rubro	Nombre	Numero de dispositivos
Alimentos y embutidos	Empresa A	1
	Empresa C	2
	Empresa D	1
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	2
	Empresa F	2
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	1
	Empresa H	1
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	1
Fabricación de cerámicos	Empresa J	1
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	1



Metal mecánico	Empresa N	2
Partes y piezas línea blanca	Empresa O	1
Pegamentos y pintura	Empresa P	2
Producción de lácteos	Empresa Q	2
	Empresa R	1
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	35
	Empresa T	1
Textiles y sintéticos	Empresa U	2
	Empresa V	1
Total		60

Una vez obtenidos y corregidos los datos de emisiones, se estructuraron los resultados y se elaboró el inventario de cargas contaminantes del CO, NO_x y SO₂ emitidas por cada una de las fuentes. La *Tabla 5* muestra las cargas contaminantes en (g/s).

Tabla 5: Inventario de emisiones según el rubro.

Rubro	Nombre	Fuente fija de emisión	Carga contaminante (g/s)		
			CO	NO _x	SO ₂
Alimentos y embutidos	Empresa A	Caldero	0,0011	0,0681	0,1434
	Empresa C	Caldero 1	0,1620	0,0189	0,0301
		Caldero 2	0,0570	0,0493	0,0759
	Empresa D	Caldero	0,0003	0,0041	0,0073
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	Caldero 1	0,2142	13,6488	39,7253
		Caldero 2	0,6964	11,1272	48,0066
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa F	Caldero 1	0,0277	5,9238	21,7139
		Caldero 2	0,0672	5,0970	19,9177
	Empresa G	Caldero	0,0183	0,0089	0,0137
	Empresa H	Caldero	0,1769	0,0206	0,0006
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	Caldero	0,0460	0,0578	0,0037
Fabricación de cerámicos	Empresa J	Horno	0,0010	0,0068	0,0000
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	Horno 1	0,0107	0,0062	0,0004
Metal mecánico	Empresa N	Caldero	0,351	0,016	0,000
		Quemador	0,005	0,062	0,000
Partes y piezas línea blanca	Empresa O	Horno	0,464	0,001	0,070
Pegamentos y pintura	Empresa P	Caldero 1	0,003	0,114	0,427
		Caldero 2	0,048	0,019	0,032
Producción de lácteos	Empresa Q	Caldero 1	0,057	0,132	0,018
		Caldero 2	0,003	0,276	0,033
	Empresa R	Caldero	0,008	0,422	1,008
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	Atomizador 1	0,010	0,116	0,013



	Atomizador 2	5,059	0,101	0,009	
	Atomizador 3	9,181	0,194	0,000	
	Horno 1	0,100	0,110	0,000	
	Horno 2	0,276	0,230	0,000	
	Horno 3	0,075	0,184	0,000	
	Horno 4	0,044	0,114	0,000	
	Horno 5	0,092	0,096	0,000	
	Horno 6	0,162	0,140	0,000	
	Horno 7	0,173	0,224	0,000	
	Horno 8	0,481	0,121	0,007	
	Horno 9	0,433	0,145	0,000	
	Horno 10	0,037	0,189	0,000	
	Horno 11	0,083	0,075	0,000	
	Horno 12	0,231	0,082	0,000	
	Horno 13	0,243	0,273	0,000	
	Horno 14	0,185	0,394	0,000	
	Horno 15	0,339	0,639	0,000	
	Horno 16	0,173	0,206	0,000	
	Horno 17	0,315	0,646	0,000	
	Horno 18	0,268	0,527	0,000	
	Horno 19	0,159	0,145	0,000	
	Horno 20	0,000	0,010	0,015	
	Horno 21	0,000	0,008	0,008	
	Horno 22	0,379	0,389	0,000	
	Horno 23	0,000	0,008	0,012	
	Horno 24	0,000	0,005	0,000	
	Secador 1-E	0,035	0,027	0,000	
	Secador 1-S	0,000	0,000	0,000	
	Secador 2-E	0,039	0,036	0,000	
	Secador 2-S	0,000	0,000	0,000	
	Horno 25-E	0,093	0,126	0,000	
	Horno 25-S	0,002	0,000	0,000	
	Horno 26-E	0,133	0,152	0,000	
	Horno 26-S	0,001	0,000	0,000	
	Empresa T	Horno	0,240	0,034	0,003
Textiles y sintéticos	Empresa U	Caldero 1	0,586	1,010	5,390
		Caldero 2	0,092	0,222	1,045
	Empresa V	Caldero	0,279	0,040	0,106

Para representar de manera general los resultados se aplicó el esquema burbuja que se dicta en el Acuerdo Ministerial 097-A, y se obtuvieron las cargas contaminantes globales del CO, NO_x y SO₂ perteneciente a cada una de las empresas como se muestra en la *Tabla 6*.



Tabla 6: Cargas contaminantes globales de las empresas.

Rubro	Nombre	Carga contaminante (g/s)		
		CO	NO _x	SO ₂
Alimentos y embutidos	Empresa A	0,0011	0,0681	0,1434
	Empresa C	0,0662	0,0205	0,0318
	Empresa D	0,0003	0,0041	0,0073
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	0,4553	12,3880	43,8659
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa F	0,0475	5,5104	20,8158
	Empresa G	0,0183	0,0089	0,0137
	Empresa H	0,1769	0,0206	0,0006
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	0,0460	0,0578	0,0037
Fabricación de cerámicos	Empresa J	0,0010	0,0068	0,0000
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	0,0107	0,0062	0,0004
Metal mecánico	Empresa N	0,1776	0,0391	0,0000
Partes y piezas línea blanca	Empresa O	0,4636	0,0014	0,0696
Pegamentos y pintura	Empresa P	0,0257	0,0667	0,2295
Producción de lácteos	Empresa Q	0,0299	0,2038	0,0255
	Empresa R	0,0077	0,4222	1,0079
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	0,5371	0,1632	0,0018
	Empresa T	0,2397	0,0344	0,0033
Textiles y sintéticos	Empresa U	0,3391	0,6160	3,2174
	Empresa V	0,2789	0,0398	0,1060
TOTAL		2,9226	19,6781	69,5437

Se estableció que la mayor carga contaminante para el CO, proviene de la Empresa S de rubro productos industriales farmacéuticos y químicos con un valor de 0,5371 g/s, seguida por la Empresa O con 0,4636 g/s. Por el contrario, la Empresa D del rubro alimentos y embutidos presenta el valor mínimo con 0,0003 g/s. En el estudio de Aguirre y Machado (2015) identificaron como rubro de mayor emisión CO a fabricación de muebles y carpintería, mientras que actualmente ese rubro no cuenta con empresas que puedan ser consideradas como fuentes de emisión.

Para el NO_x, la Empresa E perteneciente al rubro de elaboración de cartón y papel es la que más emite con 12,388 g/s. Así mismo presenta la mayor emisión en SO₂, con 43,86 g/s. La Empresa F del rubro elaboración y rencauche de llantas se coloca en segundo lugar con flujos contaminantes de 5,51 g/s para el NO_x y 20,815 g/s para el SO₂.

El SO₂ con un valor de 69,543 g/s es el contaminante que registra las mayores emisiones en el área de estudio. Esto se refleja también en la investigación de Aguirre y Machado (2015) en el que indican que el SO₂ es el contaminante con mayor



representatividad y además señalan que el rubro de elaboración de cartón y papel es el mayor emisor de dicho contaminante, aunque en su estudio hayan se llevo a cabo la cuatificación mediante factores de emisión, los resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio mediante la metodología de levantamiento en la fuente. Así también Jaramillo et al., (2004) en su investigación encontraron al SO_2 como el principal contaminante dentro de su estudio en la zona urbana de Cali-Yumbo en Colombia, y siendo la industria del papel y artes gráficas la responsable de las mayores emisiones, seguido por la industria de minerales no metálicos.

5.2 Modelación

De los 60 dispositivos tomados para la elaboración del inventario de emisiones en este estudio, solamente se utilizaron 47 para realizar el modelado con los softwares, ya que estos provienen de los datos levantados en el período de tiempo desde el 28 de marzo al 7 de abril del 2017 y se pudo disponer de toda la información necesaria de la fuente y meteorológica, esto es de suma importancia como menciona también Cremades y Rincón (2011) en su estudio al afirmar que los modelos de dispersión de contaminantes y la correcta elaboración de un inventario de estos conforman un conjunto de herramientas adecuadas y complementarias a la hora de evaluar la calidad del aire. Los 47 dispositivos identificados se encuentran distribuidos en un total de 10 empresas y 9 rubros que representan el 78% de todas las fuentes fijas encontradas en este estudio (*Figura 12*). A partir de la *Tabla 6*, se extrajeron las empresas y las respectivas cargas contaminantes necesarias para el proceso de modelado (*Tabla 7*).

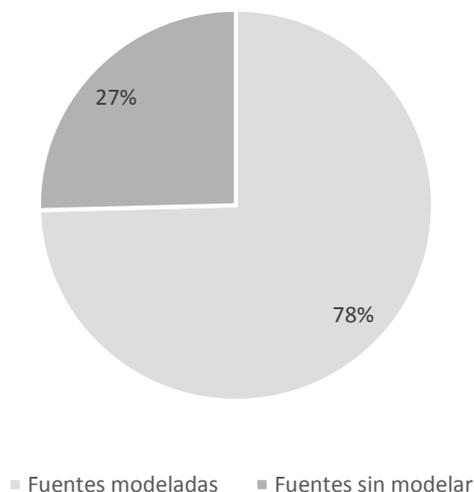


Figura 12: Porcentajes de fuentes modeladas



Tabla 7: Inventario global de las empresas a ser modeladas.

Rubro	Nombre	Carga contaminante (g/s)		
		CO	NO _x	SO ₂
Alimentos y embutidos	Empresa D	0,0003	0,0041	0,0073
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	0,4553	12,3880	43,8659
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	0,0183	0,0089	0,0137
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	0,0460	0,0578	0,0037
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	0,0107	0,0062	0,0004
Metal mecánico	Empresa N	0,1776	0,0391	0,0000
Producción de lácteos	Empresa R	0,0077	0,4222	1,0079
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	0,5371	0,1632	0,0018
	Empresa T	0,2397	0,0344	0,0033
Textiles y sintéticos	Empresa U	0,3391	0,6160	3,2174

García y Espinoza (2015) citan a Isacov y col., (2014) al mencionar que es necesario utilizar modelos que permitan una combinación espacio-tiempo, con la finalidad de alcanzar una mejor simulación, para utilizar estos modelos como lo son el Disper 5.2 y Screen View 3 es necesario presentar un resumen del registro meteorológico durante el período de monitoreo de las fuentes fijas.

Los datos meteorológicos reportados por la estación a la hora de realizar cada uno de los levantamientos se reportan en el Anexo 2.

Los datos promedio de temperatura del aire, velocidad y dirección del viento encontrados se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8: Datos meteorológicos promedio (28 marzo – 7 abril 2017).

Parámetro	Valor	Unidades
Velocidad del viento	1,46	m/s
Dirección del viento	208,77	Grados
Temperatura del aire	18,50	°C

García y Espinoza (2015) de igual manera llevaron un registro de la meteorología de la misma zona de estudio, sin embargo el periodo de análisis fue de 18 meses encontrando temperaturas promedio que oscilan entre los 13,9 °C y 16,95 °C, velocidad del viento promedio de 2,48 m/s en dirección mayormente de 45°. La diferencia en los datos meteorológicos obtenidos por los autores en comparación con



los de García y Espinoza (2015) se le atribuye al tiempo de recolección de datos y a la variabilidad climática de la ciudad a lo largo del año.

En la *Tabla 9* se presentan los resultados de concentración máxima y la distancia a la que esta se encuentra que se obtuvieron al modelar el CO, NO_x y SO₂, utilizando Screen View 3:

Tabla 9: Resultados del software Screen View 3.

Rubro	Nombre	Mayor concentración a nivel del suelo (µg/m ³)			Distancia máxima (m)
		CO	NO _x	SO ₂	
Alimentos y embutidos	Empresa D	0,308	4,202	7,482	28
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	0,648	17,730	62,430	615
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	14,050	6,853	10,520	35
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	5,634	7,079	0,453	53
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	20,010	11,590	0,748	15
Metal mecánico	Empresa N	60,300	13,260	0,000	30
Producción de lácteos	Empresa R	0,322	17,630	42,090	135
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	21,030	6,392	0,070	166
	Empresa T	51,860	7,443	0,714	44
Textiles y sintéticos	Empresa U	10,360	18,830	98,330	114

En la *Tabla 9* se muestra que la distancia a la concentración máxima en cada fuente de emisión global no varía según el tipo de contaminante. Por lo que se tiene que la concentración máxima del CO, NO_x y SO₂ se dan a una misma distancia máxima. Estas distancias van desde los 15 m hasta los 615 m. Esto también se puede apreciar en los resultados obtenidos por Bustillos (2011) al modelar la dispersión de contaminantes utilizando Screen View 3, ya que obtuvo distancias a la concentración máxima semejantes para los contaminantes.

En el caso del CO, se pudo notar que la concentración con valores más elevados, se obtuvieron al modelar la Empresa N, con una concentración de 60,3 µg/m³ a una distancia de 30 m, seguida por la Empresa T con una concentración de 51,86 µg/m³ a 44 m. La mayor distancia desde la fuente hacia la concentración máxima se obtuvo al modelar la Empresa E con una distancia de 615 m y una concentración de 0,648 µg/m³.

Para el caso del NO_x, se obtuvo el valor más elevado de concentración en la Empresa U con 18,83 µg/m³, seguida por la Empresa E con 17,73 µg/m³; a 114 m y 615 m respectivamente.



Al modelar el SO₂, la Empresa U con 98,33 µg/m³, es la que presenta un mayor valor de concentración, seguida por la Empresa E con 62,43 µg/m³; a 114 m y 615 m respectivamente.

Disper 5.2 reporta datos geo referenciados de la ubicación de la fuente, distancia a la concentración máxima, así como las concentraciones en el área de estudio. Utilizando la función de interpolación IDW en ArcGIS 10.1 se generó los respectivos mapas de dispersión (Anexo 4 literal a) para cada tipo de contaminante y para cada empresa.

Utilizando ArcGIS 10.1 se pudo determinar la distancia desde cada una de las fuentes hacia el punto donde la concentración alcanza el valor máximo determinado con Disper 5.2. La *Tabla 10* presenta los resultados encontrados con este software.

Tabla 10: Resultados del software Disper 5.2

Rubro	Nombre	Mayor concentración a nivel del suelo (ug/m3)			Distancia máxima
		CO	NO _x	SO ₂	
Alimentos y embutidos	Empresa D	0,036	0,4948	0,881	77,93
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	2,325	63,26	224,001	174,27
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	5,414	2,633	4,053	77,93
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	4,097	5,148	0,329	77,93
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	1,418	0,8922	0,053	110,21
Metal mecánico	Empresa N	11,62	2,555	0	110,21
Producción de lácteos	Empresa R	0,3017	16,543	39,493	110,21
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	17,064	5,185	0,056	155,87
	Empresa T	18,166	2,607	0,250	77,93
Textiles y sintéticos	Empresa U	14,674	26,657	139,227	110,21

De igual manera que el modelo anterior, se puede ver en la *Tabla 10* que la distancia a la concentración máxima no varía de acuerdo a los contaminantes (CO, NO_x y SO₂). Las distancias a la concentración máxima varían desde los 77,93 m hasta los 174,27 m.

Al modelar el CO, el valor más alto en concentración se obtuvo de la Empresa T con 18,166 µg/m³ y una distancia de 77,93 m, seguida por la Empresa S con una concentración de 17,064 µg/m³ a la distancia de 155,87 m.

En el caso del NO_x, la Empresa E con 63,26 µg/m³ y una distancia de 174,27 m, presenta el valor más elevado en concentración y distancia de la fuente. La Empresa



U es la que le sigue con una concentración de $26,657 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una distancia de 110,21 m.

Para el SO_2 , los valores más elevados de concentración se obtuvieron de las Empresas E y U, con $224,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $139,227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Con Disper 5.2 también se realizó el modelado ingresando todas las fuentes a la vez, teniendo como resultado un mapa de la dispersión de los contaminantes de manera global (Ver Anexo 4 literal c).

5.3 Comparación de Software

Para la comparación de los softwares se utilizó una escala cualitativa en la que se tomó en cuenta 5 aspectos: facilidad de comprensión, calidad gráfica, portabilidad, seguridad y exactitud de la información (Largo y Marin, 2005).

- **Facilidad de comprensión del programa**

Al analizar ambos softwares se observó la facilidad de manejo a través de las diferentes ventanas de accesibilidad, las mismas que permiten un sencillo ingreso e interacción con el usuario, en los dos, se puede observar un nivel facilidad de manejo muy alto. Con estos antecedentes la valoración de este factor es de 4 para Disper 5.2 y 4 para Screen View. Por lo que ambos softwares según la valoración de Largo y Marín (2005) están en el rango de mínimo aceptable.

- **Calidad gráfica**

Los dos programas utilizados tienen una buena calidad gráfica; sin embargo, Disper 5.2 tiene una calidad más alta, considerando que es un modelo que permite incluir diferentes fuentes fijas y tiene la capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, esto es un mayor aporte a la investigación comparado con Screen View.

En la *Figura 13* se muestra la calidad de la representación gráfica alcanzada utilizando el Disper 5.2 y ArcGIS 10.1 siguiendo la metodología propuesta por Astudillo et al.,(2015) en su estudio. Así mismo se puede apreciar en la *Figura 14* la calidad gráfica que se obtiene en el software Screen View, debido a que este no reporta datos

georreferenciados impide representarlos en ArcGIS 10.1. Ambas ilustraciones representan la dispersión e inmisión del SO₂ proveniente de la Empresa E.

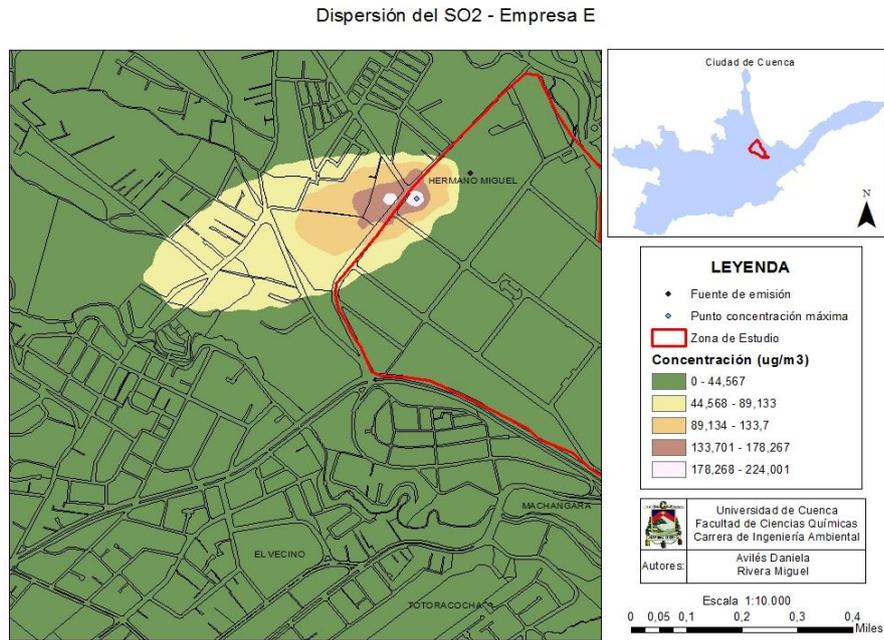


Figura 13: Visualización gráfica de resultados obtenidos (Disper 5.2)

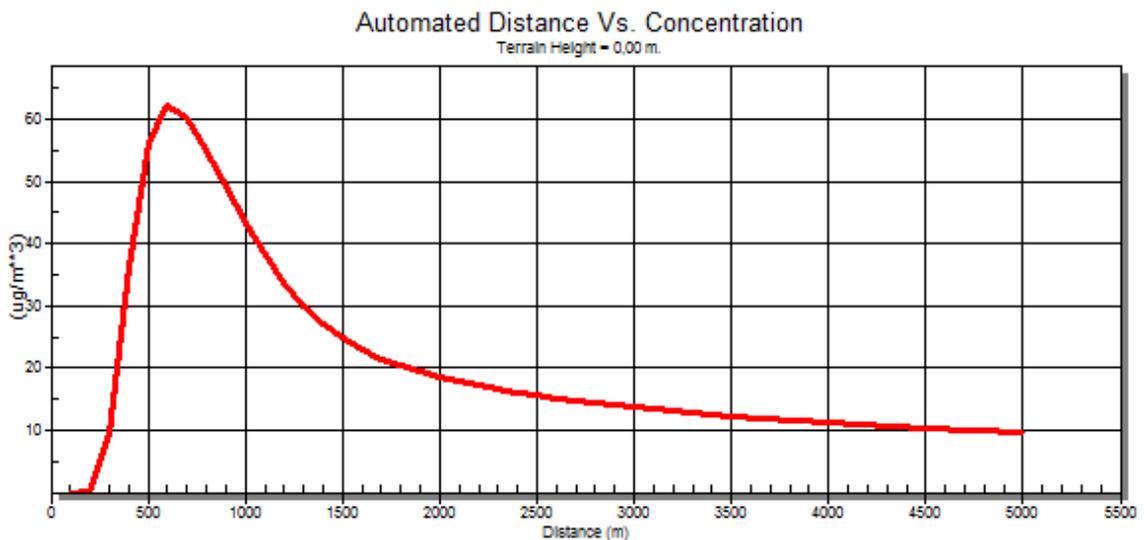


Figura 14: Visualización gráfica de resultados obtenidos (Screen View 3)

A partir de las Figuras 13 y 14 se asignó una valoración del factor de calidad gráfica de 4 (aceptable) para Disper 5.2 y 2 (mínimo aceptable) para Screen View 3. Se puede ver en el Anexo 4 literal a y b los resultados gráficos obtenidos con los dos softwares para todas las empresas según el contaminante.

- **Portabilidad**



Se puede decir que su portabilidad es alta; los dos programas informáticos pueden instalarse en plataformas antiguas o nuevas y no es una limitante para su uso. Analizando este factor su calificación es de 4 (aceptable) para Disper 5.2 y 4 (aceptable) para Screen View.

- **Seguridad**

Al ser un software de medición de contaminantes la información que se obtiene es almacenada en el dispositivo donde se utiliza, lo que permite una seguridad informática relevante y sin posibilidad de ser alterada. La valoración de este factor es de 4 (aceptable) para Disper 5.2 y 4 (aceptable) para Screen View.

- **Exactitud de la información**

Para determinar la exactitud de la información, se utilizó una correlación entre los datos las concentraciones máximas obtenidas con Screen View 3 y Disper 5.2. Se eliminó a la Empresa E en esta parte, debido al error muy pronunciado que provoca al utilizar los resultados obtenidos para esta empresa, como se puede ver en las Figuras 15, 16 y 17:

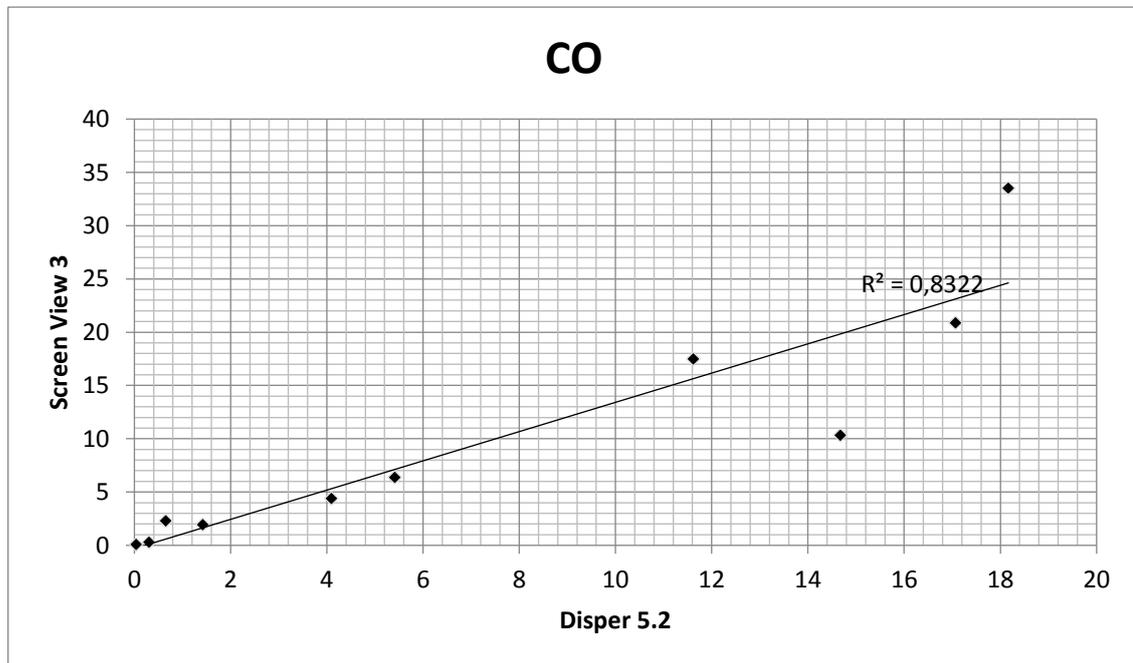


Figura 15: Comparación de las concentraciones del CO obtenidas con ambos softwares

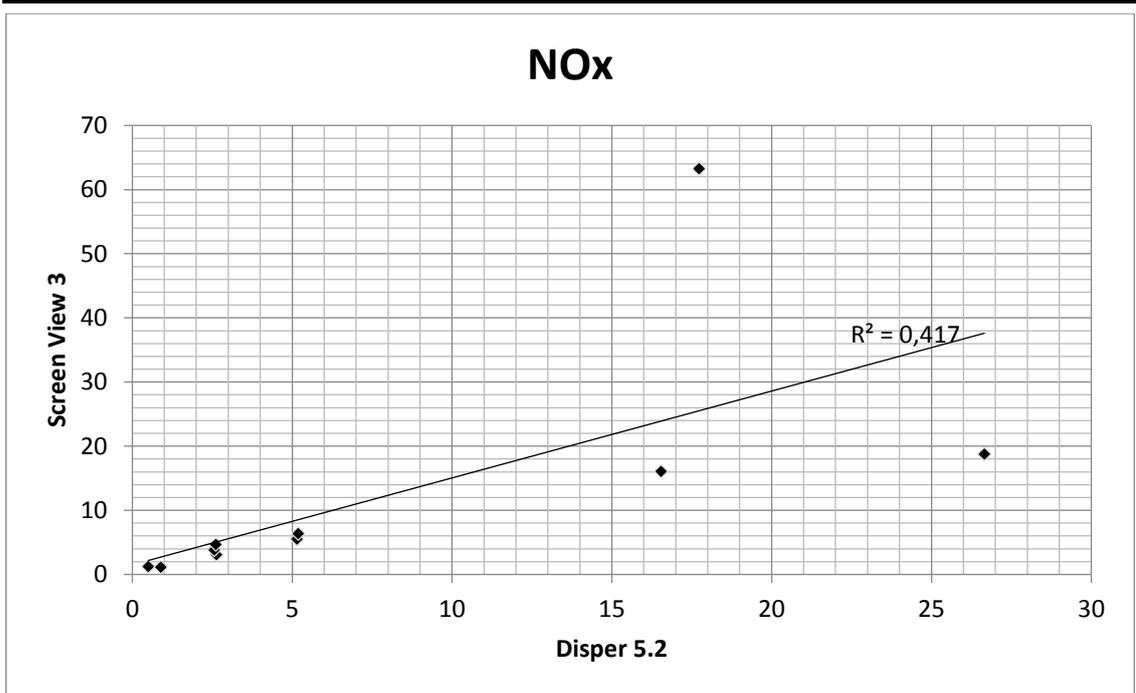


Figura 16: Comparación de las concentraciones del NOx obtenidas con ambos softwares.



Figura 17: Comparación de las concentraciones del SO2 obtenidas con ambos softwares.

A continuación, las Figuras 18, 19 y 20 muestran las correlaciones de los resultados obtenidos con ambos softwares una vez omitida la Empresa E.

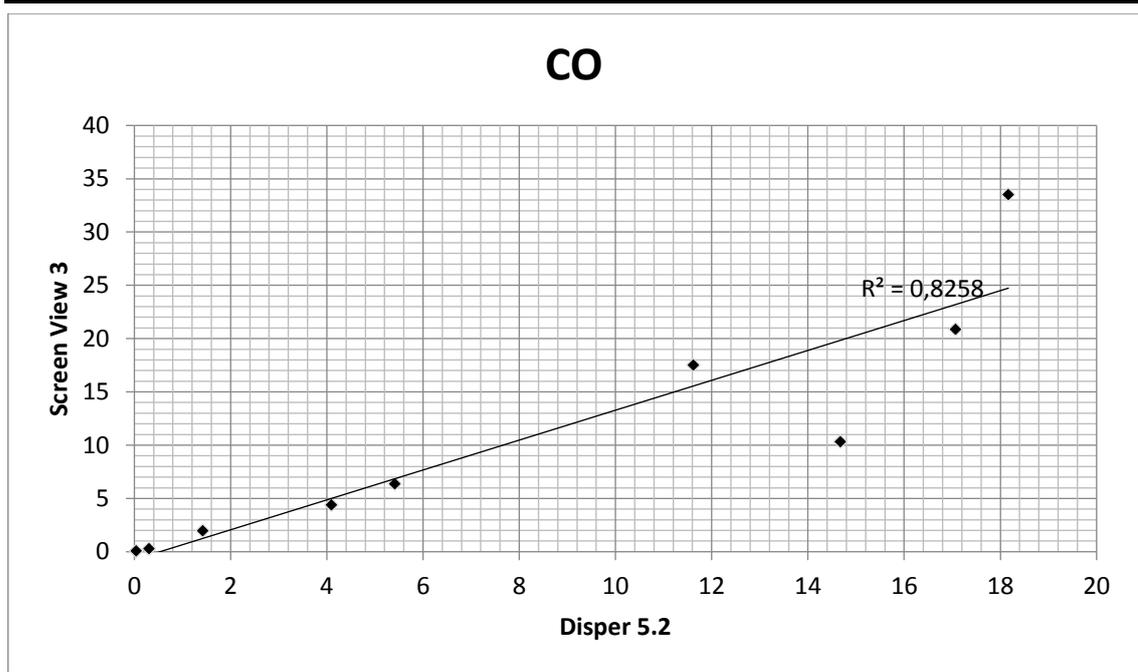


Figura 18: Comparación de las concentraciones del CO obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)

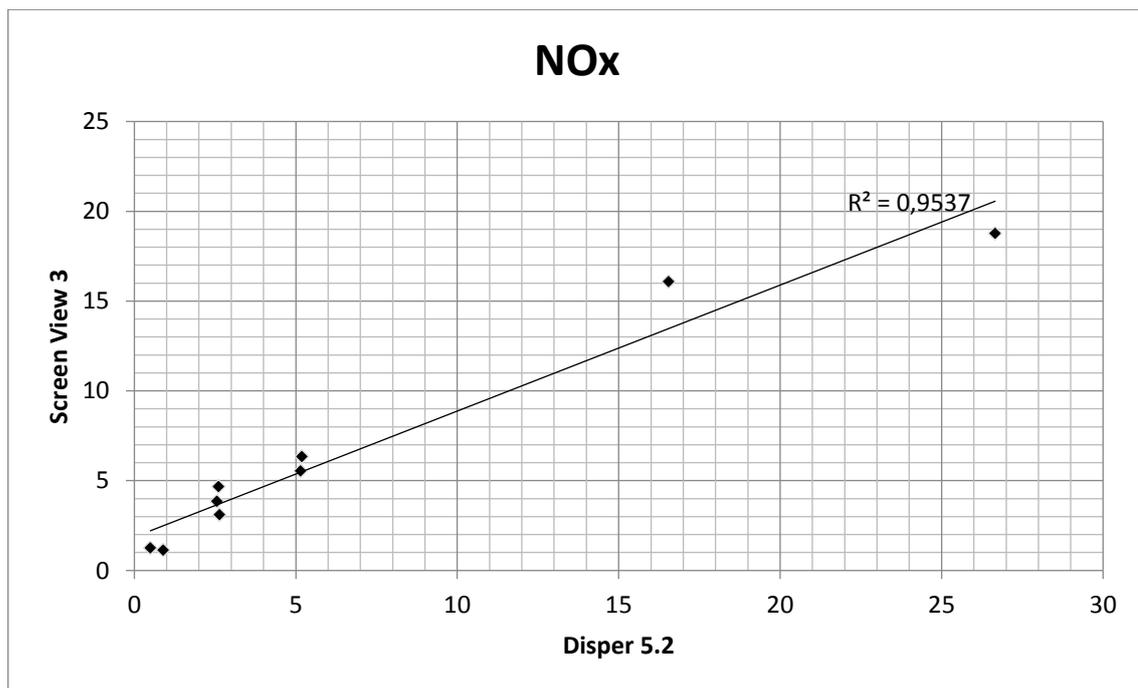


Figura 19: Comparación de las concentraciones del NOx obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)



Figura 20: Comparación de las concentraciones del SO₂ obtenidas con ambos softwares (Sin empresa E)

Mientras R^2 se aproxime más a 1, se tendrá una correlación entre los resultados obtenidos más exacta. Los rangos de clasificación para R^2 son: perfecta si $R^2 = 1$; excelente si $R^2 < 1$ y $R^2 = 0.9$; buena $R^2 < 0.9$ y $R^2 = 0.8$; regular si $R^2 < 0.8$ y $R^2 = 0.5$; y mala si $R^2 < 0.5$ (Martínez et al., 2009).

En el caso del CO la correlación es buena con un valor de 0,8258; en el NO_x y el SO₂ se obtuvo una correlación excelente con 0,9598 y 0,9893 respectivamente por lo que la exactitud de la información obtenida tanto en el Disper 5.2 y Screen View 3 es excelente con respecto a un software y otro; por lo tanto se estableció una valoración de 4 (aceptable) para Disper 5.2 y para Screen View 3 (aceptable) en cuanto a exactitud de la información.

En la Tabla 11 se muestra un resumen de las valoraciones que obtuvieron cada uno de los softwares con respecto a las variables, a más de un promedio que permiten su comparación.

Tabla 11: Valoración de software

Variables de comparación	Disper 5.2	Screen View
Facilidad de comprensión del programa	4	4
Calidad gráfica	4	2
Portabilidad	4	4
Seguridad	4	4



Exactitud de la información	4	4
TOTAL	20	18
PROMEDIO	4	3,6

Los dos softwares tienen una calidad similar tomando en cuenta las valoraciones de: facilidad de comprensión del programa, calidad gráfica, portabilidad, seguridad y exactitud de la información; existe una mayor valoración para el software Disper 5.2 ya que la misma tiene la valoración de 4 en la calidad gráfica, considerando que uno de los valores agregados del software es la salida de datos georreferenciados, compatibles básicamente con ARGIS y el software Screen View 3 tiene una valoración de 2, ya que no posee esta característica. Con ello, el software que presenta mejores características para el manejo de la dispersión de contaminantes en el presente caso de estudio es Disper 5.2 con una valoración promedio de 4 (aceptable) en comparación con el 3,6 (aceptable) del Screen View 3.

A partir de esto se respalda lo que menciona Holmes & Morawska (2006) ya que los modelos de dispersión no son clasificables de acuerdo a términos de mejor o peor, ya que ellos pueden resultar efectivos en cierto tipo de estudios, mientras que en otros no; de la misma manera puede ocurrir que un modelo no se adapte a un mismo escenario con condiciones diferentes.

Además, de los cinco aspectos mencionados por Largo y Marin (2005), se logró identificar otros que marcan diferencias significativas entre los softwares. A continuación se mencionan los encontrados por los autores:

- **Capacidad de procesamiento de datos**

En este aspecto se analiza la cantidad de fuentes que tiene la capacidad de procesar cada uno de los softwares a la vez. Al realizar el estudio se pudo identificar que el Disper 5.2 permite analizar más de una fuente a la vez, reduciendo el tiempo a la hora de modelar y permite obtener resultados generales al ingresar todas las fuentes ubicadas dentro del área de estudio. En contraste a esto el software Screen View permite modelar una sola fuente, siendo esto una limitante para cuando se requiera obtener resultados globales del área de estudio.

- **Información requerida**

Como se apreció en el estudio, hay una diferencia notoria en la información inicial requerida por cada uno de los softwares. En la metodología de este estudio se explica a detalle los datos iniciales que requiere cada uno de ellos. En el caso del Disper 5.2 el



mayor requerimiento de datos meteorológicos puede dificultar la adquisición de la información y reflejarse en un retraso a la hora de modelar. Por el contrario, el poco requerimiento por parte de Screen View agiliza el proceso de modelado y resulta más amigable cuando se requieran tomar acciones inmediatas. Pero esto a su vez puede presentar deficiencias con respecto a los enfoques meteorológicos, coincidiendo con lo que concluye Cabrera (2012) en su estudio, ya que la meteorología cumple un papel importante dentro de la modelación de la dispersión pues cualquier mínimo cambio en la misma puede llegar a alterar los resultados del modelado. En cuanto a datos de la fuente los dos softwares son semejantes a la hora de solicitar esta información por lo que no hay una diferencia notoria en ese aspecto.



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- En el presente estudio se obtuvo un inventario de emisiones actualizado de las empresas emplazadas en el Parque Industrial teniendo como resultado datos cuantitativos que representan las cargas contaminantes de CO, NO_x y SO₂. Se determinó la emisión total de cada uno de los contaminantes donde el SO₂ es el de mayor generación dentro del Parque Industrial con 69,5437 g/s siendo el mayor emisor el rubro de elaboración de cartón y papel; en cuanto al CO se encontró una emisión total de 2,9226 g/s siendo el rubro productos industriales farmacéuticos y químicos el más significativo y para los NO_x la emisión total llega a 19,6781 g/s, donde el rubro de mayor aportación es la elaboración de cartón y papel.
- Se realizó el modelado de la dispersión de las cargas contaminantes emitidas por las fuentes fijas mediante el uso de los softwares Disper 5.2 y Screen View 3, obteniendo como resultados las concentraciones máximas de los contaminantes y las distancias a las que estas se encuentran. Se modelaron un total de 47 fuentes fijas distribuidas en 9 rubros y 10 empresas.
- Se comparó los softwares tomando como parametros de valoración la facilidad de comprensión del programa, calidad gráfica, portabilidad, seguridad y exactitud de la información; concluyendo que el nivel de calidad es muy semejante, pero el software Disper 5.2 tiene una notable diferencia en el parámetro de calidad gráfica por su característica en la salida de datos georreferenciados que se pueden visualizar mediante mapas, además de que permite modelar más de una fuente a la vez, agilitando el proceso y obtención de resultados generales. La comprensión del programa su portabilidad y seguridad son atributos que poseen ambos softwares, que permiten al usuario un adecuado manejo de datos y obtención valida de resultados.
- Tras elaborar el inventario de emisiones y haber modelado la dispersión de gases de emisión, se logró representar mapas (Ver Anexo 4^a y 4c) que permitieron observar la dispersión, así como la dirección y la cantidad en que los contaminantes (CO, NO_x y SO₂) se extienden alrededor de las fuentes fijas ubicadas en el Parque Industrial.



6.2 Recomendaciones

- Socializar los datos registrados en el presente estudio a todas las empresas que han sido parte de este análisis, para la toma de acciones de mitigación en caso de ser necesario o actividades de prevención para mantener o disminuir los niveles de contaminación.
- Se exhorta a las autoridades reguladoras de los aspectos ambientales en promover campañas y talleres orientados al manejo adecuado de los equipos y maquinarias que son parte de las empresas del parque industrial de Cuenca, para que mejoren su rendimiento y con ello disminuir la emisión de gases que afecta al ambiente y la salud de las personas. Además, se recomienda llevar a cabo la elaboración de inventarios de emisiones de manera continua con el fin de establecer medidas regulatorias y facilitar su uso para futuras investigaciones.
- Es necesario que la entidad ambiental realice un inventario de emisiones del sector industrial de la ciudad de Cuenca, esto a su vez ayudará a respaldar la información del inventario de emisiones derivada de la presente investigación.
- Es importante por parte de la Universidad de Cuenca, seguir motivando este tipo de estudios con el propósito de ampliar y fortalecer las líneas de investigación base que se dejan planteadas en el presente estudio; y que sirvan de guía para los futuros profesionales.



Bibliografía

- Aguirre, J., & Machado, J. (2015). *Elaboración de un inventario de fuentes fijas de combustión establecidas en el Parque Industrial de la ciudad de Cuenca para la estimación de emisiones atmosféricas.*
- Aránguez, E., Ordoñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández, R., Gandarillas, A., & Galan, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123-132, 73 (2).
doi:<https://doi.org/10.1590/S1135-57271999000200003>
- Arciniegas, C. A. (2013). *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable* (Vol. 34). Luna Azul.
- Ariza, L. V., Sánchez, M. A., & Franco, J. F. (2014). Percepción ciudadana sobre el impacto de la contaminación atmosférica en salud y calidad de vida: estudio piloto. , 0(21), . En *Percepción ciudadana sobre el impacto de la contaminación atmosférica en salud y calidad de vida: estudio piloto.* (págs. 173–187). Épsilon. Obtenido de Ariza, L. V., Sanchez, M. A., & Franco, J. F. (2014). Percepción ciudadana sobre el impacto de la contaminación atmosférica en salud y calidad de vida: estudio piloto. Épsilon, 0(21), 173–187.
- Astudillo, M. (2012). Modelación de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca. Quito.
- Barrios, S., Peña, F., & Osses, S. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Ciencia y enfermería*, 10(2), 21-29.
- Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). *Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático.* Obtenido de Ideam:
www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climat
- Bermeo, H. V. (2013). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL - CUENCA. Cuenca.
- Bustillos, A. A. (2011). *Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados disper versión 5.2 y screen view.* Ambato.
- Bustos, C. (2004). APLICACIÓN DE MODELOS DEDISPERSIÓN ATMOSFÉRICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: ANÁLISIS DEL PROCESO. Santiago, Chile.
- Cabrera, J. A. (2012). APLICACIÓN DE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Canarina, S. (2001). *DISPER 5.2 contaminación atmosférica ambiental.* Obtenido de Canarina: <http://www.canarina.com/dispersoftwareespanol.pdf>
- Canepa, E., & Bultjes, P. J. H. (2001). Methodology of model testing and application to dispersion simulation above complex terrain. *International journal of environment and pollution.*
- Carrari, C. L., Aparacio, L. V., Bandoni, J. A., & Tonelli, S. M. (Noviembre de 2004). Utilización De Modelos De Dispersión Atmosférica. 1743–1759.
- CIEMAT. (2016). *Modelización de la contaminación atmosférica.* Obtenido de CIEMAT: <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do?IDM=123&NM=3>
- Cremades, L. V., & Rincón, G. (2011). Valoración cualitativa de la calidad de un inventario de emisiones industriales para el modelado de dispersión de contaminantes en la costa nororiental de Venezuela. *Interciencia*, 36(2).



- Cruz, I., Cabello, J., Sorinas, L., Varela, A., & Costa, I. (2015). Organización Del Trabajo Y La Producción. En *Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos* (págs. 2–16). XXXVI.
- Daniels, F., López, E. M., Quinchía, R., Morales, O. C., Romero, A., Marín, A. M., & Arbeláez, M. P. (2007). Contaminación atmosférica. Medellín.
- EMOV. (2016). Informe de la Calidad del Aire en Cuenca 2015. Cuenca.
- EPA. (1995). SCREEN3 Model User's Guide. North Carolina, U.S .
- EPA. (2000). *Guía del Usuario del Modelo Screen3*. Carolina del Norte.
- Estayno, M. G., Dapozo, G. N., Cuenca, L. R., & Greiner, C. L. (2009). Modelos y Métricas para evaluar Calidad de Software. *n XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- Galván, M. (2012). Estudio de impacto ambiental debido a las emisiones atmosféricas de la producción de alimentos concentrados para animales en la zona metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- García, N., & Espinoza, C. (2015). Dispersión de los contaminantes gaseosos generados en el sector productivo de Cuenca-Ecuador. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 15-28.
- García, N., & Jachero, L. (2015). *Caracterización de las emisiones al aire del sector productivo de Cuenca Ecuador*. Obtenido de Statewide Agricultural Land Use Baseline: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García, O. A., & Secades, V. A. (2013). Big Data & Learning Analytics: A Potential Way to Optimize eLearning Technological Tools. *International Association for Development of the Information Society*.
- Gonzales, L. E. (2016). Evaluación e interpretación de la calidad del aire por gases de combustión (SO₂ y CO) en el sector Cercado y Los Jardines, Tarapoto–San Martín 2015 . *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2(1).
- Hernández, A., Jauregui, U., Souto, J. A., Casares, J. J., Saavedra , S., Guzmán, F., & Torres, A. (2015). Revista de Posgrado. *Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones*. UCE Ciencia.
- Hernández, M. F. (2012). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de Pinar del Río. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(1).
- Higashi, M., & Burns, T. P. (1991). Enrichment of ecosystem theory. *Theoretical Studies of Ecosystems. The network perspective*. London: Cambridge University Press.
- Holmes, N. S., & Morawska, L. (2006). A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. *ELSEVIER*.
- INECC. (2014). *Fuentes de contaminación del aire*. Obtenido de <http://www.inecc.gob.mx/calair-info/informacion-basica/537-calair-fuentes>
- Isakov, V. A. (27 de Agosto de 2014). *Air quality modeling in support of the near-road exposures and effects of urban air pollutants study (NEXUS)*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25166917>
- Jaramillo, M., Nuñez, M. E., Ocampo, W., Perez, D., & Portilla, G. (2004). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 31.
- Jiménez , A. X. (2011). *Caracterización de la calidad del aire en el sector industrial y propuesta de herramientas de medida*. Universidad Politécnica de Catalunya.



- Lakes, E. (noviembre de 2016). <https://www.weblakes.com/products/Screen/index.html>. Obtenido de Lakes Environmental.
- Largo, C. A., & Marin, E. (2005). *Guía Técnica para la Evaluación de Software*.
- López, A. N., Cabrera, C., & Valencia, L. E. (2008). Introducción a la calidad de software. *Scientia et Technica*, 14(39).
- López, M. F. (2014). Explotación del gas natural en el sector fabril del Parque Industrial de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Martinez, M., Tuya, L., Martinez, O., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACIÓN. *Haban Cienc Medic*.
- Merino Pozo, R. A. (2014). Artículo Científico-Evaluación de las dispersión de los contaminantes atmosféricos CO, SO₂ y NO_x producto del desarrollo de actividades industriales del cantón Rumiñahui provincia de Pichincha.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. Quito.
- Molina, M. C., & Jiménez, J. D. (2015). *Desarrollo de la metodología para la recolección y valoración de concentraciones de SO₂ del aire ambiente en el parque industrial y las zonas de mayor tráfico de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de Molina Arízaga, M. C., & Jiménez Bravo, J. D. (2015). *Desarrollo de la metodología para la recolección y valoración de concentraciones de SO₂ del aire ambiente en el parque industrial y las zonas de mayor tráfico de la ciudad de Cuenca*. Universidad Polité
- Moscoso, D. L., Vásquez, V. E., & Astudillo, A. L. (2015). Modelamiento de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Scielo*, 188-197.
- Moscoso, D., & Pacheco, B. (2006). Monitoreo pasivo de la calidad de aire de Cuenca. *Contaminación del aire*.
- Núñez, J. A., & Sarmiento, D. S. (2011). *Inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes fijas ubicadas en la vía Girón-Bucaramanga desde el puente el palenque hasta el Colegio la salle*. Bucaramanga.
- OMS. (2004). Obtenido de Guías para la calidad del aire: <https://doi.org/OPS/CEPIS/PUB/04.110>
- OMS. (septiembre de 2016). Recuperado el 25 de agosto de 2017
- Rodríguez, L. A., Rey, J. J., Berena, A., Castro, H., Niederbacher, J., Vera, L. M., . . . Bolívar, F. (2010). Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga. *Colombia. Biomédica*, 30(1).
- SunEarthTool.com Outils pour les consommateurs et les concepteurs de l'énergie solaire*. (20 de Junio de 2017). Obtenido de SunEarthTool.com: <https://www.sunearthtools.com>
- Valdés, A., Fernández, G., Ramos, S., & Bautista, R. G. (2008). Simulación de la concentración de SO₂ emitido por fuentes fijas mayores durante 2003 en el noroeste de Chiapas y centro de Tabasco, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 24(2), 71-77.
- Vega, D. O. (2015). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. . *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(2).
- Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F., & Rica, C. (Nd). *COMPARACIÓN DE LOS INTERPOLADORES IDW Y KRIGING EN LA VARIACIÓN ESPACIAL DE PH, CA, CICE Y P DEL SUELO 1*. Obtenido de http://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-095.pdf



Anexos

Anexo 1

Empresas emplazadas en la zona de estudio.

Id	Nombre de la empresa
1	Continental tire andina S.A
2	Graiman Cia. Ltda
3	Vías del austro
4	Tubería Galvanizada Ecuatoriana S.A
5	Hormicroto Cia. Ltda
6	Longenergy S.A
7	Industrias Químicas del Azuay S.A
8	Fuenlabrada Cia. Ltda
9	Fábrica de Resortes Vanderbilt S.A
10	Preclapa Cia. Ltda
11	Azuay Nuevo Milenio S.A
12	Distribuciones Víctor Moscoso e hijos
13	Indumot S.A
14	Imsales Importaciones
15	Colineal Corp
16	Fibroacero Cilindros S.A
17	Fibroacero S.A
18	Radiadores Luppi
19	Nitrollanta Cia. Ltda
20	Gasgua S.A
21	Produhogar
22	Sabril
23	Corporación Azende
24	Renovallantas S.A
25	Insomet Cia. Ltda
26	Chi-Vit ecuador S.A
27	Durallanta
28	Alimentos la Italiana
29	Laboratorios gil
30	Genplast Tec



31	Cardeca
32	Bodegas Pronaca
33	Señal X Cia. Ltda.
34	Oviplast
35	Lartizco
36	Coop. Producción artesanal centro bordado Cuenca
37	Gráficas Hernández Cia. Ltda
38	Levapan del Ecuador S.A
39	Empresa Durin Edimca
40	Fábrica de Velas Hermidio Delgado
41	Megalimpio
42	Inmatricom Cia. Ltda
43	Impeplast
44	Comicalza Cia. Ltda
45	Mundiplast Cia. Ltda
46	Pimienta
47	Cartones nacionales S.A.I
48	Carpintería y Tapicería Internacional Ctin Cia. Ltda
49	Templavit S.A
50	Alavidam
51	Parmalat del ecuador
52	Pinturas VHP Cia. Ltda.
53	Sumesa S.A
54	Metrocar S.A
55	Lamitex
56	Duraplas S.A
57	Duramas
58	El carrusel Cia. Ltda
59	Novocentro Distablasa
60	Fábrica Sintecuero S.A
61	La europea cia. Ltda.
62	Kerámikos S.A
63	Colquinsa
64	AG Meprelpa
65	Agrosad
66	Hormicroto Cia. Ltda



67	Sudamericana de licores Cia. Ltda.
68	Fábrica Orellana
69	Concretos, casas y construcciones C3 Cia. Ltda.
70	Autopartes japonés
71	Austro Trade
72	Imposhop
73	Austroforja Cia. Ltda
74	Utensilios Mia
75	Embutidos la Cuencana
76	Adheplast S.A
77	Pastificio Nilo Cia. Ltda
78	Molino y Pastifica Alexandra Cia. Ltda
79	Fábrica linde ecuador S.A
80	Arca Continental
81	Pastificio Tomebamba Cia. Ltda
82	Tedasa
83	Newtire S.A
84	Rencauchadora andina S.A
85	Tesalia Sping CVC
86	Termovent Cia. Ltda
87	Las fragancias
88	Corporación jcevcorp Cia. Ltda
89	Vintipartes
90	Assimby moto
91	Imporquivi Cia. Ltda
92	Isollantas Cia. Ltda
93	Comercial industrial ciclo
94	Swissoil
95	Cim
96	Adheplast II S.A
97	Consuplast 1
98	Lafabril S.A
99	Lácteos San Antonio Cia. Ltda
100	Holcin Ecuador
101	Secohi
102	Aje Ecuador



103	Tapitex
104	Supro Quim
105	Maderas de montaña Cia. Ltda
106	Valdis Plasticos
107	Distribuidor Maxmaxxi
108	Matricería Sánchez
109	Bermeo hnos.
110	Hularuss
111	Mobiliar
112	Diserval



Anexo 1

Características y datos meteorológicos de las fuentes fijas modeladas

Rubro	Empresa	Fuente Fija	Diámetro (m)	Altura desde nivel suelo (m)	Temperatura de salida (K)	Velocidad de salida (m/s)	Parámetro de Estabilidad	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Temperatura del Aire (K)
Alimentos y embutidos	Empresa D	Caldero	0,51	8,4	382,94	0,78	2	1,919	244,8	291,19
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	Caldero 1	0,97	10,8	485,40	98,92	2	1,556	262,6	290,27
		Caldero 2	1	12	541,62	103,64	2	3,349	238,5	292,7
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	Caldero	0,3	4,4	594,44	4,23	2	1,547	258,8	288,49
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	Caldero	0,4	9	485,46	15,54	2	4,425	261,4	293,44
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	Horno 1	0,64	6	511,02	0,22	2	3,514	254,3	292,07
Metal mecánica	Empresa N	Caldero	0,4	8	437,30	4,50	2	2,236	253,1	295,96
		Quemador	0,43	5	578,30	6,10	3	3,722	231,5	290,52
Producción de lácteos	Empresa R	Caldero	0,5	7,1	558,69	19,49	2	1,816	241,5	290,96
		Atomizador 1	1	27,7	372,60	7,70	2	1,941	99,8	288,05
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	Atomizador 2	1	25,24	358,70	10,70	3	1,554	86,1	288,19
		Atomizador 3	0,97	24,05	416,40	17,10	6	1,41	234,1	287,91



Horno 1	0,9	11	484,80	5,30	1	0,922	276,1	287,1
Horno 2	0,9	11	525,90	6,43	1	0,697	267,3	287,43
Horno 3	0,9	11	540,70	5,40	1	0,697	267,3	287,43
Horno 4	0,9	11	338,60	6,56	1	0,697	267,3	287,43
Horno 5	0,9	11	486,10	8,90	1	0,922	276,1	287,1
Horno 6	0,9	11	545,90	7,50	1	0,697	267,3	287,43
Horno 7	1	11	502,00	3,60	2	1,385	103,8	287,32
Horno 8	1	8	521,50	6,74	2	2,935	238,7	292,32
Horno 9	1	12,5	362,70	10,40	1	1,385	103,8	287,32
Horno 10	1	12,5	499,80	3,80	2	1,385	103,8	287,32
Horno 11	1	12,5	508,60	7,20	2	2,935	238,7	292,32
Horno 12	1	12,5	362,70	4,80	1	1,385	103,8	287,32
Horno 13	1,1	12,5	440,60	4,90	6	1,002	176,1	288,29
Horno 14	1,1	12,5	469,70	5,60	6	1,002	176,1	288,29
Horno 15	1,1	12,5	386,60	10,75	2	1,385	103,8	287,32
Horno 16	1	12,5	480,70	4,25	6	1,002	176,1	288,29
Horno 17	1	12,5	530,90	11,12	6	1,002	176,1	288,29
Horno 18	1	12,5	409,00	11,80	2	1,385	103,8	287,32
Horno 19	1	12,5	468,30	5,40	2	1,627	232,6	291,59
Horno 20	1	12,5	290,00	6,90	1	0,818	214,5	287,67
Horno 21	1	12,5	376,10	8,30	2	0,818	214,5	287,67
Horno 22	1	12,5	459,40	11,30	1	0,584	130,9	290,64
Horno 23	1	12,5	292,60	5,90	2	0,818	214,5	287,67
Horno 24	1	12,5	318,30	10,40	2	0,818	214,5	287,67
Secador 1-E	0,45	11	344,20	5,30	1	1,631	238,2	286,96
Secador 1-S	0,45	11	304,10	5,60	1	1,378	252,1	286,76



		Secador 2-E	0,45	11	353,50	5,60	2	1,631	238,2	286,96
		Secador 2-S	0,45	11	301,00	3,70	1	1,631	238,2	286,96
		Horno 25-E	0,5	11	352,40	9,00	1	0,697	267,3	287,43
		Horno 25-S	0,5	11	302,90	11,30	6	1,191	67,54	287,56
		Horno 26-E	0,5	11	349,30	13,10	1	0,697	267,3	287,43
		Horno 26-S	0,5	11	311,80	10,10	6	1,191	67,54	287,56
	Empresa T	Horno	0,56	5	497,50	6,60	2	3,594	200,3	294,8
Textiles y sintéticos	Empresa U	Caldero 1	0,6	12	509,14	39,04	2	3,08	221,6	295
		Caldero 2	0,6	12	477,73	9,19	2	4,083	240,1	293,74



Anexo 2

Datos promediados de las características de las fuentes y datos meteorológicos para cada empresa

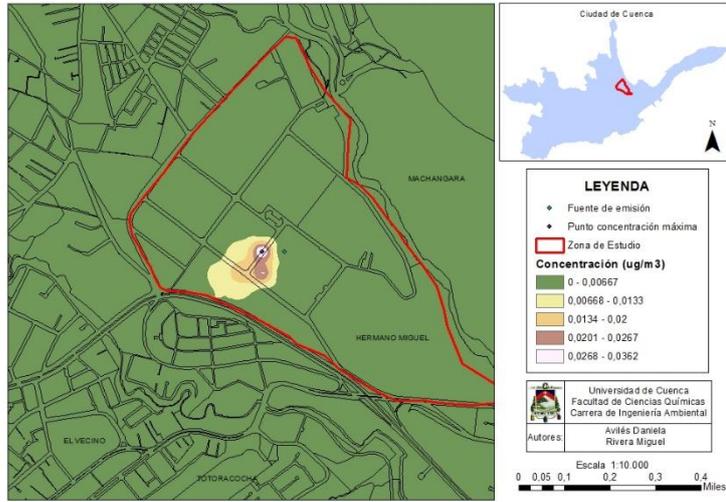
Rubro	Nombre	Coordenadas de ubicación		Diámetro (m)	Altura chimenea desde el suelo (m)	Temperatura salida (k)	Velocidad de salida (m/s)	Parámetro de estabilidad	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento (°)	Temperatura ambiente (k)
		X	Y								
Alimentos y embutidos	Empresa D	724886,93	9681737,9	0,51	8,40	382,94	0,78	2,00	1,92	244,80	291,19
Elaboración de cartón y papel	Empresa E	724731,06	9682205,5	0,99	11,40	463,80	101,28	2,00	2,45	250,55	291,49
Elaboración y rencauche de llantas	Empresa G	725042,81	9681660,0	0,30	4,40	594,44	4,23	2,00	1,55	258,80	288,49
Elaboración y distribución de velas	Empresa I	724653,12	9681815,8	0,40	9,00	485,56	15,54	2,00	4,43	261,40	293,44
Fabricación de cocinas y cilindros	Empresa K	724809,00	9681582,0	0,64	6,00	511,02	0,22	2,00	3,51	254,30	292,07
Metal mecánica	Empresa N	725276,62	9681426,2	0,42	6,50	507,80	5,30	2,00	2,98	242,30	293,24
Producción de lácteos	Empresa R	724964,87	9682283,5	0,50	7,10	558,69	19,49	2,00	1,82	241,50	290,96
Productos industriales farmacéuticos y químicos	Empresa S	725198,68	9681504,1	0,87	12,86	410,53	7,78	2,00	1,24	191,54	288,01
	Empresa T	725276,62	9681504,1	0,56	5,00	497,50	6,60	2,00	3,59	200,30	294,80
Textiles y sintéticos	Empresa U	725120,74	9681893,8	0,60	12,00	493,44	24,11	2,00	3,58	230,85	294,37



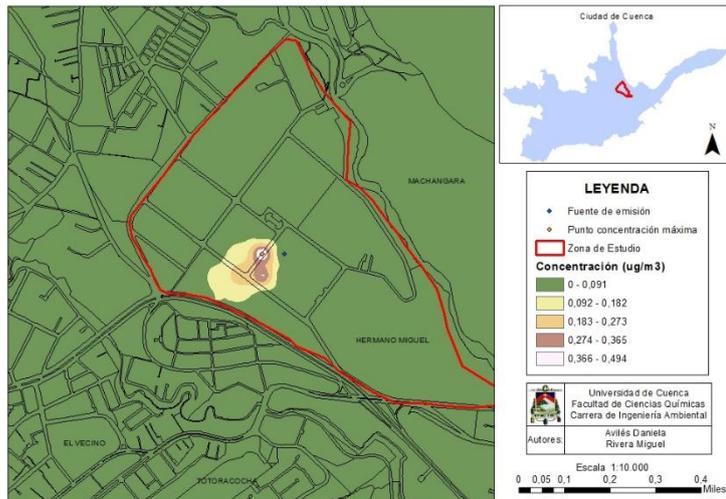
Anexo 3

a) Mapas de concentración, obtenidos con Disper 5.2 y ArcGIS 10.1

Dispersión del CO - Empresa D

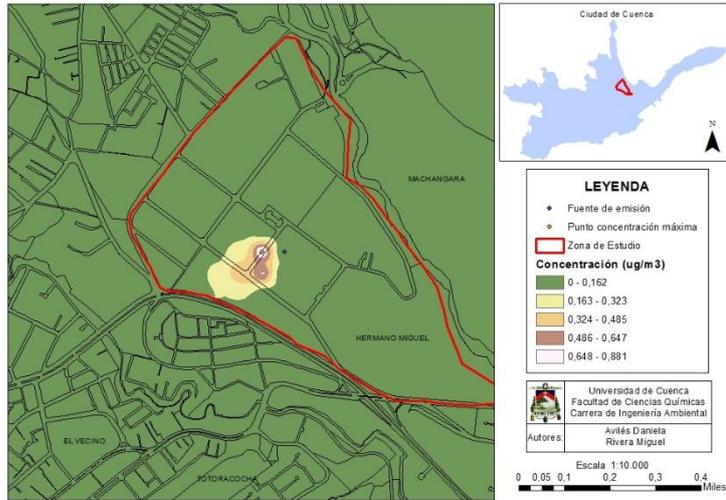


Dispersión del NOx - Empresa D

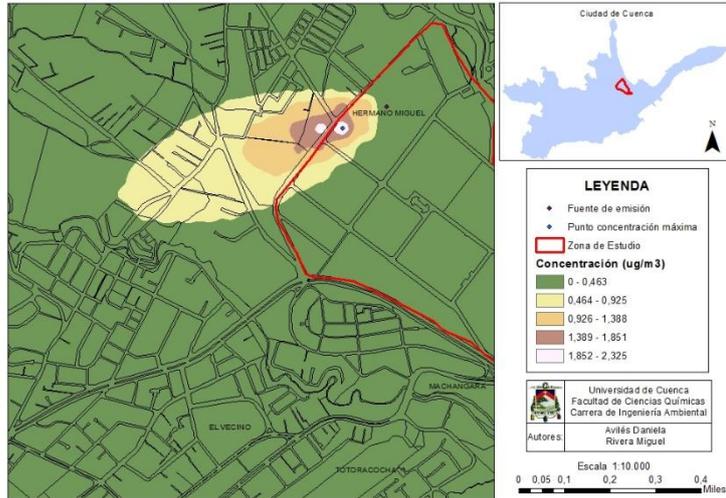




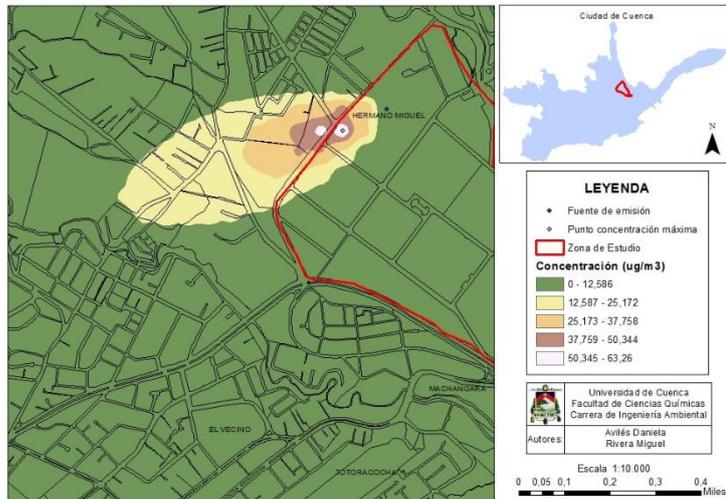
Dispersión del SO₂ - Empresa D



Dispersión del CO - Empresa E

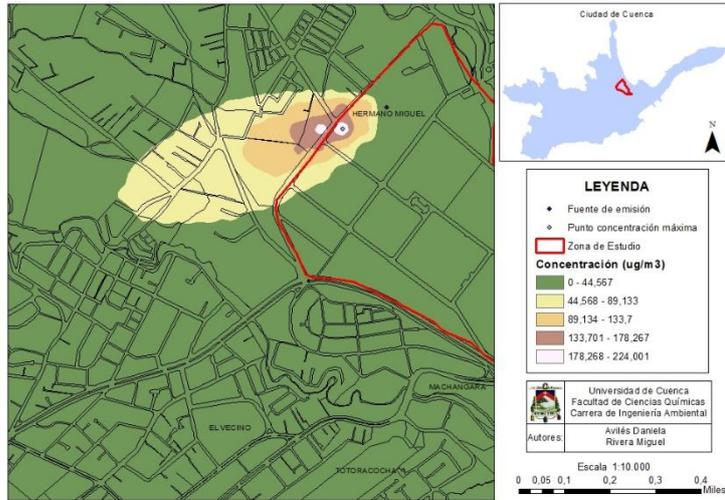


Dispersión del NO_x - Empresa E

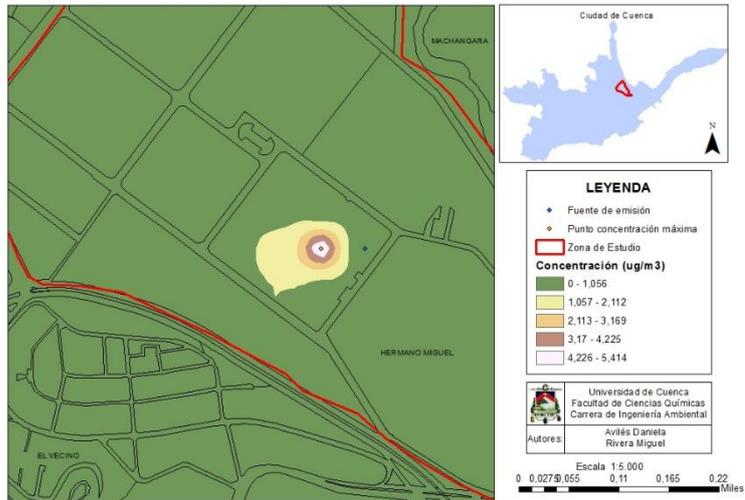




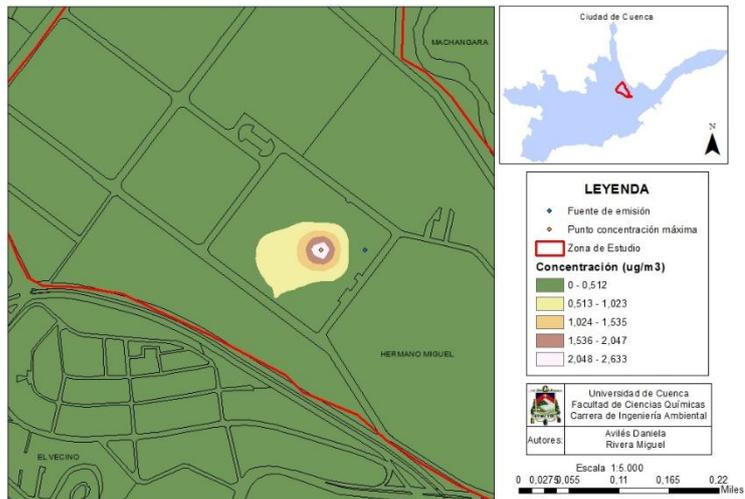
Dispersión del SO₂ - Empresa E



Dispersión del CO - Empresa G

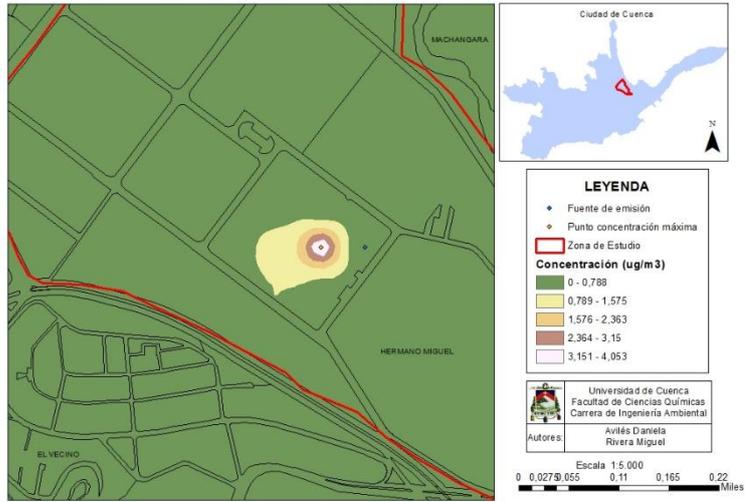


Dispersión del NO_x - Empresa G

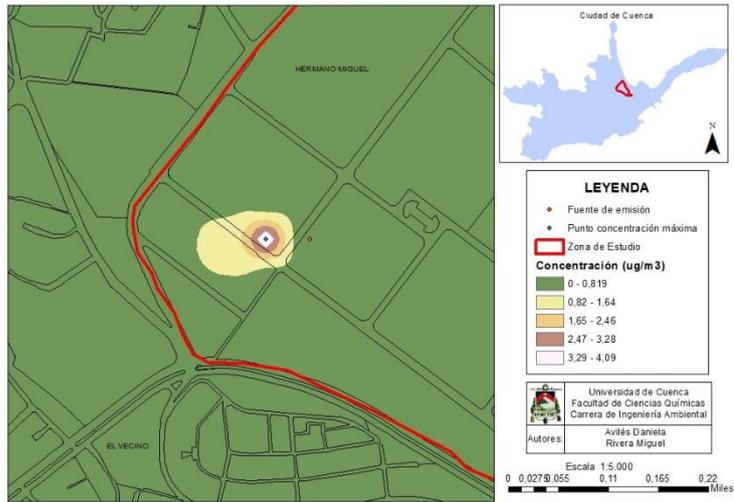




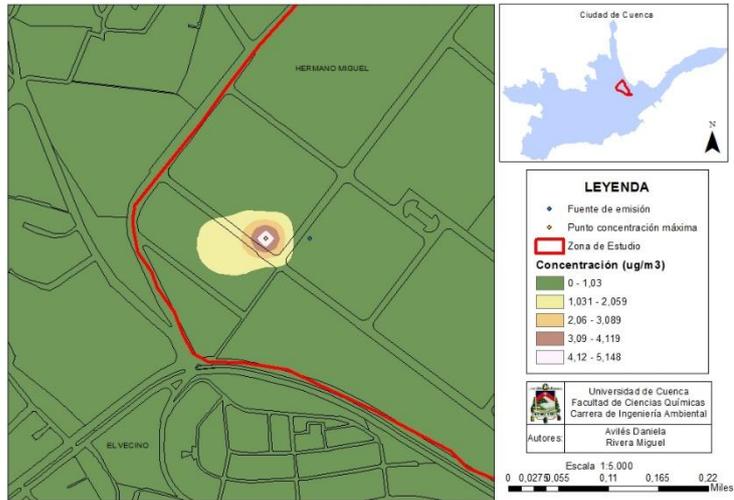
Dispersión del SO₂ - Empresa G



Dispersión del CO - Empresa I

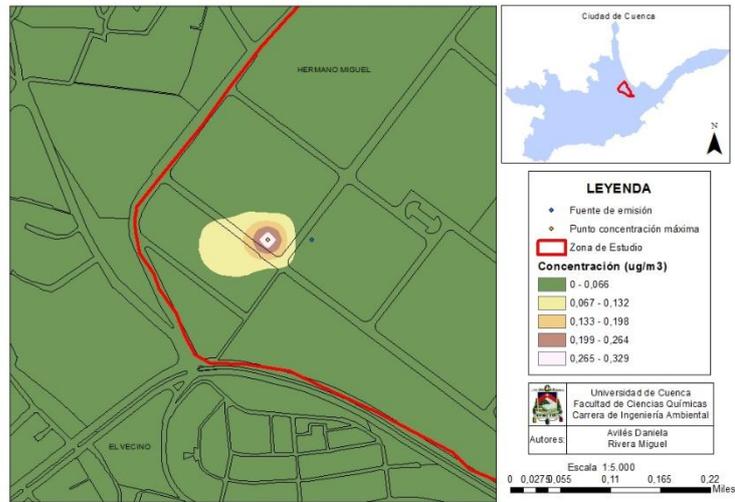


Dispersión del NO_x - Empresa I

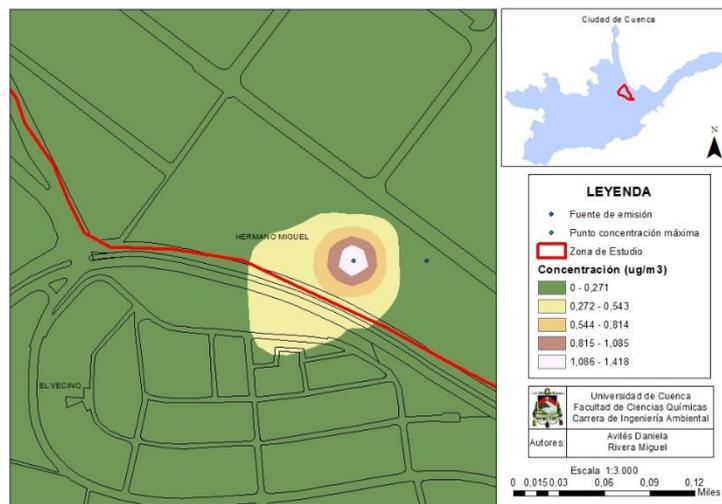




Dispersión del SO₂ - Empresa I



Dispersión del CO - Empresa K

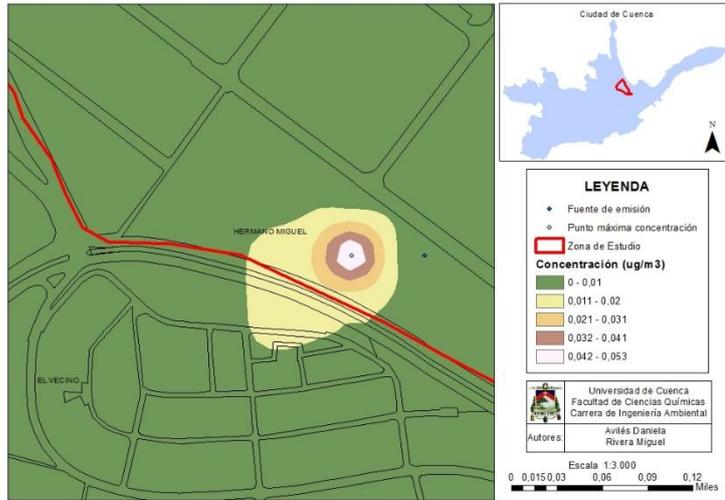


Dispersión del NO_x - Empresa K

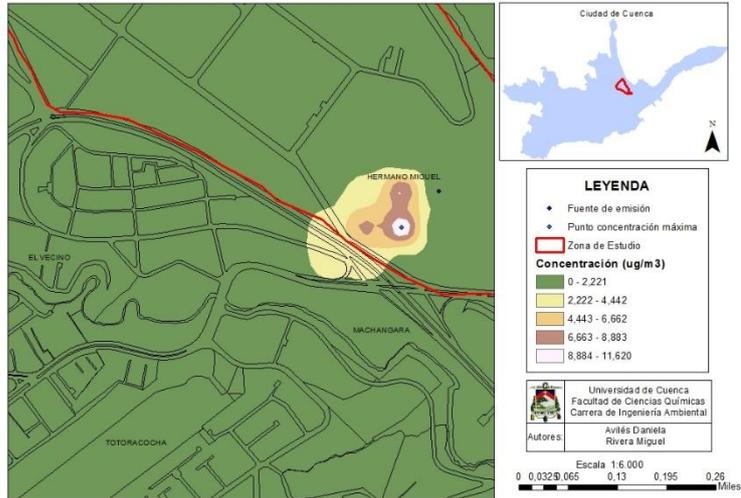




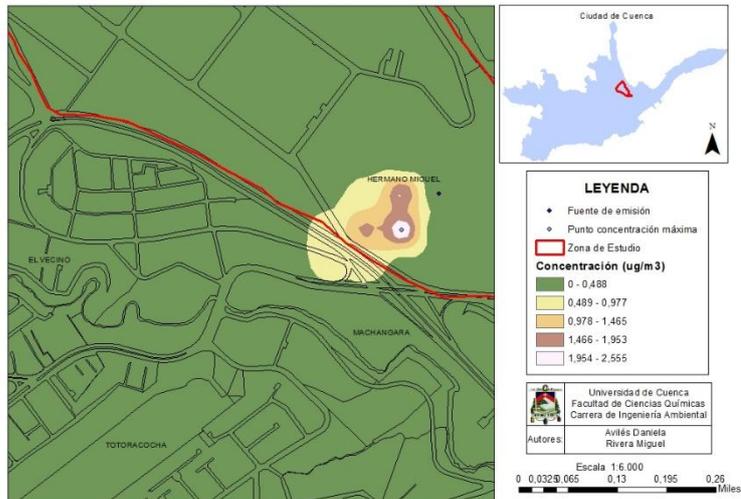
Dispersión del SO₂ - Empresa K



Dispersión del CO - Empresa N

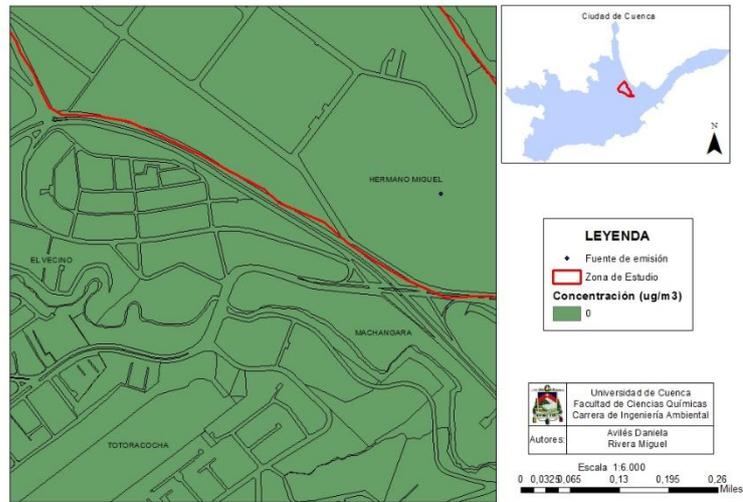


Dispersión del NO_x - Empresa N

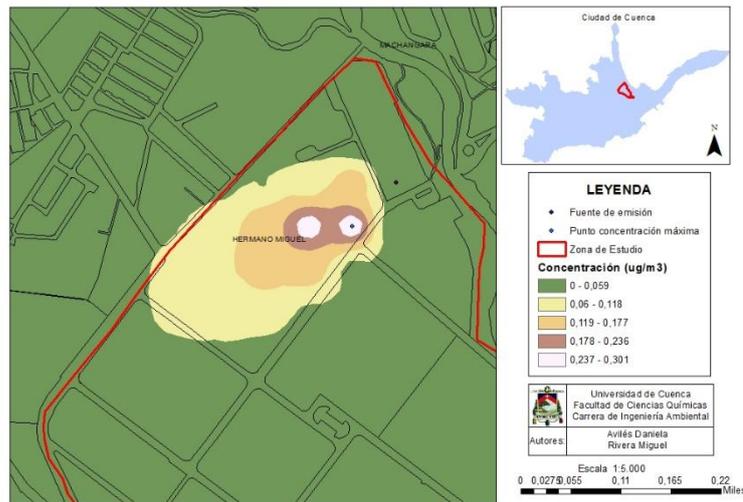




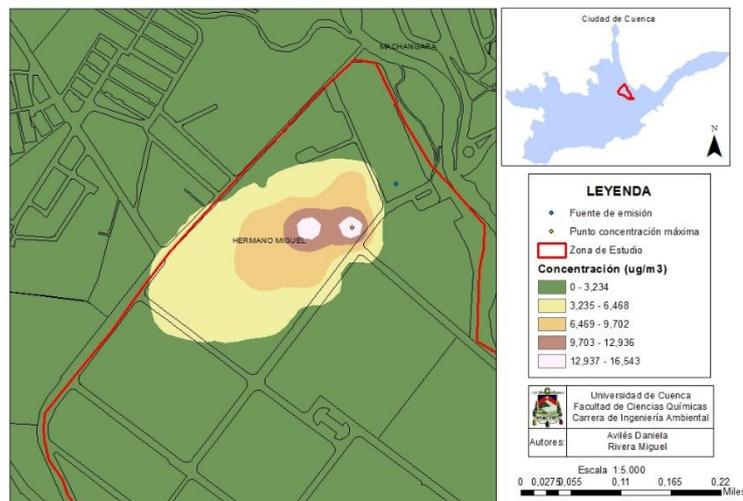
Dispersión del SO₂ - Empresa N



Dispersión del CO - Empresa R

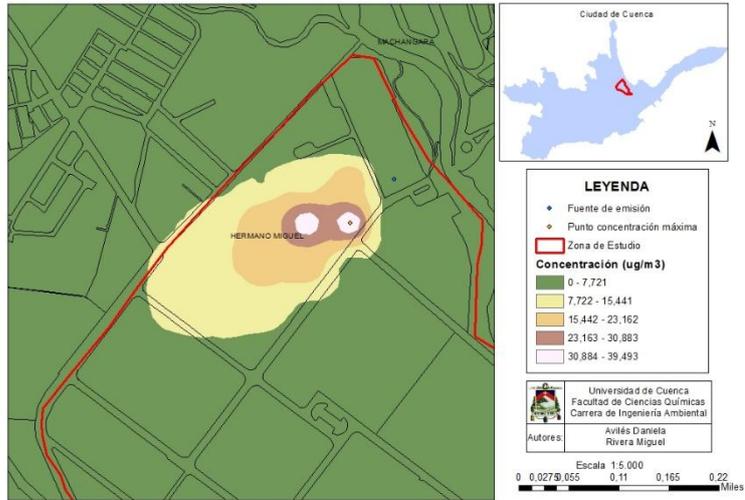


Dispersión del NO_x - Empresa R

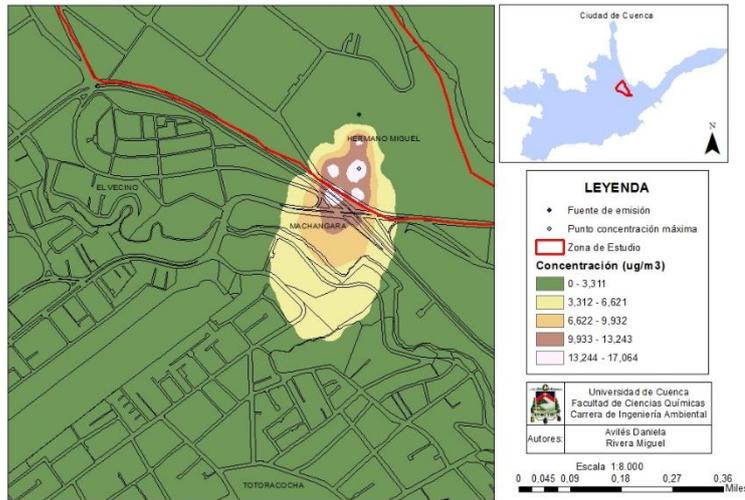




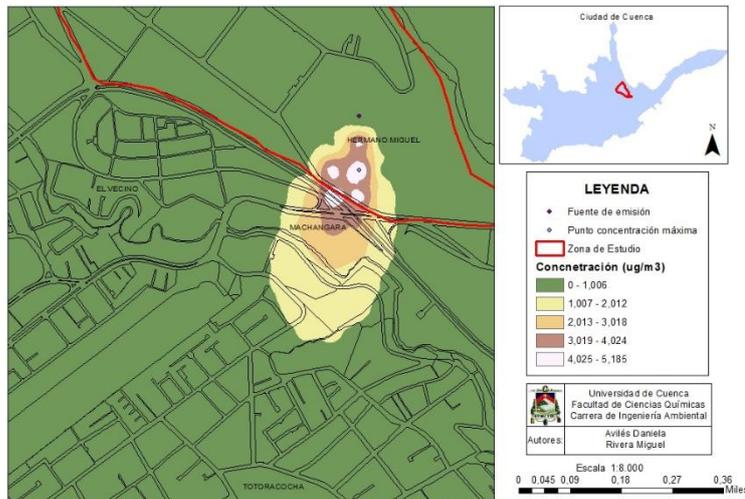
Dispersión del SO₂ - Empresa R



Dispersión del CO - Empresa S

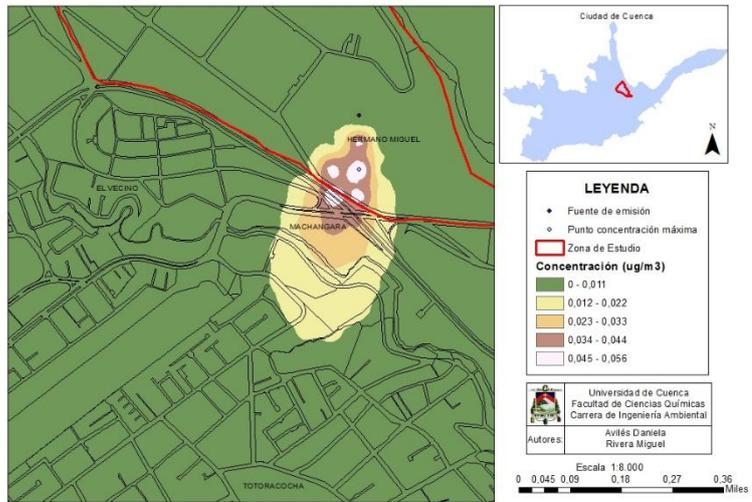


Dispersión del NO_x - Empresa S

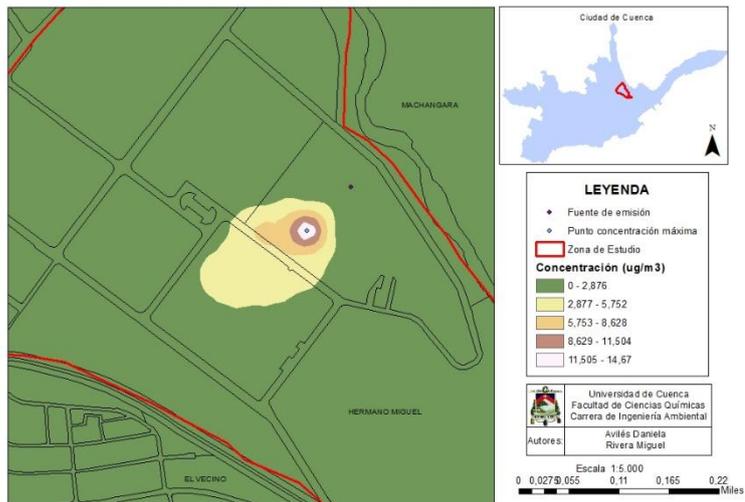




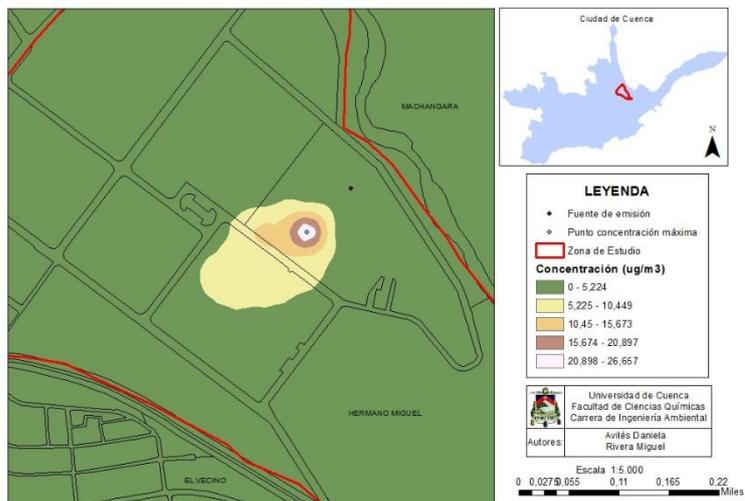
Dispersión del SO₂ - Empresa S



Dispersión del CO - Empresa U

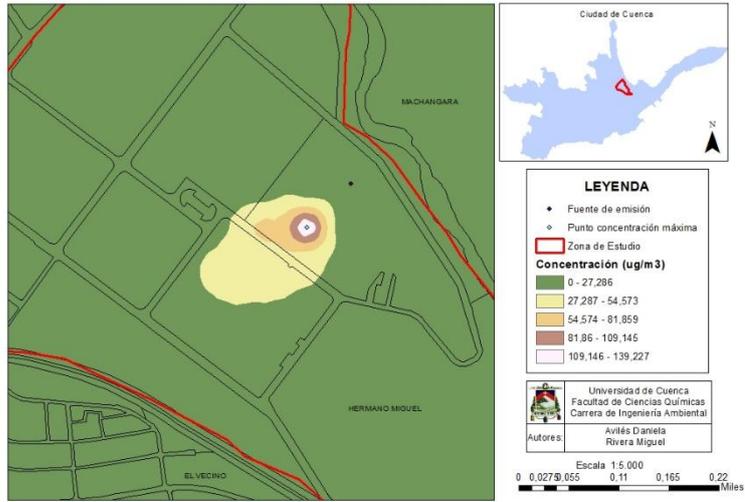


Dispersión del NO_x - Empresa U

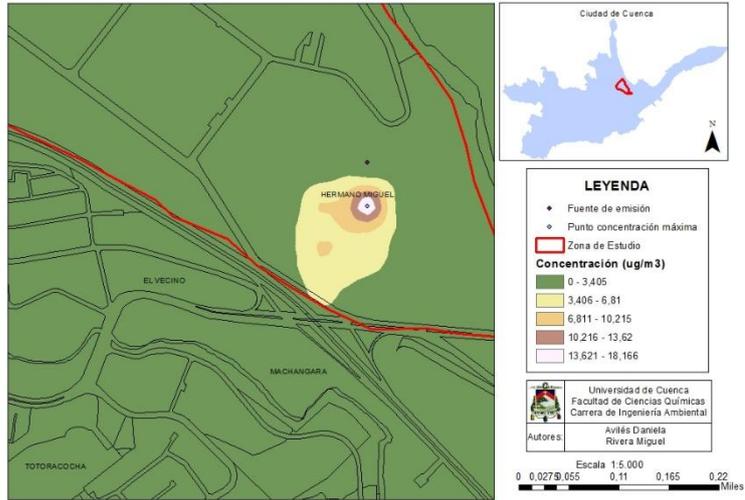




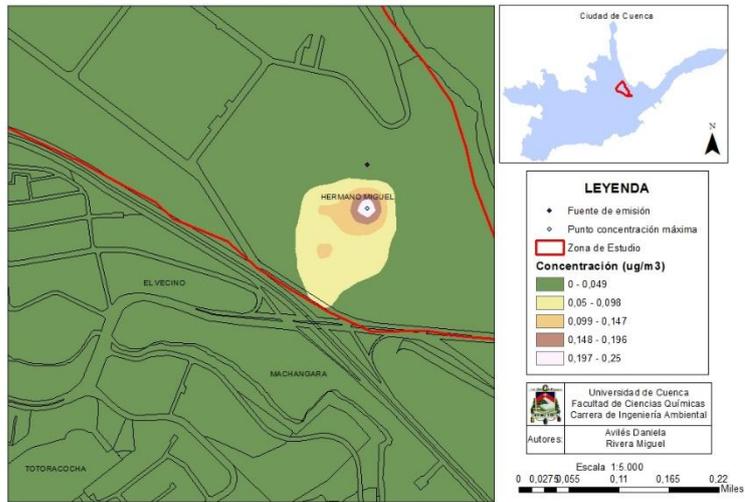
Dispersión del SO₂ - Empresa U



Dispersión del CO - Empresa T

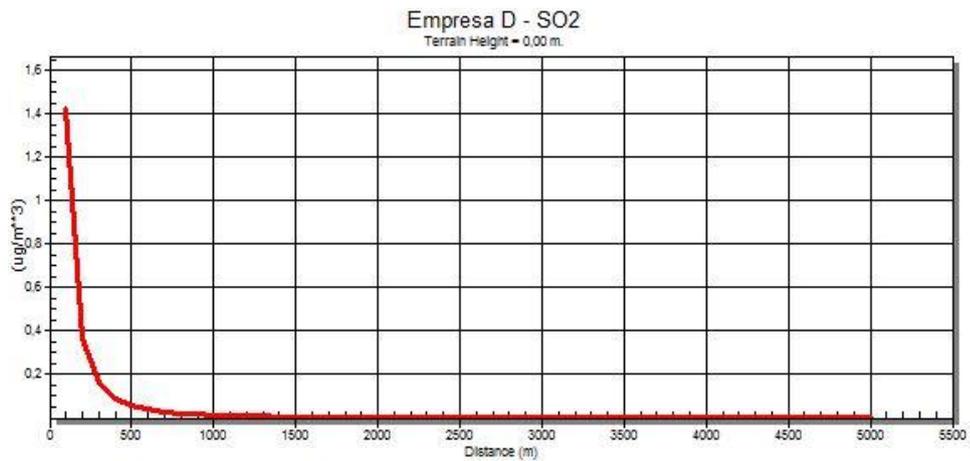
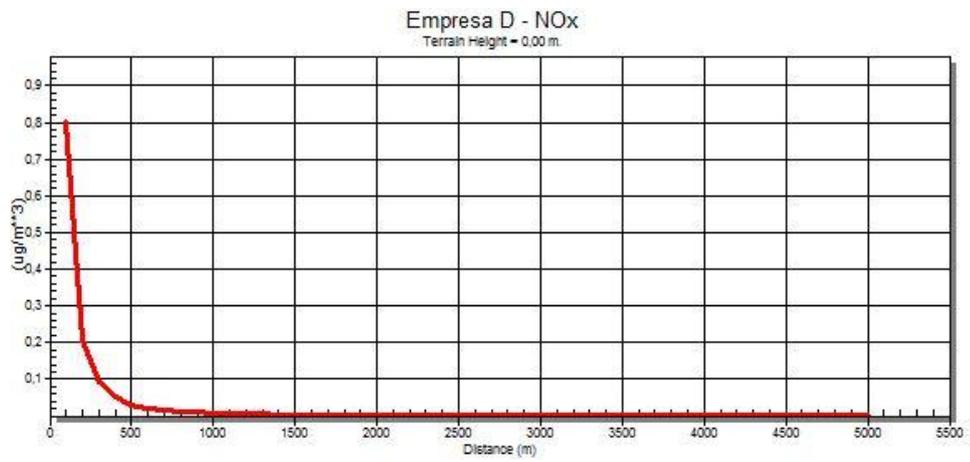
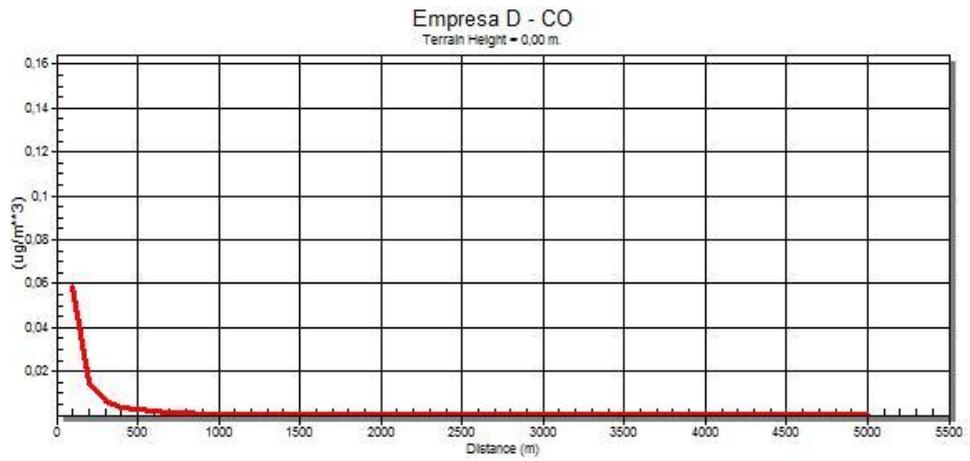


Dispersión del SO₂ - Empresa T





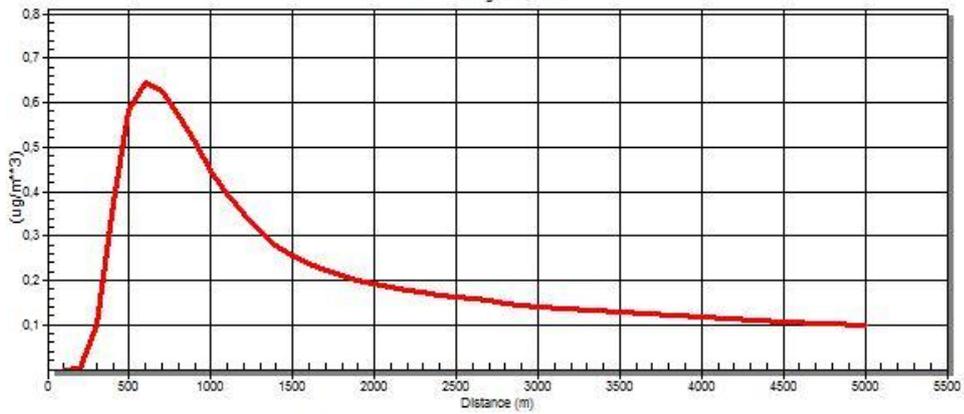
b) Gráficos de la dispersión obtenidos con Screen View 3





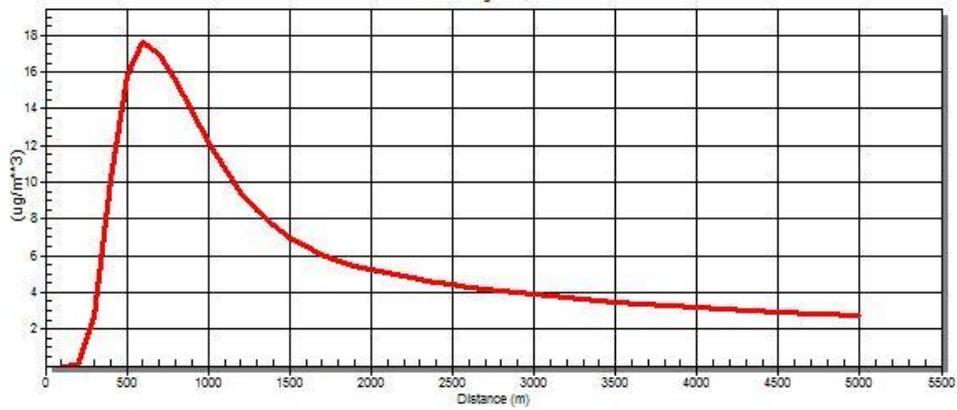
Empresa E - CO

Terrain Height = 0.00 m.



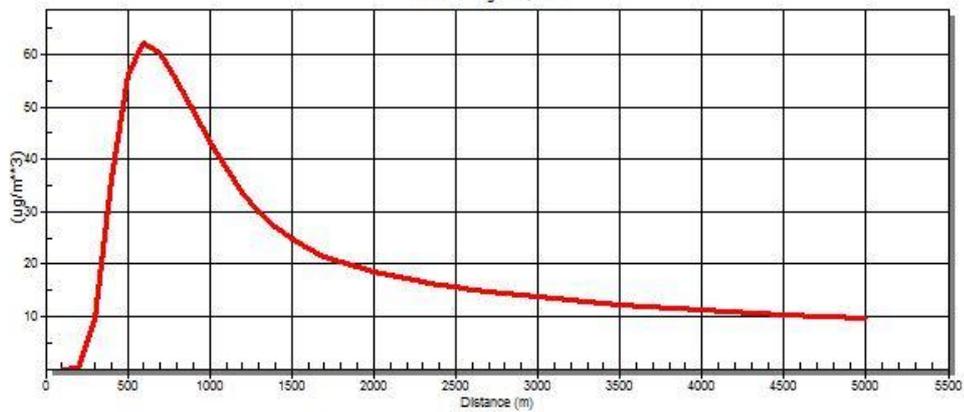
Empresa E - NOx

Terrain Height = 0.00 m.



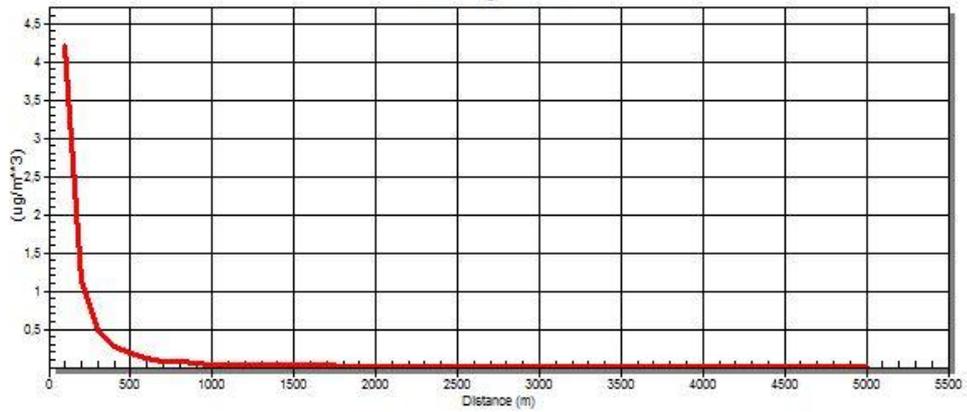
Empresa E - SO2

Terrain Height = 0.00 m.

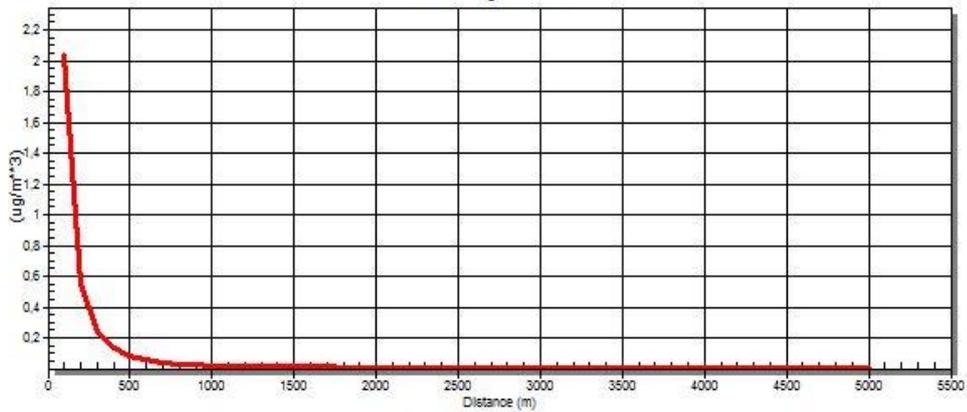




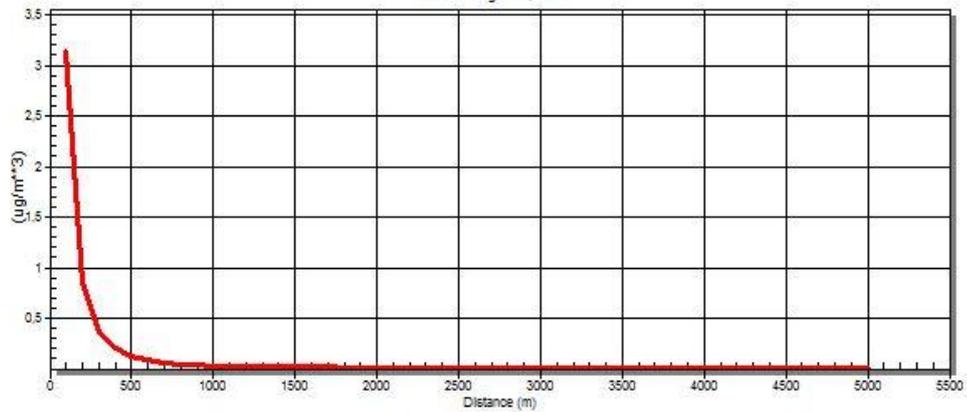
Empresa G - CO
Terrain Height = 0.00 m.



Empresa G - NOx
Terrain Height = 0.00 m.

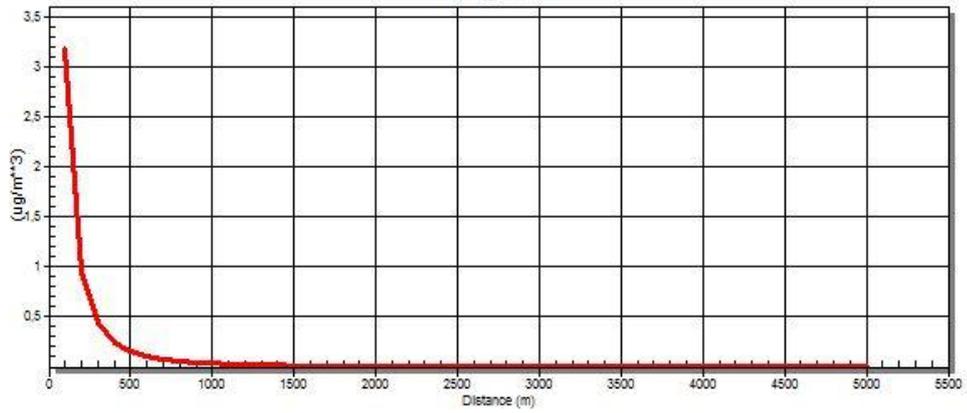


Empresa G - SO2
Terrain Height = 0.00 m.

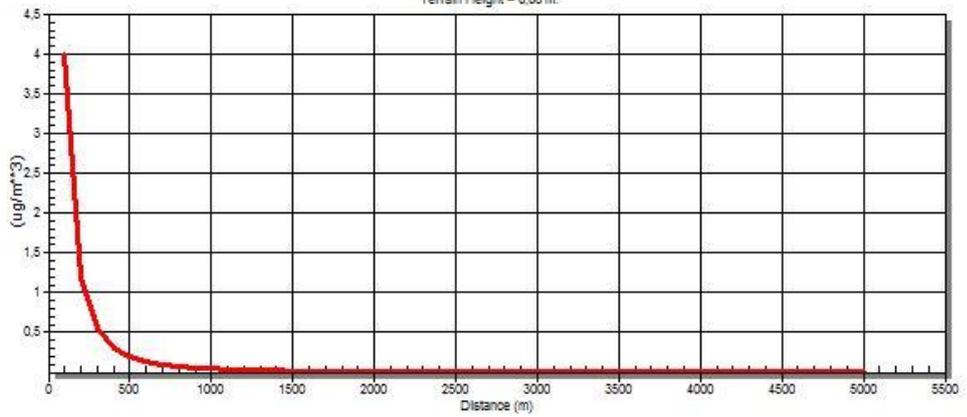




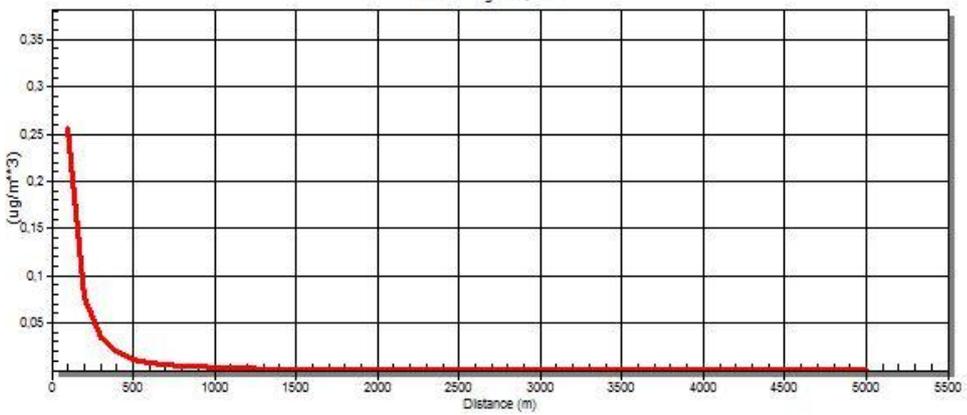
Empresa I - CO
Terrain Height = 0.00 m.



Empresa I - NOx
Terrain Height = 0.00 m.



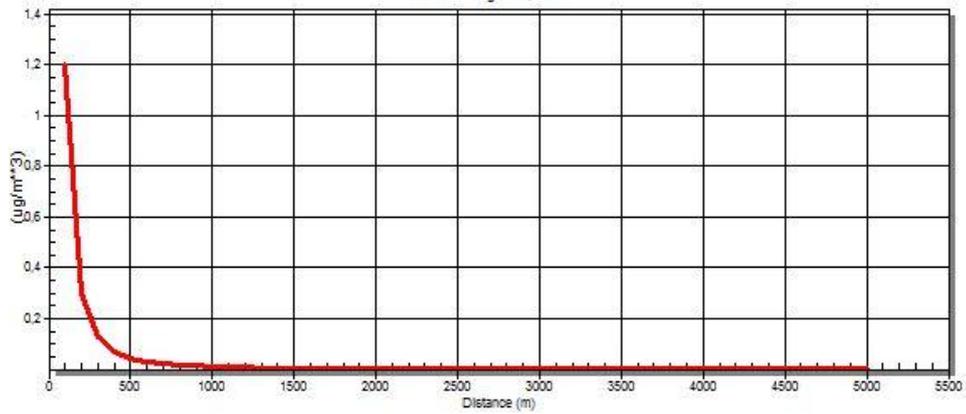
Empresa I - SO2
Terrain Height = 0.00 m.





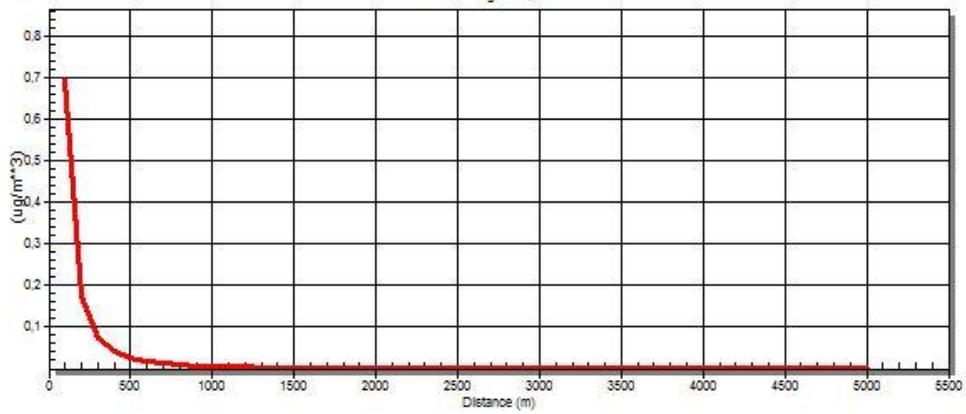
Empresa K - CO

Terrain Height = 0.00 m.



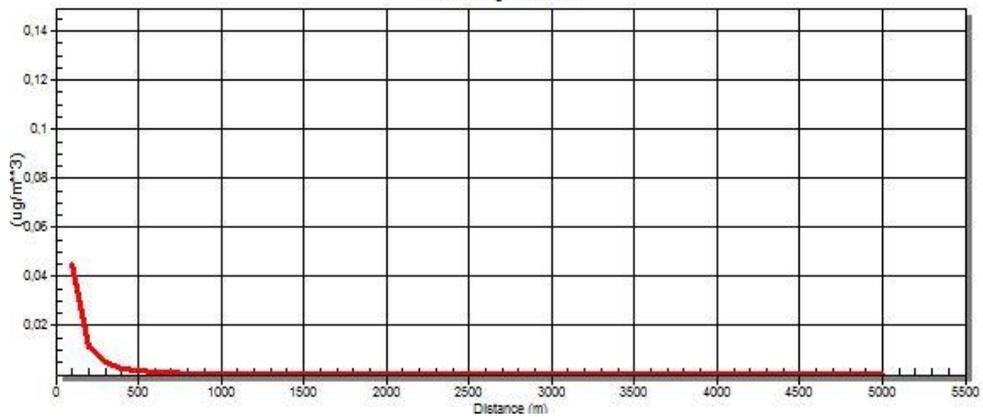
Empresa K - NOx

Terrain Height = 0.00 m.



Empresa K - SO2

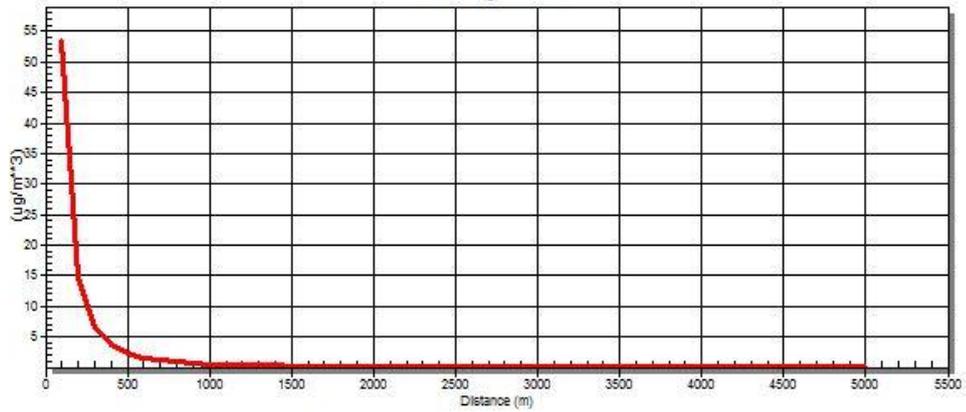
Terrain Height = 0.00 m.





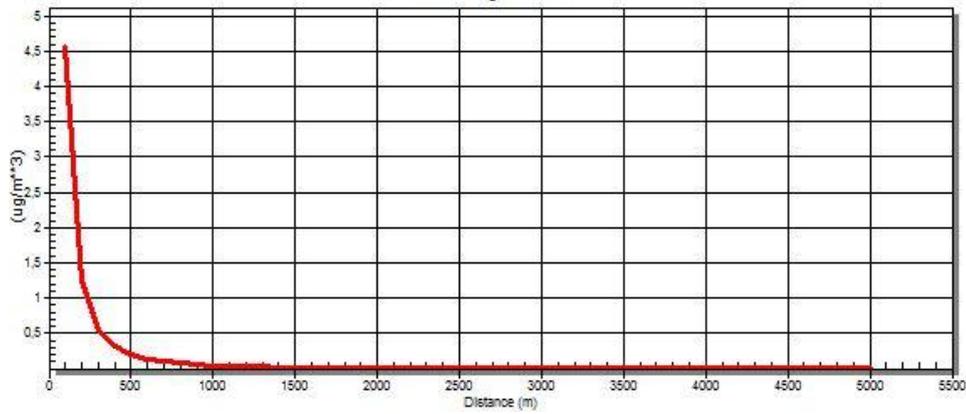
Empresa N - CO

Terrain Height = 0.00 m.



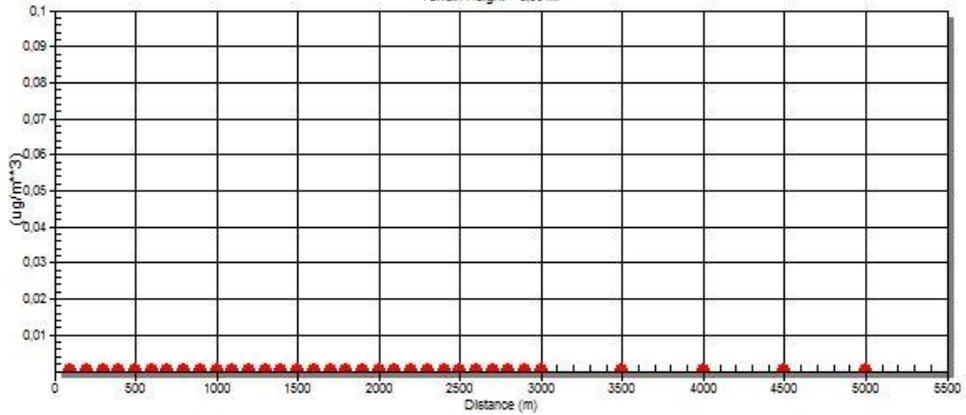
Empresa N - NOx

Terrain Height = 0.00 m.



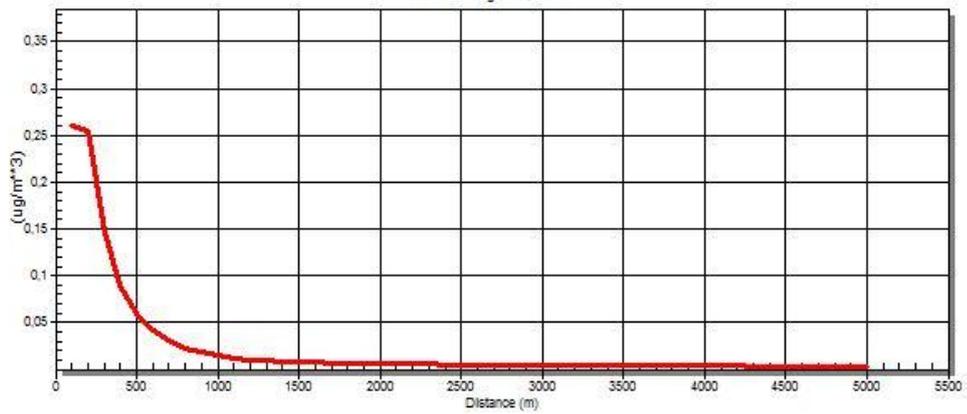
Empresa N - SO2

Terrain Height = 0.00 m.

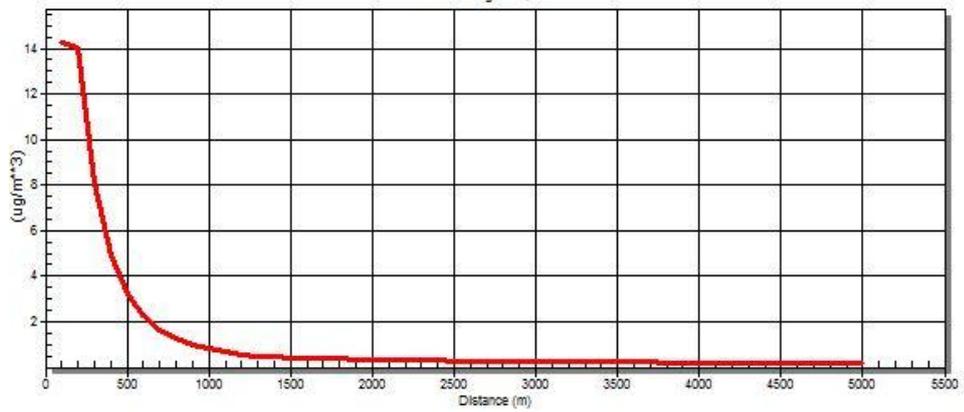




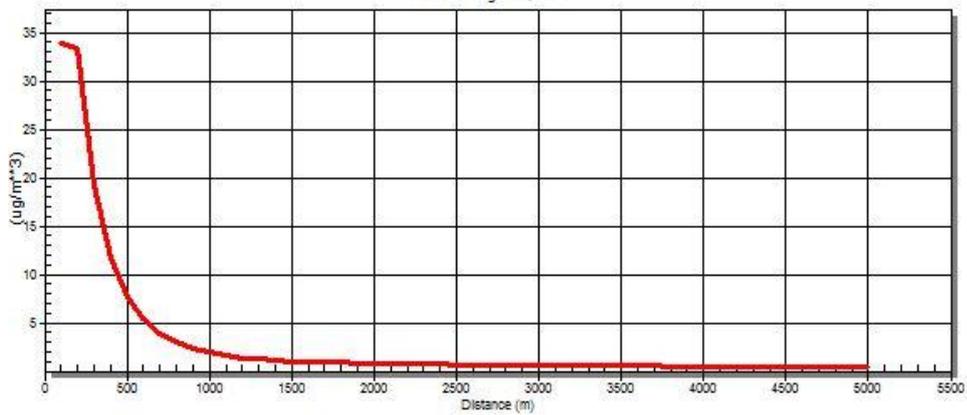
Empresa R - CO
Terrain Height = 0.00 m.



Empresa R - NOx
Terrain Height = 0.00 m.

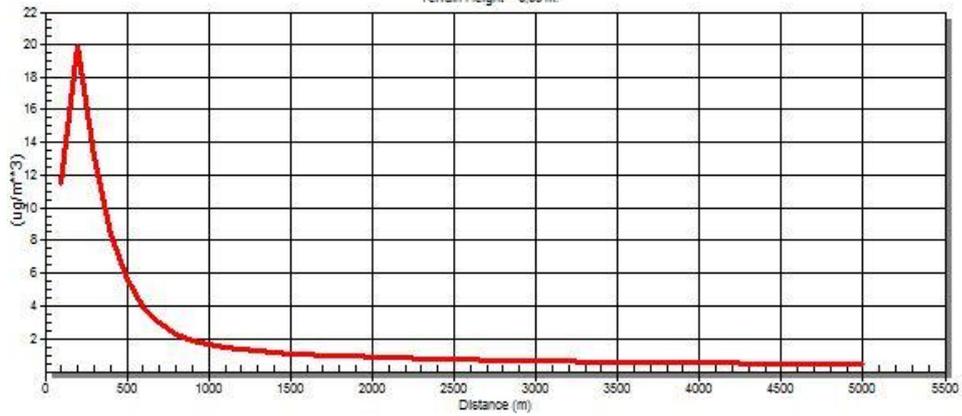


Empresa R - SO2
Terrain Height = 0.00 m.

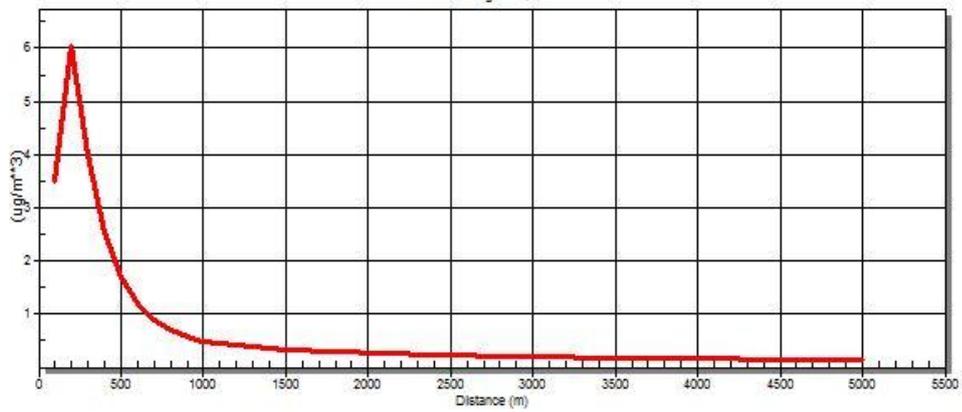




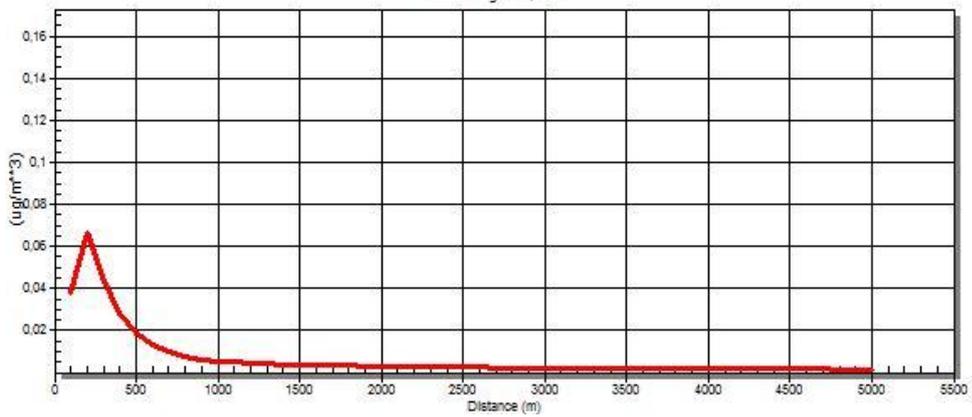
Empresa S - CO
Terrain Height = 0.00 m.



Empresa S - NOx
Terrain Height = 0.00 m.



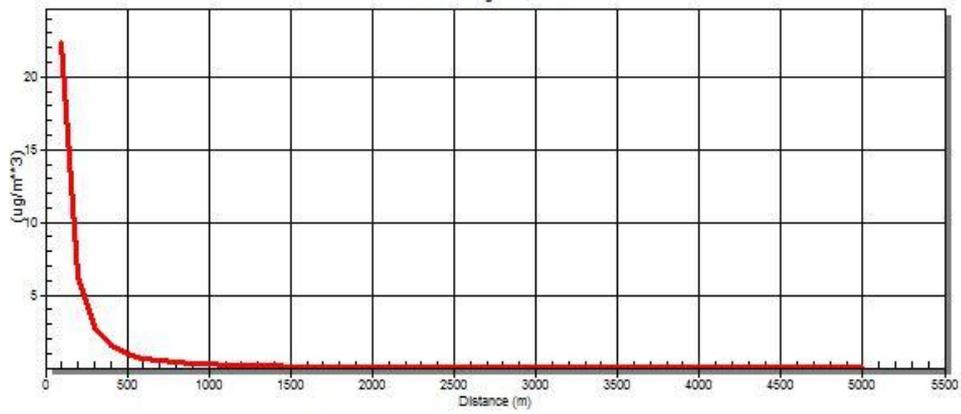
Empresa S - SO2
Terrain Height = 0.00 m.





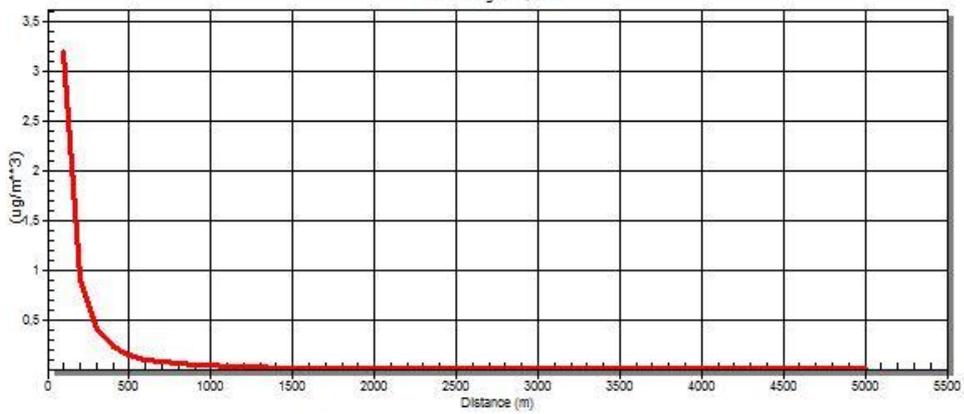
Empresa T - CO

Terrain Height = 0.00 m.



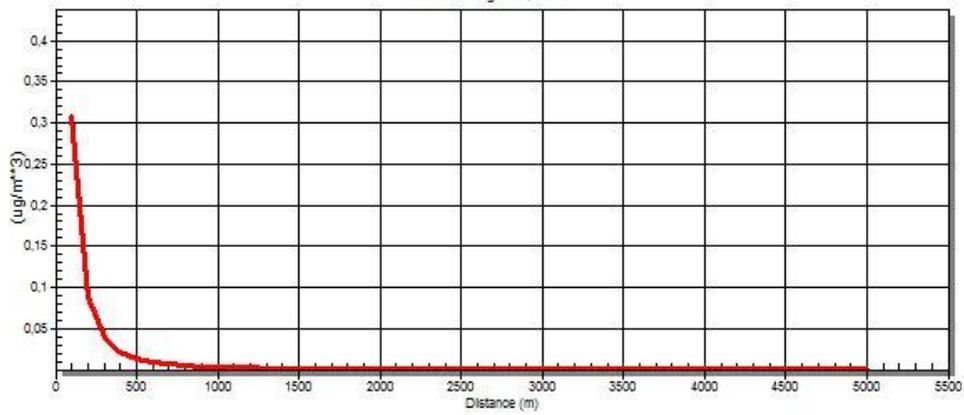
Empresa T - NOx

Terrain Height = 0.00 m.



Empresa T - SO2

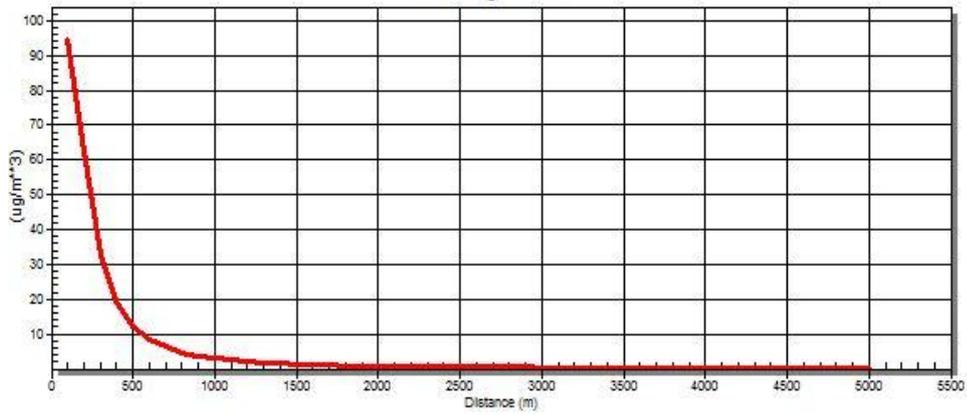
Terrain Height = 0.00 m.





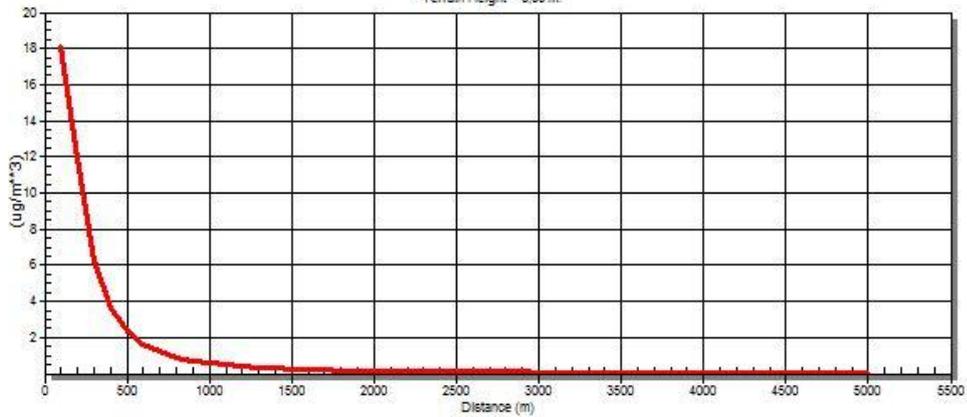
Empresa U - SO₂

Terrain Height = 0.00 m.



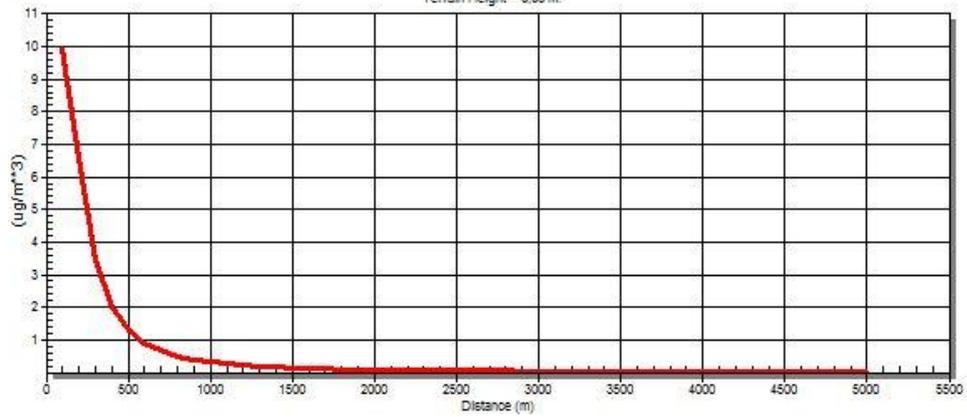
Empresa U - NO_x

Terrain Height = 0.00 m.



Empresa U - CO

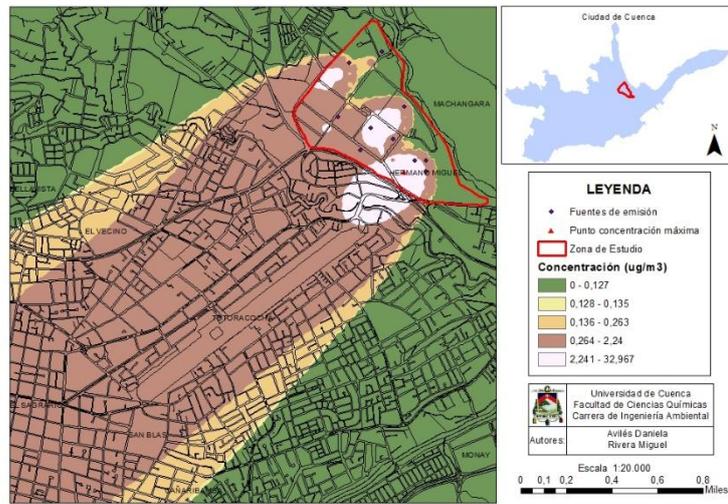
Terrain Height = 0.00 m.



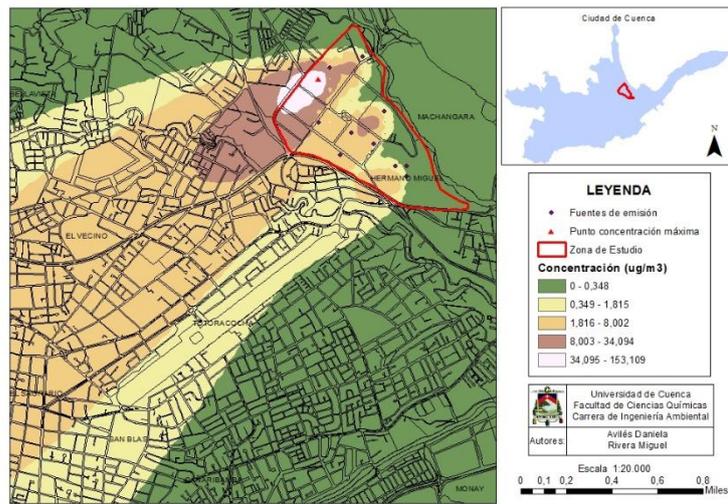


c) Mapas de dispersión de contaminantes obtenidos al modelar todas las fuentes con Disper 5.2 y ArcGIS 10.1

Dispersión del CO

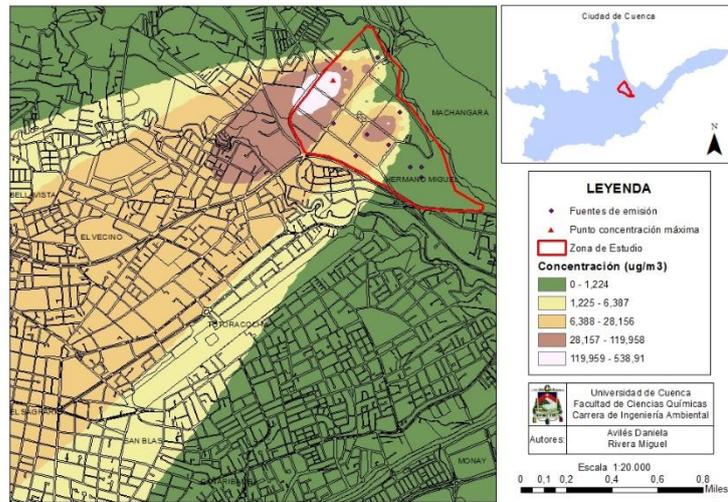


Dispersión del NOx





Dispersión del SO₂





Anexo 5

Copias de algunos oficios enviados a las empresas



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Decanato

Cuenca, 21 de febrero de 2017
Oficio No. 085 CCQQ

Ingeniero
Pablo Torres
GERENTE DE CARDECA CIA. LTDA.
Su Despacho

De mi consideración:

Luego de expresarle un cordial saludo, por medio de la presente le solicito, de la manera más comedida, se sirva brindar la apertura necesaria en la empresa que usted tan acertadamente dirige, para autorizar así la visita de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca: Daniela Marisol Avilés Flores con C.I. 0107211153 y Miguel Ángel Rivera Banegas con C.I. 0106069149; el objetivo de dicha visita es para el levantamiento de información referente a las características de los calderos y se permita el acceso para el levantamiento in situ de las emisiones de las fuentes fijas de combustión que se dan durante la producción.

Esta información tiene como único fin el desarrollo de la tesis de grado titulada: **"Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del Parque Industrial de la ciudad de Cuenca, mediante los softwares SCREEN VIEW 3 y DISPER 5.2"**, trabajo realizado bajo la Dirección de la Dra. Diana Moscoso, cuyo objetivo principal es conocer la dispersión de contaminantes, más no dar criterios con respecto a cumplimiento de normativas pertinentes.

Cabe recalcar que la información levantada se mantendrá en total confidencialidad en el desarrollo de la tesis de grado, además que la misma no estará disponible para uso público.

Por la favorable atención que se brinde dar a la presente y apoyando la formación complementaria de nuestros estudiantes, le agradecemos de antemano y suscribimos de usted, expresándole nuestra consideración y estima.

Atentamente,

Ing. Silvana Larriva González. Msc.

DECANA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DECANATO



Av. 12 de Abril y Agustín Cueva | Ciudadela Universitaria
Telfs.: 593-7 405 1000 | 405 1120 Exts.: 2400 - 24011 Fax.: 2403
www.ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador

23/02/17.



Cuenca, 14 de febrero de 2017
Oficio No. 100 CCQQ

Economista
Diego Halo Toral
GERENTE DE FIRBOACERO S.A
Su despacho

De mi consideración:

Luego de expresarle un cordial saludo, por medio de la presente le solicito, de la manera más comedida, se sirva brindar la apertura necesaria en la empresa que usted tan acertadamente dirige, para autorizar la visita de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca: Daniela Marisol Avilés Flores, CI: 0107211153 y Miguel Ángel Rivera Banegas, CI: 0106069149; el objetivo de dicha visita es el levantamiento de información referente a las características de los hornos o calderos que utilizan durante los procesos de producción, además que se permita el acceso para el levantamiento in situ de las emisiones de las fuentes fijas de combustión que se dan durante la producción.

Esta información tiene como único fin el desarrollo de la tesis de grado titulada: **"Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del Parque Industrial de la ciudad de Cuenca, mediante los softwares SCREEN VIEW 3 y DISPER 5.2"**, trabajo realizado bajo la Dirección de la Dra. Diana Moscoso, cuya principal meta es comparar los dos softwares utilizados en la tesis, más no dar criterios con respeto a los datos levantados. Cabe recalcar que la información levantada se mantendrá en total confidencialidad en el desarrollo de la tesis de grado y que la misma no estará disponible para uso público.

Por la favorable atención que dé a la presente, apoyando la formación complementaria de nuestros estudiantes, le agradecemos de antemano y suscribimos de usted, expresándole nuestra consideración y estima.

FIRBOACERO S.A.

15-03-2017

Atentamente,

Ing. Silvana Larriva González. Msc.
DECANA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DECANATO



Av. 12 de Abril y Agustín Cueva | Ciudadela Universitaria
Telfs.: 593-7 405 1000 | 405 1120 Exts.: 2400 - 24011 Fax.: 2403
www.ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador