

SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ADELCA

MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS



Ing. Byron Arregui G.

Octubre 2014

TABLA DE CONTENIDO

1.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ALCANCE DEL MODELO.....	2
2.0 MARCO LEGAL	2
3.0 OBJETIVOS	4
4.0 CONSIDERACIONES GENERALES	4
4.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	4
4.1.1 <i>Altura efectiva de emisión</i>	6
4.1.2 <i>Resumen de las condiciones meteorológicas</i>	7
4.2 EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	9
4.3 FUENTES SIGNIFICATIVAS.....	4-12
4.4 INGRESO DE DATOS AL MODELO.....	4-12
4.4.1 <i>La ecuación básica del modelo gaussiano</i>	4-12
4.4.2 <i>Condiciones topográficas</i>	4-13
4.4.3 <i>Datos Meteorológicos</i>	4-14
4.4.4 <i>Datos de las fuentes fijas a modelar</i>	4-15
4.4.5 <i>Resultados entregados por el Modelo</i>	4-15
4.4.6 <i>Superficies continuas de concentración</i>	4-16
4.4.6.1 Construcción de TIN (triangulated irregular network).....	4-16
4.4.6.2 Estructura de datos ráster.....	4-17
5.0 RESULTADOS	5-17
5.1 COMPARACIÓN DE CUMPLIMIENTO CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL.....	5-18
6.0 MAPAS DE CONCENTRACIONES	20
6.1 ONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	21
6.2 CONCENTRACIONES DE OXIDOS DE NITRÓGENO (NOX).....	25
6.3 CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (MP).....	29
6.4 CONCLUSIONES.....	6-33
7.0 BIBLIOGRAFÍA	7-34

1.0 INTRODUCCIÓN

La aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos a nivel mundial, como herramienta de la gestión ambiental, y específicamente como herramienta de la evaluación de impacto ambiental, se encuentra limitada a lo exigido por la legislación ambiental nacional e internacional. Los modelos matemáticos de calidad del aire son herramientas matemáticas destinadas a simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes cuando se dispersan o reaccionan en la atmósfera. Se basan en datos meteorológicos, topográficos, tasas de emisión de los contaminantes desde su origen y las características físicas de la fuente. Los modelos de dispersión tienen como objetivo fundamental caracterizar el movimiento de los contaminantes atmosféricos primarios, que una vez emitidos ingresan directamente a la atmósfera y en algunos casos, contaminantes secundarios que se forman como resultado de reacciones complejas.

Otro punto de importancia de los modelos matemáticos para la gestión de la calidad del aire, es que en base a estos se puede definir cómo contribuye una determinada fuente a los problemas de calidad del aire, para establecer un diseño efectivo de estrategias que permitan reducir sus emisiones contaminantes. En resumen, los modelos de dispersión son una poderosa herramienta para la gestión de la calidad del aire, dado que permiten evaluar el impacto de la operación de fuentes fijas individuales o múltiples, así como predecir la efectividad de programas regulatorios.

“Según antecedentes de la Unión Europea (EEA, 1999), Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y 2003a), Argentina (CNEAA, 1997) y el Banco Mundial (WBG, 1998), la modelación es una herramienta necesaria para estimar los cambios en la calidad del aire provocados por una o un conjunto de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos” (Bustos Cristian, 2004).

Algunos informes del Banco Mundial manifiestan la necesidad de aplicar modelos de calidad del aire con propósitos regulatorios, de difusión pública o de investigación y para ello proponen criterios para su uso. Estos criterios guían a los usuarios durante la aplicación de modelos con el objetivo de proveer bases comunes para estimar la concentración de contaminantes en el aire.

Con los crecientes problemas de contaminación y el énfasis dado a las normas de calidad del aire a partir de la década de 1970 en Estados Unidos y Europa y durante los últimos 10 años en los países en vías de desarrollo, los modelos de dispersión están siendo extensamente usados en evaluaciones de impacto ambiental, así como para apoyar el establecimiento de requisitos específicos a las emisiones (Arregui, 2007).

Por tales motivos, en el presente informe se evaluarán las emisiones que producirán las actividades industriales de la nueva planta de ADELCA en Milagro, en función de las especificaciones establecidas por el fabricante.

Desde los desfuegos de la chimenea se produce la mezcla y dilución de los gases de combustión en el aire, dando lugar a una distribución variable de la concentración de los contaminantes, tanto en el espacio como en el tiempo, lo que determina conjuntamente con las condiciones climáticas, meteorológicas y topográficas, la calidad del aire presente en el entorno cercano; la calidad del aire depende de las características de las fuentes de emisión, cantidad de fuentes generadoras, tipo de combustibles utilizados, eficiencia del sistema de combustión, la altura de la chimenea, la topografía, la altitud y la estabilidad atmosférica. De allí que todos estos factores aportan incertidumbre, variabilidad y dificultad en el monitoreo ambiental, no obstante, la aplicación de metodologías estándar, ayudan a minimizar estas variables.

En base a los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos se puede realizar un análisis de cumplimiento de acuerdo a los valores máximos permisibles establecidos en la Legislación Ambiental vigente (TULSMA, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del Aire Ambiente).

Es así que el presente documento corresponde al informe del modelo matemático de dispersión de contaminantes atmosféricos.

1.1 ALCANCE DEL MODELO

El modelo aplicado se basa en lo estipulado por el *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised* (US EPA, 1992), permite encontrar las concentraciones de contaminantes atmosféricos para concentraciones máximas horarias, máximas diarias y promedio anuales a nivel del suelo, considera las condiciones simples y complejas del terreno y permite evaluar la influencia de la variación de las condiciones meteorológicas. Este modelo propuesto por la EPA (Environmental Protection Agency), denominado ISCST3 Prime (Modelo de Dispersión de Complejo de Fuente Industrial) fue desarrollado mediante el programa informático BEEST for Windows, el cual utiliza una metodología que permite determinar el impacto de la fuente bajo un conjunto de condiciones meteorológicas y topográficas, y establecer los posibles escenarios de contaminación (bajo condiciones operativas reales), de tal manera que no se puedan tener concentraciones superiores a las que se obtendrán con el modelo.

2.0 MARCO LEGAL

La aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en Ecuador, como herramienta de la gestión ambiental, y específicamente como herramienta de la evaluación de impacto ambiental, se encuentra limitada a lo exigido por la legislación ambiental, sin embargo, la misma legislación ambiental exige su aplicación como parte de la evaluación de impacto ambiental, tanto para determinar el impacto durante su operación como el cumplimiento de los límites máximos permitidos por sus normas técnicas; el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA ó TULAS) incluye dentro de su artículos el siguiente: Libro VI, Anexo 3: Numeral 4.1.4.2: “Las

fuentes fijas significativas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas sustancialmente, como parte integral del estudio de impacto ambiental requerido, deberán evaluar su impacto en la calidad del aire mediante el uso de modelos de dispersión.”.

3.0 OBJETIVOS

- Calcular las concentraciones de contaminantes atmosféricos a producirse en el área de influencia de la nueva planta de ADELCA en Milagro, a través del uso de un modelo detallado de dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Evaluar el cumplimiento de las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos (NO_x, SO₂ y MP), que se emitirán producto de las actividades industriales de la nueva planta de ADELCA en Milagro, de acuerdo a los límites máximos permitidos que constan en la legislación ambiental nacional vigente.
- Evaluar el cumplimiento de las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos (NO_x, SO₂ y MP), de acuerdo a los límites máximos permitidos que constan en la legislación ambiental nacional vigente.

4.0 CONSIDERACIONES GENERALES

4.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Un contaminante emitido a la atmósfera es arrastrado por las corrientes de aire siguiendo la dirección predominante del viento. Los movimientos perpendiculares al viento y la turbulencia colaboran en la dispersión de dicho contaminante. La velocidad del viento afecta en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante. La predicción del desplazamiento de la pluma de una sustancia emitida a la atmósfera alrededor del punto de emisión, es un tema de gran interés en el ámbito de la Calidad del Aire, y suele ser manejado con los modelos gaussianos de dispersión que permiten calcular las concentraciones de sustancias en los puntos de interés. Los modelos permiten variar las condiciones meteorológicas, topográficas y las características de las fuentes emisoras, para crear escenarios que ayuden a determinar los factores que intervienen en la ocurrencia de las peores condiciones de contaminación.

La aplicación de un modelo detallado de dispersión de contaminantes atmosféricos requiere el uso de datos meteorológicos también detallados; dirección del viento, velocidad del viento y radiación solar o nubosidad que son conocidos como datos primarios; y otros obtenidos a partir de éstos, como son las categorías de estabilidad atmosférica en base a la clasificación de Pasquill y la altura de mezcla urbana y rural. Esto permitirá conocer el comportamiento real de la pluma de dispersión, vale decir, la ubicación de las zonas más afectadas por la caída de los contaminantes. (Arregui, 2007)

En cuanto a la información de la fuente, los datos requeridos se refieren a las dimensiones de la fuente emisora, así como a la temperatura, velocidad y flujo másico de los gases de salida.

Para el presente caso, se han usado los datos meteorológicos de la Estación Guayaquil Aeropuerto de la DAC, instalada en el Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 4.1-1 Estación meteorológica utilizada en la modelación

ESTACIÓN	COORDENADAS		ELEVACIÓN (m)
	OESTE	SUR	
Aeropuerto José Joaquín de Olmedo	79°53'01"	2°09'27"S	6

Las categorías de estabilidad son usadas en los modelos gaussianos para facilitar la estimación de los parámetros de dispersión lateral y vertical. El esquema de clasificación propuesto por Pasquill en 1961, es el más recomendado ya que los parámetros de dispersión asociados a este esquema son obtenidos a partir de curvas que relacionan las clases de estabilidad con la distancia horizontal (x) en la dirección del viento (Curvas de Pasquill-Gifford). Para determinar la estabilidad atmosférica presente a cada hora, en función de los datos registrados se realizó una clasificación de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 4.1-2 CLAVE PARA LA DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD DE PASQUILL (ZANNETTI, 1990)

INSOLACIÓN / NUBOSIDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S)				
	< 2.0	2.0 a < 3.0	3.0 a < 5.0	5.0 a < 6.0	≥ 6.0
Insolación fuerte (día)	A	A-B	B	C	C
Insolación moderada (día)	A-B	B	B-C	C-D	D
Insolación ligera (día)	B	C	C	D	D
Completamente cubierto (día o noche)	D	D	D	D	D
≥ 0.5 cubierto de nubes (noche)	F	E	D	D	D
≤ 0.4 cubierto de nubes (noche)	F	F	E	D	D

Las letras corresponden a las siguientes categorías: A, muy inestable; B, inestable; C, ligeramente inestable; D, neutra; E, ligeramente estable; y, F, estable.

Las categorías de estabilidad propuestas en el cuadro anterior, contemplan dos parámetros bien definidos: la velocidad del viento y nubosidad. Es necesario clasificar cada registro mediante una condición que refleje la distribución mostrada en la tabla superior, para lo cual es requerido el manejo de las diversas funciones establecidas en el programa Microsoft Excel.

Finalmente se contabilizan los resultados de cada clase y se establecen los porcentajes de tiempo para cada categoría de estabilidad atmosférica.

Por otra parte, la altura de mezcla o también conocida como capa de mezcla se define como la capa inferior de la atmósfera en la que el penacho se desarrolla y asciende libremente en dirección vertical. Para el cálculo de este parámetro se utilizó la siguiente expresión:

$$h_m = 320 \cdot V_{viento}$$

Donde:

- h_m es la altura de mezclado (m)
- V_{viento} es la velocidad del viento (m/s)

Para los casos en que se tuvo condiciones estables se usó un valor de h_m igual a 10,000 m.

4.1.1 ALTURA EFECTIVA DE EMISIÓN

La altura física de emisión es el resultado de añadir la elevación de la pluma (Δh) a la altura física de la fuente (h_s). Este fenómeno de elevación de la pluma es el resultado de la flotación de la corriente de gas debido a la diferencia térmica respecto del aire ambiente y el momentum vertical o cantidad de movimiento ascensional asociado a la velocidad de salida de los gases.

Existen diversos estudios que presentan ecuaciones semi-empíricas para proceder a este cálculo; sin embargo, el modelo escogido utiliza las denominadas ecuaciones de Briggs para la elevación final (EPA, 2001). Estas ecuaciones consideran las distintas condiciones de estabilidad atmosférica (inestable, neutra o estable) para establecer la preponderancia de los factores anotados, fuerza ascensional térmica o cantidad de movimiento, en la elevación final de la pluma y, por lo tanto, la altura efectiva de emisión. Al igual que en el caso de los coeficientes de dispersión, una explicación detallada de este aspecto y de la forma como está incorporada en el modelo puede encontrarse en la Sección 1.1.4 del Volumen II de la User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models (EPA, 1995).

En todos los casos de análisis la relación entre velocidad de salida de los gases y la velocidad del viento es mayor a 1.5 ($V_s/u > 1.5$), por lo que no es necesario considerar la caída del flujo de gas; por lo que la altura efectiva de emisión ha sido calculada en base a las siguientes Ecuaciones de Briggs (1972).

ECUACIÓN 4-5: ECUACIONES DE BRIGGS PARA ATMÓSFERAS NEUTRAS E INESTABLES

Si $F_b < 55$, la ecuación a utilizar es:

$$\Delta h = 21.4 \cdot \left(\frac{F_b^{3/4}}{u} \right)$$

Si $Fb \geq 55$, la ecuación a utilizar es:
$$\Delta h = 38.7 \cdot \left(\frac{Fb^{3/5}}{u} \right)$$

ECUACIÓN 4-6: ECUACIONES DE BRIGGS PARA ATMÓSFERAS ESTABLES

Si $Fb \geq 55$, la ecuación a utilizar es:
$$\Delta h = 2.6 \cdot \left(\frac{Fb}{u \cdot S} \right)^{1/3}$$

S: parámetro de estabilidad
$$S = \frac{g}{Ta} * \left(\frac{Fb}{u \cdot S} \right)^{1/3}$$

4.1.2 RESUMEN DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS

La estación climática más cercana al sitio de análisis corresponde a la Estación Guayaquil Aeropuerto; dichos datos corresponden a los necesarios para el modelo de dispersión. Los datos registrados corresponden al periodo enero 2012-diciembre 2013.

En cuanto al análisis estadístico de los datos meteorológicos, se puede mencionar que busca encontrar dos parámetros fundamentales para la modelación de contaminantes atmosféricos: a) Las direcciones dominantes del viento, y b) La condiciones de estabilidad atmosférica, también dominantes en el área de influencia de la Nueva planta de ADELCA en Milagro.

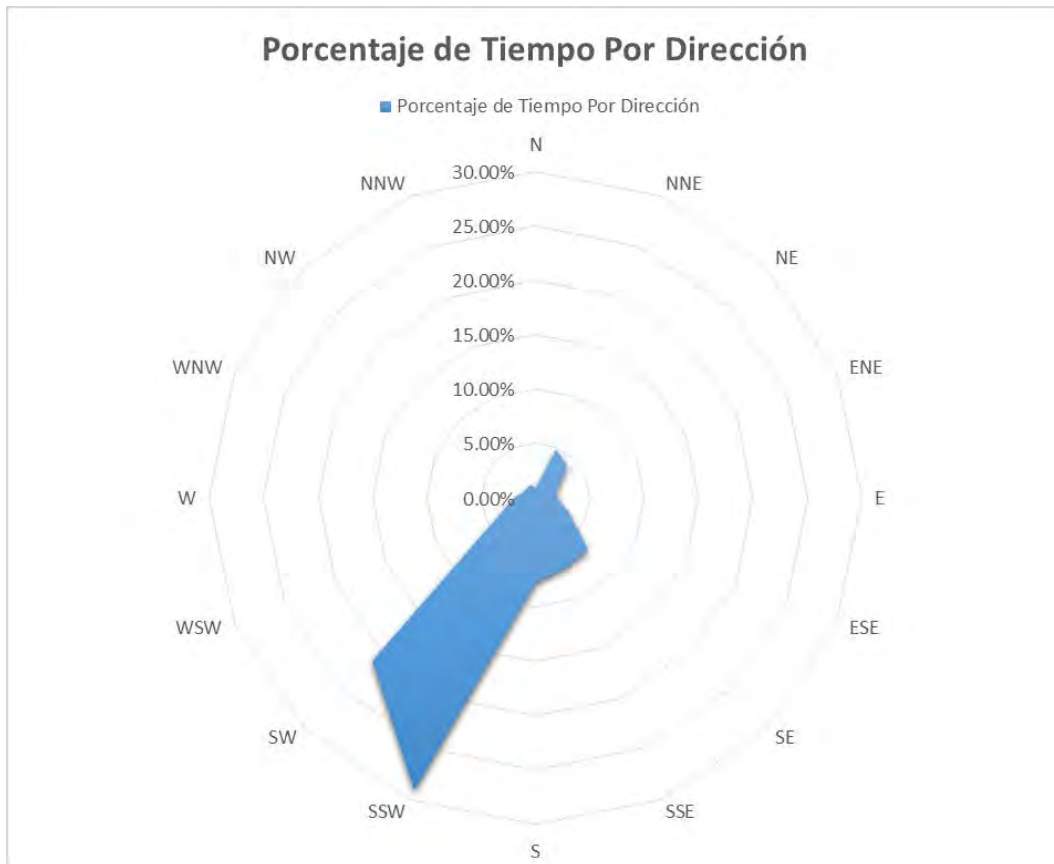
La Tabla 4.1-3 presenta el resumen multianual para el período 2012 -2013, de la distribución de la dirección del viento por rango de velocidad.

Tabla 4.1-3 Velocidad y Dirección del Viento en Milagro (2012-2013)

Etiquetas de fila	Cuenta de Velocidad	Porcentaje de Tiempo Por Dirección
N	79	0.90%
NNE	421	4.81%
NE	363	4.14%
ENE	187	2.13%
E	174	1.99%
ESE	288	3.29%
SE	598	6.83%
SSE	611	6.97%
S	680	7.76%
SSW	2552	29.13%
SW	1855	21.18%
WSW	299	3.41%
W	173	1.97%
WNW	107	1.22%
NW	105	1.20%

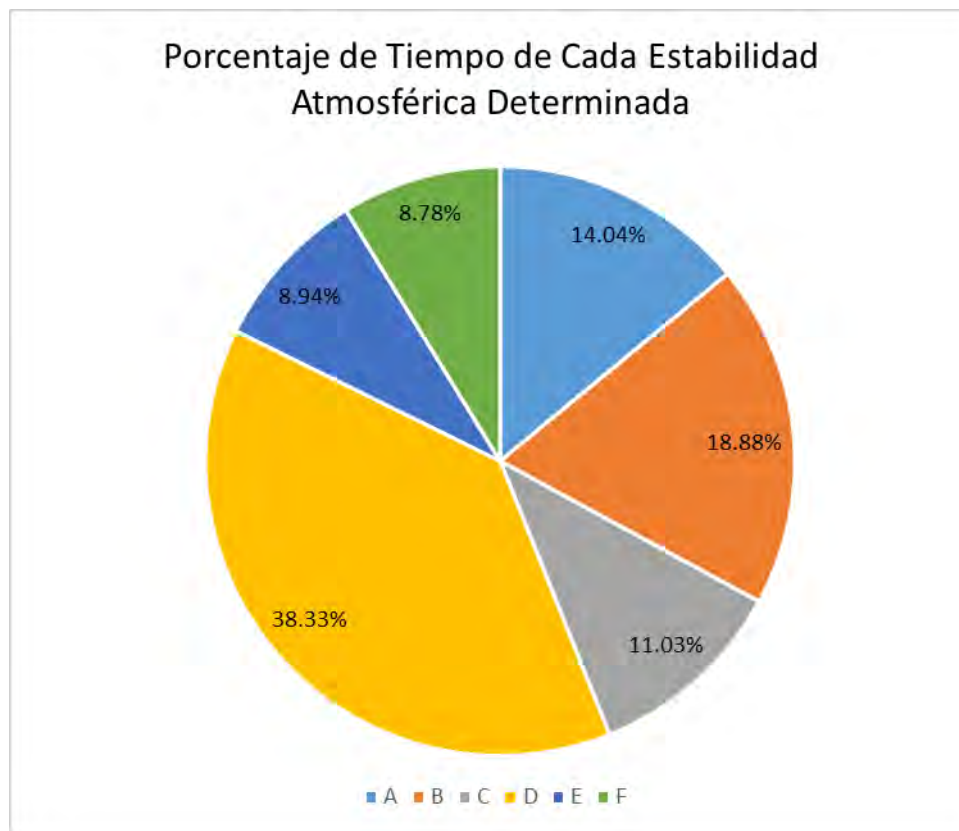
Etiquetas de fila	Cuenta de Velocidad	Porcentaje de Tiempo Por Dirección
NNW	114	1.30%
CLM	154	1.76%
Total general	8760	87.09%

Gráfico 4.1-1 Porcentaje de la dirección del viento y la velocidad del viento en el Área de Influencia de la nueva planta de ADELCA en Milagro (2012-2013)



En cuanto a las condiciones de estabilidad atmosférica; el análisis de los datos recolectados permite afirmar que existe un balance entre las condiciones estables y no estables, pues se tiene que más de 40% representan una condición de estabilidad.

Gráfico 4.1-2 Porcentaje de tiempo de cada condición de Estabilidad Atmosférica en el Área de Influencia de la nueva planta de ADELCA en Milagro



4.2 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Para la determinación de las emisiones atmosféricas de la chimenea y horno, se ha tomado la información proporcionada por el fabricante de los equipos..

Los parámetros solicitados por el modelo de dispersión para las fuentes fijas emisoras son:

- Las coordenadas del punto o los puntos de emisión (m)
- Altura y diámetro de la chimenea (m)
- Temperatura de salida de los gases (K)
- Velocidad de salida de los gases (m/s)
- Flujo de salida de los gases (acm/s)
- Flujos máxicos de cada contaminante (g/s)

El modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos en BEEST for Windows, requiere que el flujo máxico de los contaminantes atmosféricos esté expresado en gramos sobre segundo (g/s), para lo cual es necesario equiparar las condiciones de los parámetros

ingresados al modelo. Por lo general, las concentraciones de los contaminantes están medidas a condiciones normales, es decir a 0 °C de temperatura, a 1 atm de presión, y expresadas en mg/m³; por otro lado, la velocidad de salida del gas está determinada a las condiciones de presión y temperatura dadas en la chimenea.

El flujo másico de cada contaminante puede ser obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m} = \frac{[X] \cdot \dot{V}_N}{1000} ;$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico del contaminante x del gas de salida en condiciones normales (g/s)

[X]: Concentración del contaminante x en condiciones normales (mg/m³)

\dot{V}_N : Flujo volumétrico del gas de salida en condiciones normales (m³/s)

Dado que las condiciones en la chimenea pueden ser medidas, se puede calcular el flujo volumétrico en condiciones de chimenea a partir de la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_C = v_C \cdot A_C$$

Donde:

\dot{V}_C : Flujo volumétrico del gas de salida en condiciones de chimenea (m³/s)

v_C : Velocidad del gas de salida en condiciones de chimenea (m/s)

A_C : Área de la sección transversal de la chimenea (m²)

Y la equiparación de las condiciones puede ser establecida mediante la ley general de los gases, utilizando la siguiente fórmula, a partir de la cual se obtiene el flujo volumétrico en condiciones normales:

$$\frac{P_C \cdot \dot{V}_C}{T_C} = \frac{P_N \cdot \dot{V}_N}{T_N}$$

Donde:

P_C, T_C : Presión y temperatura a condiciones de chimenea

P_N, T_N : Presión y temperatura a condiciones normales

A continuación se presenta una tabla con las emisiones promedio indicadas por el fabricante de la chimenea y horno instalados en la Nueva planta de ADELCA en Milagro.

Cabe anotar que el cálculo de los flujos máxicos se realizó a partir de los datos y el flujo volumétrico establecidos por el fabricante. Por ello este modelo está limitado a considerar como correcta la información correspondiente a los flujos volumétricos.

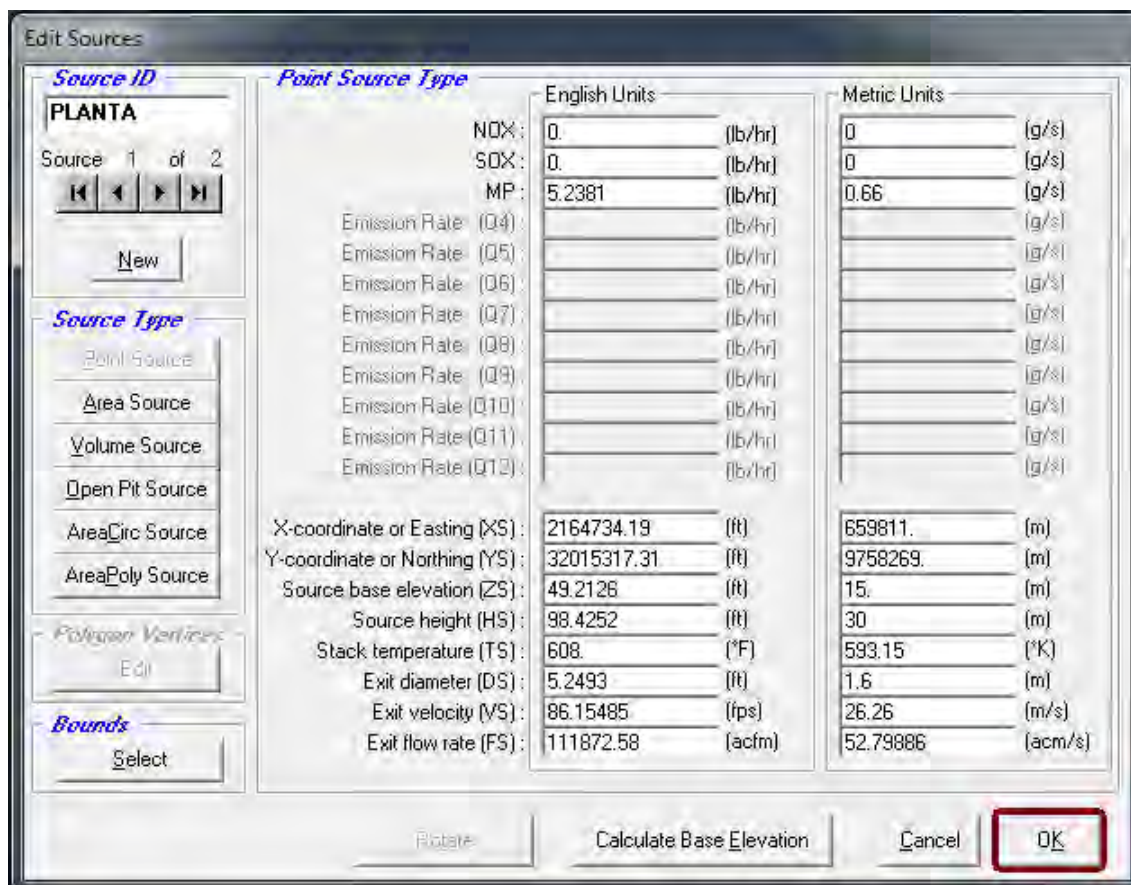
TABLA 4.2-1 CÁLCULO DE LAS EMISIONES PROMEDIO DE LAS FUENTES OPERATIVAS

	Planta de tratamiento de Humo	Chimenea de horno de calentamiento
Tasa de emisión MP (g/s)	0.66	0.04
Tasa de emisión NO _x (g/s)		1.17
Tasa de emisión SO ₂ (g/s)		9.33
Altura de chimenea (m)	30	30
Diámetro de chimenea (m)	1.6	1.6
Velocidad de salida (m/s)	26.26	18.0
Temperatura de salida (°K)	593.15	723.15

4.3 FUENTES SIGNIFICATIVAS

Para conocer la influencia real de la chimenea y horno que operan en la Nueva planta de ADELCA en Milagro, se corrió el modelo de dispersión de contaminantes para todas las fuentes operativas. A continuación se presenta el esquema de ingreso de datos de las fuentes.

Figura 4.3-1 Fuentes contaminantes para la Nueva planta de ADELCA en Milagro



The screenshot shows the 'Edit Sources' window for a 'Point Source Type'. The source is named 'PLANTA' and is Source 1 of 2. The data is entered in English Units and Metric Units.

Parameter	English Units	Metric Units
NOx	0 (lb/hr)	0 (g/s)
SOx	0 (lb/hr)	0 (g/s)
MP	5.2381 (lb/hr)	0.66 (g/s)
Emission Rate (Q4)		
Emission Rate (Q5)		
Emission Rate (Q6)		
Emission Rate (Q7)		
Emission Rate (Q8)		
Emission Rate (Q9)		
Emission Rate (Q10)		
Emission Rate (Q11)		
Emission Rate (Q12)		
X-coordinate or Easting (XS)	2164734.19 (ft)	659811. (m)
Y-coordinate or Northing (YS)	32015317.31 (ft)	9758269. (m)
Source base elevation (ZS)	49.2126 (ft)	15. (m)
Source height (HS)	98.4252 (ft)	30 (m)
Stack temperature (TS)	608. (°F)	593.15 (°K)
Exit diameter (DS)	5.2493 (ft)	1.6 (m)
Exit velocity (VS)	86.15485 (fps)	26.26 (m/s)
Exit flow rate (FS)	111872.58 (acfm)	52.79886 (acm/s)

4.4 INGRESO DE DATOS AL MODELO

4.4.1 LA ECUACIÓN BÁSICA DEL MODELO GAUSSIANO

La expresión matemática del modelo para calcular la concentración instantánea del contaminante o el promedio de corto plazo (una hora) a nivel de suelo, causada por la emisión desde una fuente fija puntual, es la siguiente:

$$c_j = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{he - z}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

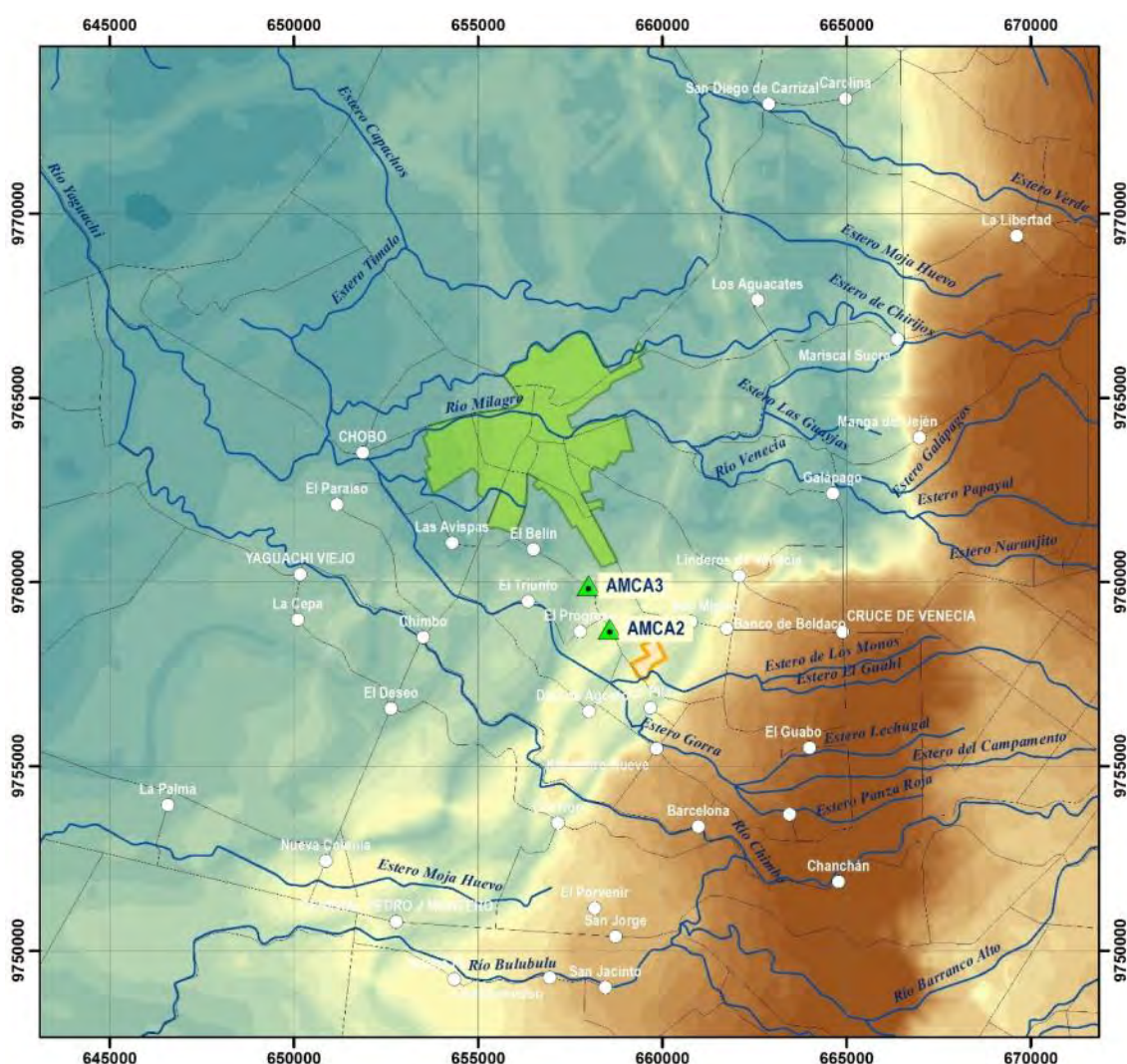
donde:

- Cj : Concentración de corto plazo del contaminante en un punto de coordenadas (x, y, z) determinadas, en g/m³
- Q : Tasa de emisión, en g/s
- u : Velocidad del viento a la altura efectiva de emisión, en m/s
- σ_y : Desviación estándar de la distribución espacial de la concentración o coeficiente de dispersión en la dirección transversal, este parámetro es función de la distancia en la dirección del viento (eje x) entre la fuente de emisión y el punto receptor, en m
- σ_z : Desviación estándar de la distribución espacial de la concentración o coeficiente de dispersión en la dirección vertical, este parámetro es función de la distancia en la dirección del viento (eje x) entre la fuente de emisión y el punto receptor, en m
- y : Distancia horizontal transversal desde el receptor a la línea central de la pluma, en m
- z : Distancia vertical desde el receptor a la línea central de la pluma, en m
- he : Altura efectiva de emisión; es decir, altura física de la fuente más la elevación de la pluma debido a la velocidad de salida (cantidad de movimiento) y a la diferencia térmica entre la salida y el ambiente (bouyancia térmica).

4.4.2 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS

La configuración del terreno se introduce al programa a través de DTM (Modelo digital del terreno), esto permite incorporar la variable posicional de cada punto de análisis (valores de y, z en la ecuación básica), a la vez que permite realizarlo en toda el área de estudio y no únicamente en ubicaciones discretas.

Figura 4.4-1 Modelo Digital de Elevación del Área de influencia de la nueva planta de ADELCA en Milagro.



4.4.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos que requiere el modelo para el análisis deben ingresarse bajo el esquema presentado en la siguiente tabla, y de la cantidad de los mismos depende la calidad de los resultados finales.

Tabla 4.4-1 Esquema de ingreso de los datos meteorológicos

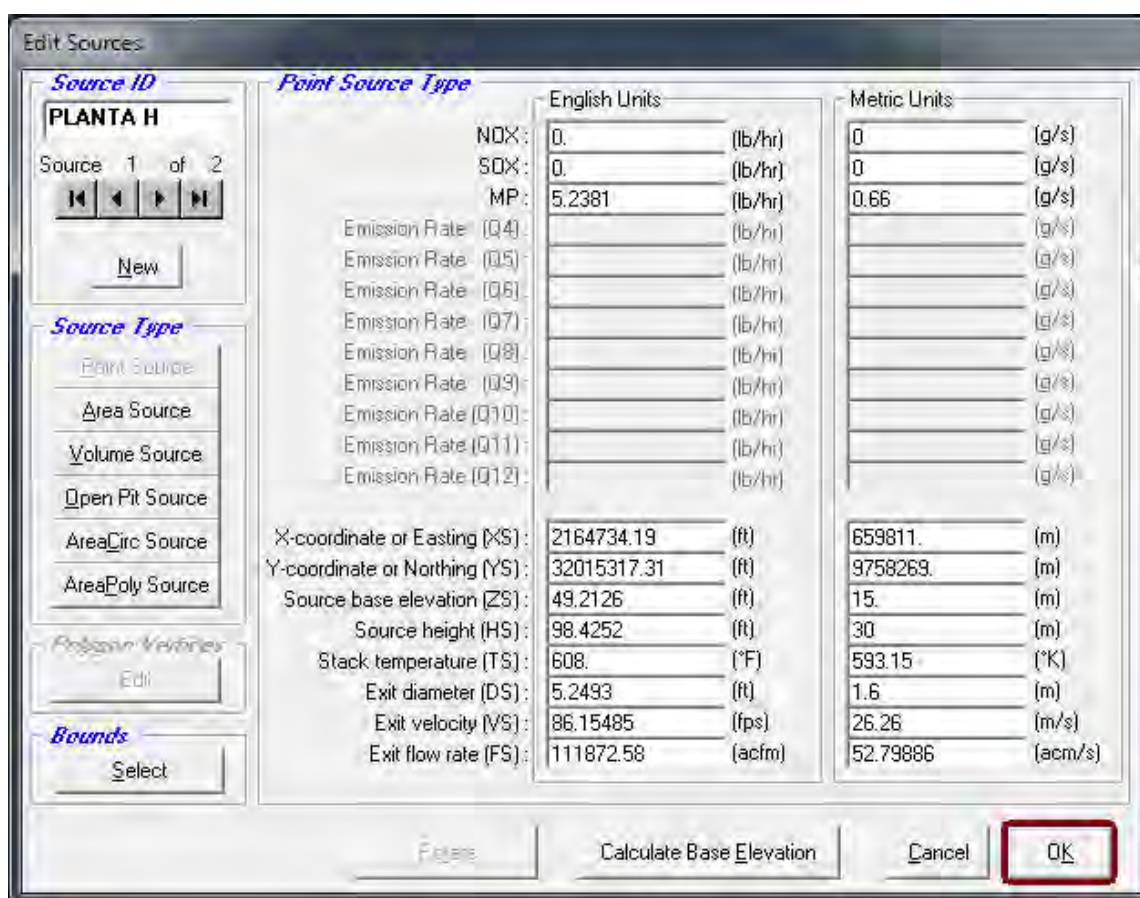
Año	mes	día	hora	Dirección del Viento (grados)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (K)	Estabilidad	Altura de mezclado urbana (m)	Altura de mezclado rural (m)
7	1	30	12	22.5000	0.8889	288.7	2	284.4	284.4
7	1	30	13	45.0000	0.8889	289.0	2	284.4	284.4
...

Para el caso del presente estudio se usaron 8749 registros horarios, sin embargo, es necesario indicar que la información mostró vacíos importantes, que se deben a momentos (días o semanas) en los cuales la estación meteorológica falló. Por lo tanto, es necesario completar los datos faltantes para que el modelo realice los cálculos correctamente.

4.4.4 DATOS DE LAS FUENTES FIJAS A MODELAR

El ingreso de los datos de las fuentes fijas a modelar se lo realiza directamente a través de una interfase gráfica que permite la inclusión de múltiples fuentes georreferenciadas y varios contaminantes para cada una.

Figura 4.4-2 Ejemplo del cuadro de ingreso de datos al modelo

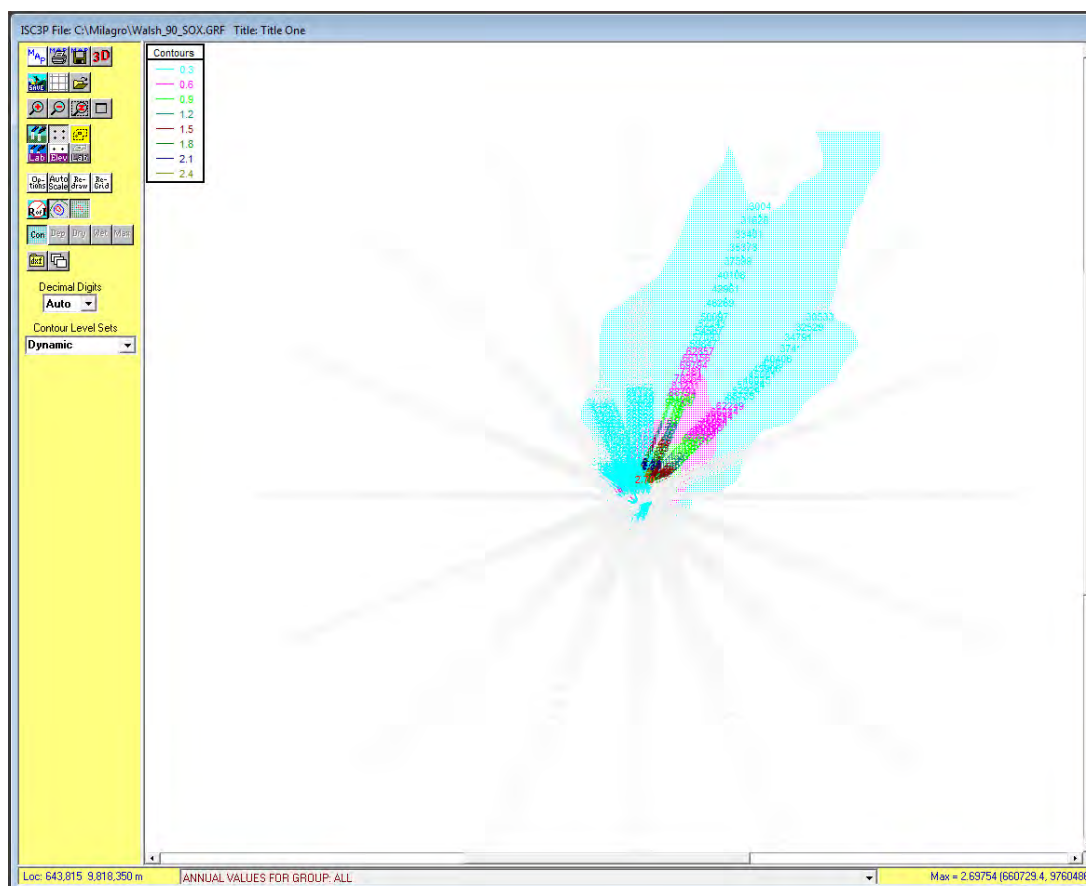


Parameter	English Units	Metric Units
NOX	0. (lb/hr)	0 (g/s)
SOX	0. (lb/hr)	0 (g/s)
MP	5.2381 (lb/hr)	0.66 (g/s)
Emission Rate (Q4)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q5)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q6)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q7)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q8)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q9)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q10)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q11)	(lb/hr)	(g/s)
Emission Rate (Q12)	(lb/hr)	(g/s)
X-coordinate or Easting (XS)	2164734.19 (ft)	659811. (m)
Y-coordinate or Northing (YS)	32015317.31 (ft)	9758269. (m)
Source base elevation (ZS)	49.2126 (ft)	15. (m)
Source height (HS)	98.4252 (ft)	30 (m)
Stack temperature (TS)	608. (°F)	593.15 (°K)
Exit diameter (DS)	5.2493 (ft)	1.6 (m)
Exit velocity (VS)	86.15485 (fps)	26.26 (m/s)
Exit flow rate (FS)	111872.58 (acfm)	52.79886 (acm/s)

4.4.5 RESULTADOS ENTREGADOS POR EL MODELO

El modelo computacional entrega los resultados de forma gráfica para toda el área de estudio; para cada punto de análisis entrega un valor de concentración (formato vector) permitiendo realizar un análisis geográfico del comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, sin embargo, los resultados han sido trasladados a un sistema de información geográfica para un mejor análisis.

FIGURA 4.4-3 EJEMPLO DE LOS RESULTADOS GRÁFICOS ENTREGADOS POR EL MODELO MATEMÁTICO



4.4.6 SUPERFICIES CONTINUAS DE CONCENTRACIÓN

En el modelo de Dispersión de Contaminantes, la estructura vector de los puntos representan una superficie de observaciones discreta, es decir, que no existe continuidad en los valores de concentración promedio anual ponderada para la extensión total del área de influencia, únicamente se conocen los valores para los puntos calculados.

Con el objetivo de transformar las superficies discretas a continuas, existe la interpolación que es un ajuste matemático estadístico mediante el cual, a partir de las observaciones puntuales se pueden determinar los valores intermedios entre dos puntos en función de la distancia de separación y del valor a calcularse en este caso la concentración de cada punto. Otra forma de crear continuidad a una superficie es mediante la triangulación, gracias a la cual se obtienen los TIN (Triangulated irregular network) (Arregui, 2007)

4.4.6.1 CONSTRUCCIÓN DE TIN (TRIANGULATED IRREGULAR NETWORK)

La disposición preliminar de los puntos en función de distancias y direcciones con mayor densidad en longitudes cercanas a la fuente permiten concluir que la mejor forma de crear una superficie continua de contaminantes es mediante la construcción de un TIN (Red de Triángulos Irregulares) puesto que la disposición de los puntos se ajusta al

comportamiento horizontal de la concentración a lo largo de una dirección definida y además en comparación con los métodos de interpolación, la triangulación mantiene los valores originales calculados en la red. De ahí los valores resultantes de la triangulación son producto de la proporción lineal que existe entre los segmentos de cada vértice que conforma un triángulo. Cada triángulo debe cumplir con la *condición de Delaunay* para lograr una triangulación más aceptable, es decir, que cada circunferencia circunscrita posea únicamente los tres vértices del triángulo que la conforma y nada más. Por ello la fuerza de figura para lograr esta condición hace que los triángulos que se formen sean lo más aproximados a los triángulos equiláteros. (Arregui, 2007)

4.4.6.2 ESTRUCTURA DE DATOS RÁSTER

Sin embargo, conocer las concentraciones aisladas de cada fuente representativa no corresponde al objetivo de la presente metodología propuesta, es necesario obtener las concentraciones totales tanto de SO₂, CO, NO_x y Material Particulado. Por cuanto es imprescindible sumar las concentraciones promedio anuales ponderadas de cada fuente para obtener así un modelo de dispersión total de la facilidad para cada contaminante. Bajo esta premisa, el modelo TIN, no permite sumar los valores temáticos de concentración en forma gráfica, para ello es necesario convertir el formato vector a un formato ráster. (Arregui, 2007)

El formato ráster no es más que una matriz bidimensional, la misma que está compuesta por celdas. Esta matriz bidimensional para ajustarse al concepto gráfico y temático de los SIG's posee en cada celda un valor numérico conocido como Número Digital, el mismo que representa la variable temática que se quiera modelar en el formato numérico que se desee (resolución radiométrica¹) en formato de escalas de colores, desde grises a RGB (Red Green Blue), a su vez cada celda está debidamente georeferenciada para mantener válido el concepto espacial (Arregui, 2007).

5.0 RESULTADOS

El modelo matemático utilizado permite obtener las concentraciones anuales promedio, máximas horarias y máximas diarias al mismo tiempo.

A continuación se presentan los resultados de la simulación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por los equipos instalados y en operación, para diferentes períodos de análisis, de acuerdo a lo estipulado en la legislación ambiental aplicable.

¹ La Resolución Radiométrica es la sensibilidad del volumen de almacenamiento del dato de cada número digital, varía desde 1 bit hasta 64 bits con lo que quiere decir que en un ráster de 8 bits, cada celda y su correspondiente número digital ocupara un espacio en el disco duro de 8 bits o 1 byte. Cada número digital tendrá asociado un color para su representación gráfica, dependiendo del tipo de resolución se tendrán el número de colores, así pues el número de colores será la base 2 elevada al tipo de resolución; por eso para un ráster de 8 bits tendrá asociados a él desde el 0 al 256 en números digitales y por ende 256 colores.

Tabla 4.4-1 Concentraciones máximas resultantes para la Nueva planta de ADELCA en Milagro

Contaminante	Promedio	Conc. ug/m ³	East(X)	North(Y)
MP	ANNUAL	0.1664	660882.5	9760856
MP	1-HR	1.23752	660659.5	9759118
MP	8-HR	0.7807	660499.81	9759932
MP	24-HR	0.5264	660499.81	9759932
NOX	ANNUAL	0.33828	660729.44	9760486
NOX	1-HR	2.41798	660659.5	9759118
NOX	8-HR	1.57701	660423.25	9759747
NOX	24-HR	1.06602	660423.25	9759747
SOX	ANNUAL	2.69754	660729.44	9760486
SOX	1-HR	19.28181	660659.5	9759118
SOX	8-HR	12.57568	660423.25	9759747
SOX	24-HR	8.50082	660423.25	9759747

Tabla 4.4-2 Concentraciones modeladas en los Puntos de Monitoreo

Contaminante	Promedio	AMCA2 ug/m ³	AMCA 3 ug/m ³
MP	ANNUAL	0.0219	0.032
MP	1-HR	0.96	0.74
MP	8-HR	0.47	0.37
MP	24-HR	0.15	0.17
NOX	ANNUAL	0.043	0.061
NOX	1-HR	1.90	1.38
NOX	8-HR	0.90	0.68
NOX	24-HR	0.27	0.31
SOX	ANNUAL	0.346	0.489
SOX	1-HR	15.18	11.03
SOX	8-HR	7.19	5.36
SOX	24-HR	2.19	2.46

5.1 COMPARACIÓN DE CUMPLIMIENTO CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL

En el Área del Proyecto, existen incumplimientos de los límites máximos permisibles para el Monóxido de Carbono (CO) en todos los promedios los demás contaminantes no cumplen con los valores máximos permisibles que están regulados según los periodos de análisis considerados por la norma de Calidad del Aire Ambiente (TULSMA). En la siguiente tabla se presenta el resumen de cumplimiento de la legislación ambiental:

Tabla 5.1-1 Cumplimiento con la legislación ambiental

Contaminante	Promedio	Conc. Ug/m³	East(X)	North(Y)	LM P	Cumpliment o
MP	ANNUAL	0.1664	660882.5	9760856	50	SI
MP	1-HR	1.23752	660659.5	9759118	N/A	NA
MP	8-HR	0.7807	660499.81	9759932	N/A	NA
MP	24-HR	0.5264	660499.81	9759932	100	SI
NOX	ANNUAL	0.33828	660729.44	9760486	40	SI
NOX	1-HR	2.41798	660659.5	9759118	200	SI
NOX	8-HR	1.57701	660423.25	9759747	N/A	NA
NOX	24-HR	1.06602	660423.25	9759747	N/A	NA
SOX	ANNUAL	2.69754	660729.44	9760486	60	SI
SOX	1-HR	19.28181	660659.5	9759118	N/A	NA
SOX	8-HR	12.57568	660423.25	9759747	N/A	NA
SOX	24-HR	8.50082	660423.25	9759747	125	SI

6.0 MAPAS DE CONCENTRACIONES

6.1 ONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

FIGURA 6.1-1: CONCENTRACIONES ANUALES DE SO₂ (UG/M3)

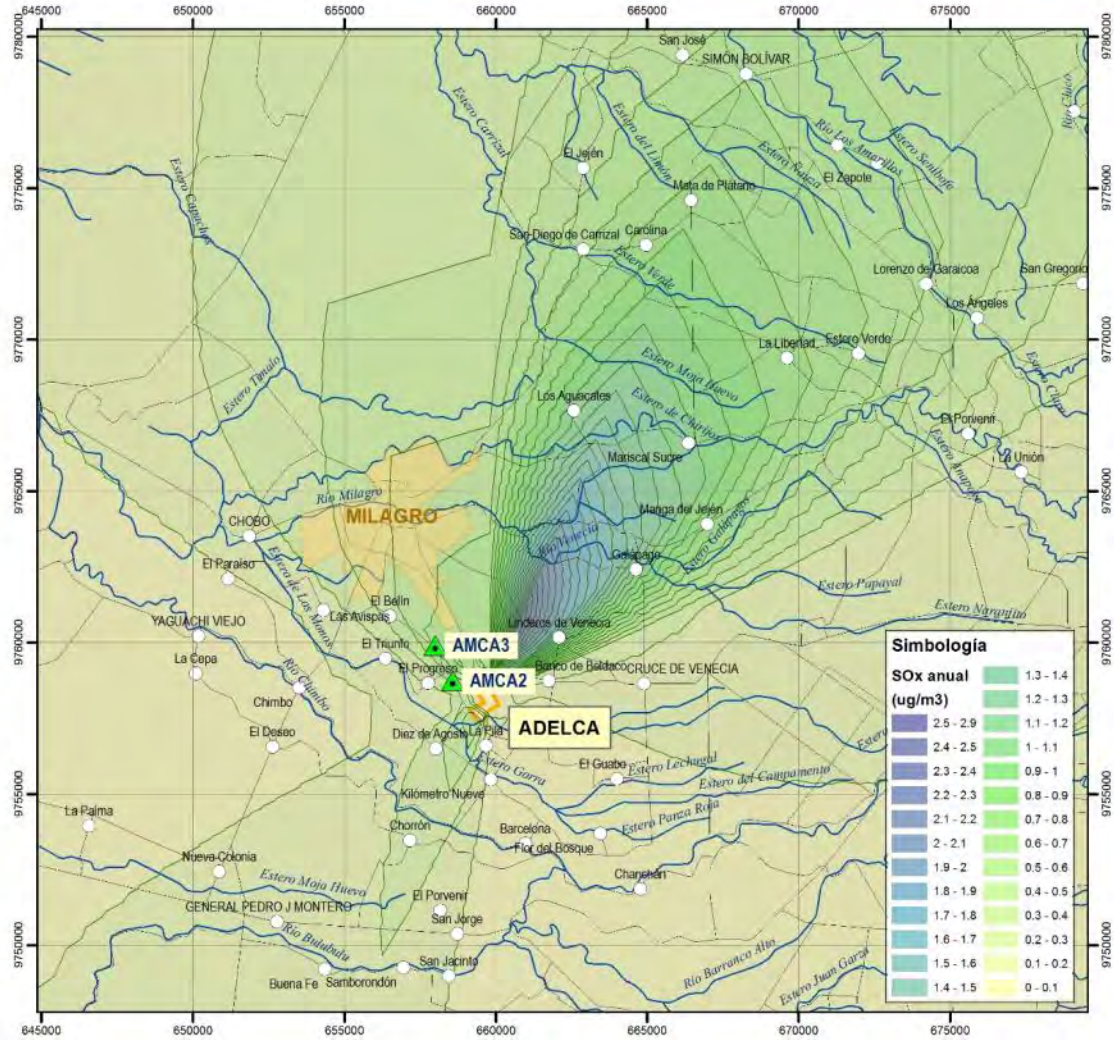


FIGURA 6.1-2: CONCENTRACIONES DE SO₂ PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 24 HORAS (UG/M³)

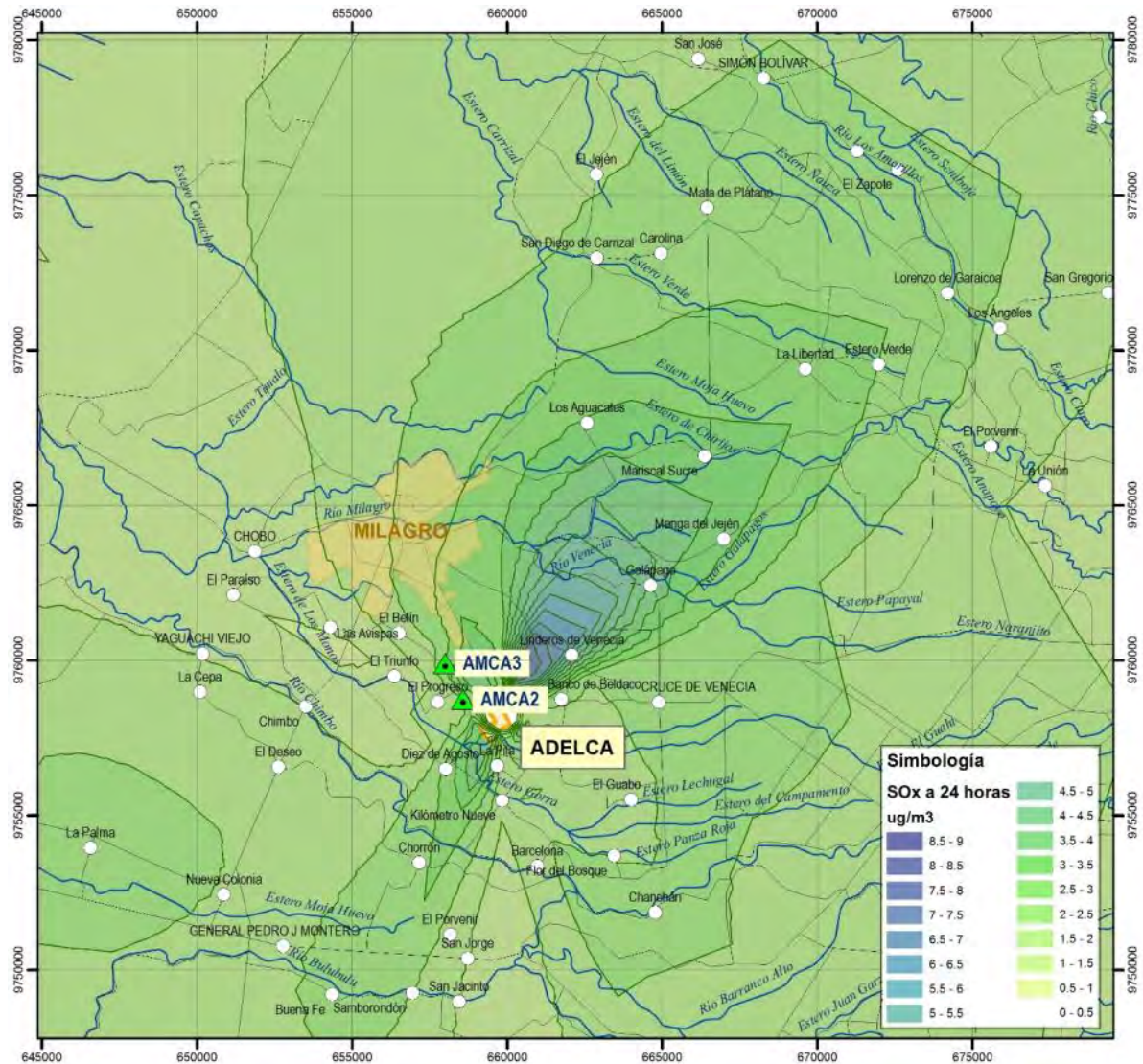


FIGURA 6.1-2: CONCENTRACIONES DE SO₂ PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 8 HORAS (UG/M³)

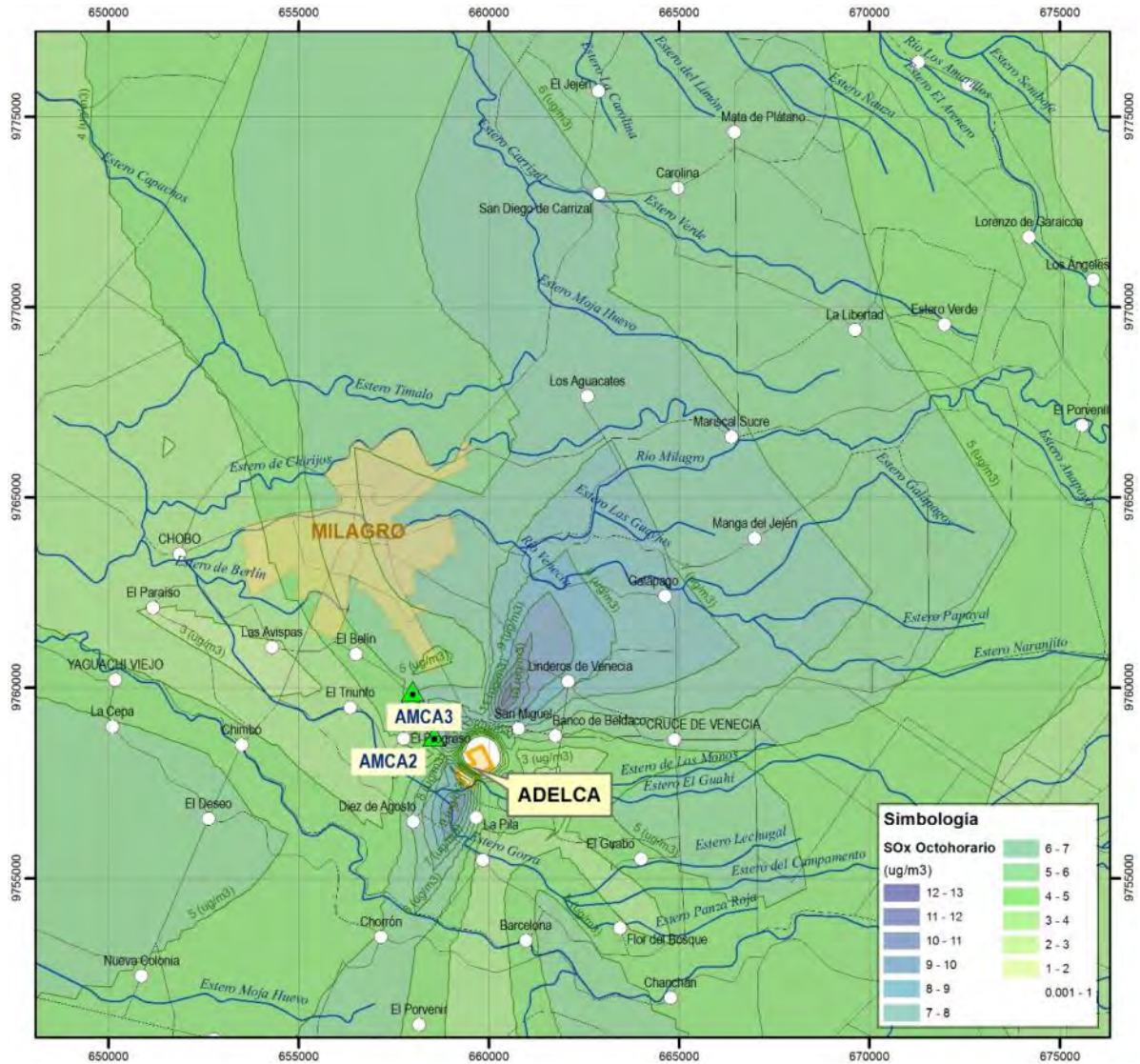
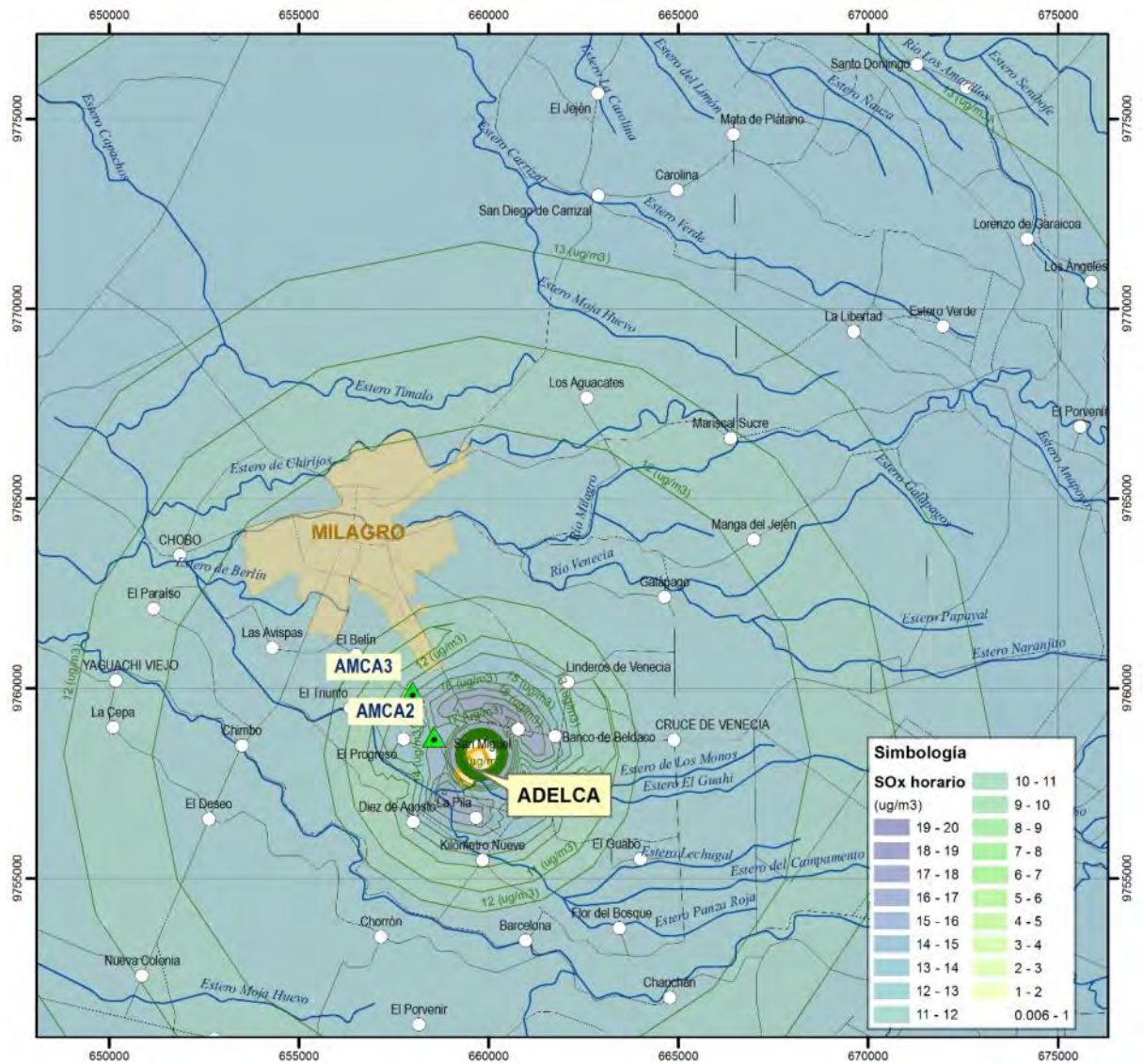


FIGURA 6.1-4: CONCENTRACIONES DE SO₂ PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 1 HORA (UG/M³)



6.2 CONCENTRACIONES DE OXIDOS DE NITRÓGENO (NOX)

FIGURA 6.2-1: CONCENTRACIONES ANUALES DE NO_x (UG/M3)

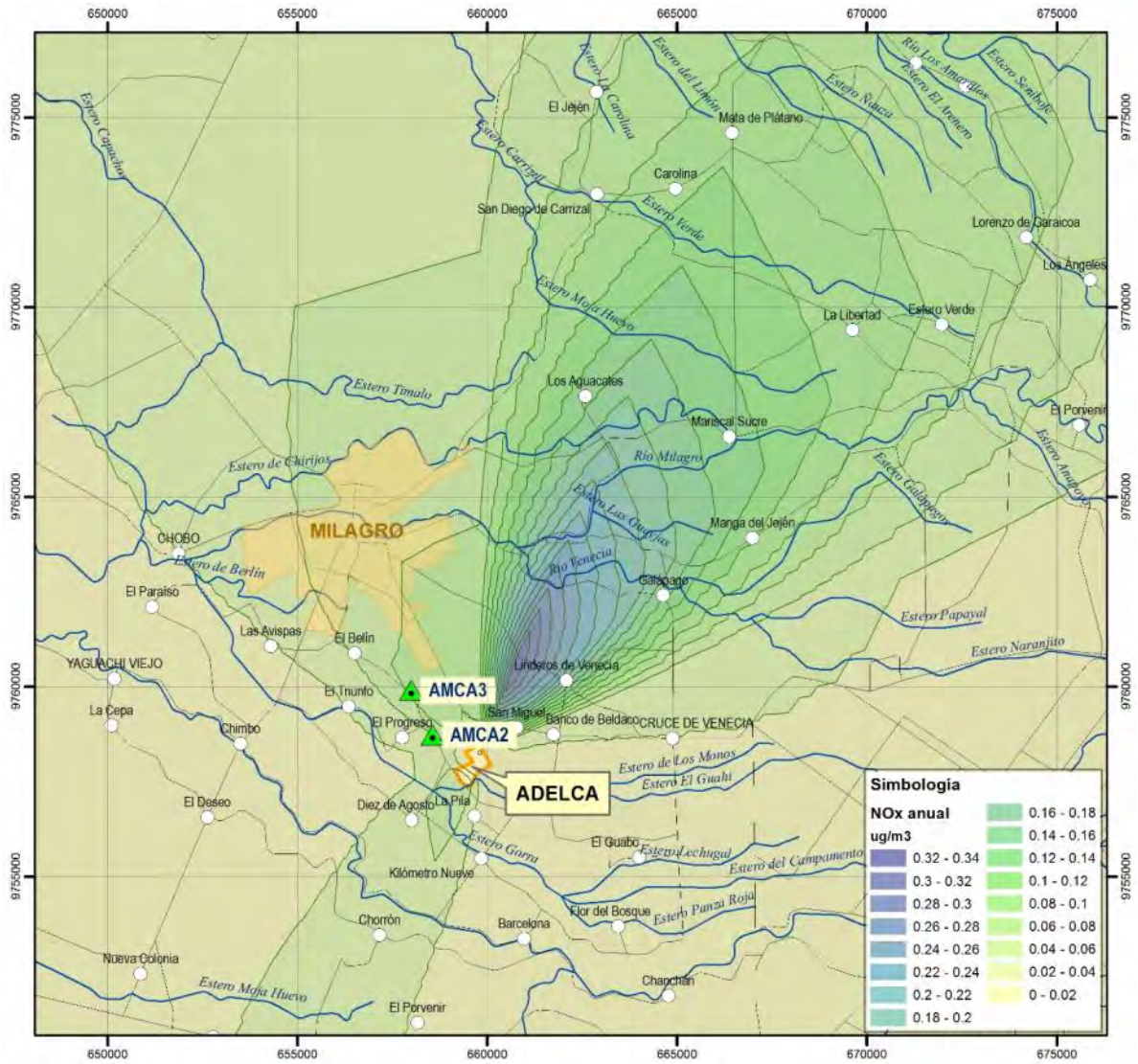


FIGURA 6.3-2: CONCENTRACIONES DE NO_x PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 24 HORAS (UG/M3)

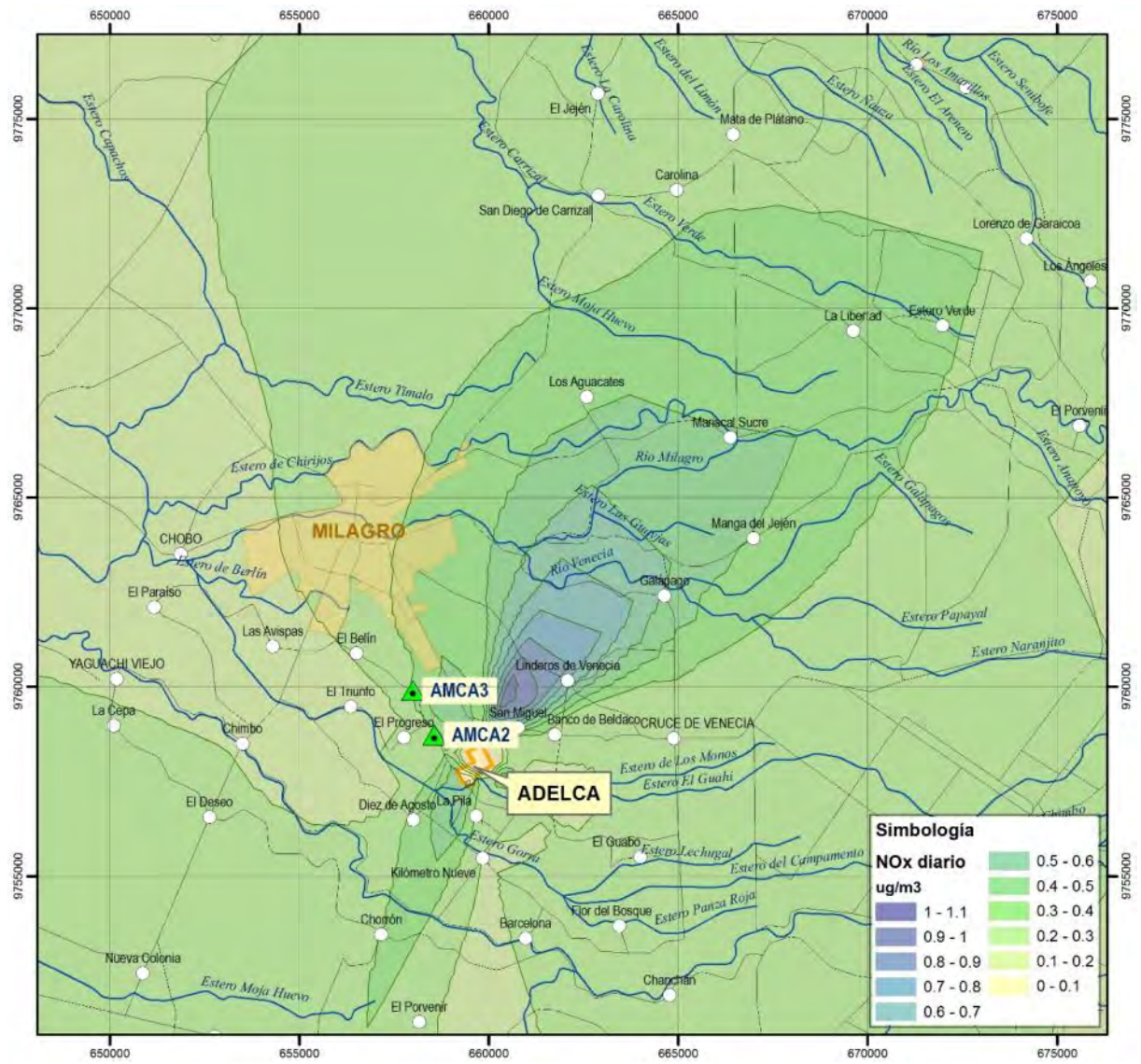


FIGURA 6.2-3: CONCENTRACIONES DE NOX PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 8 HORAS (UG/M3)

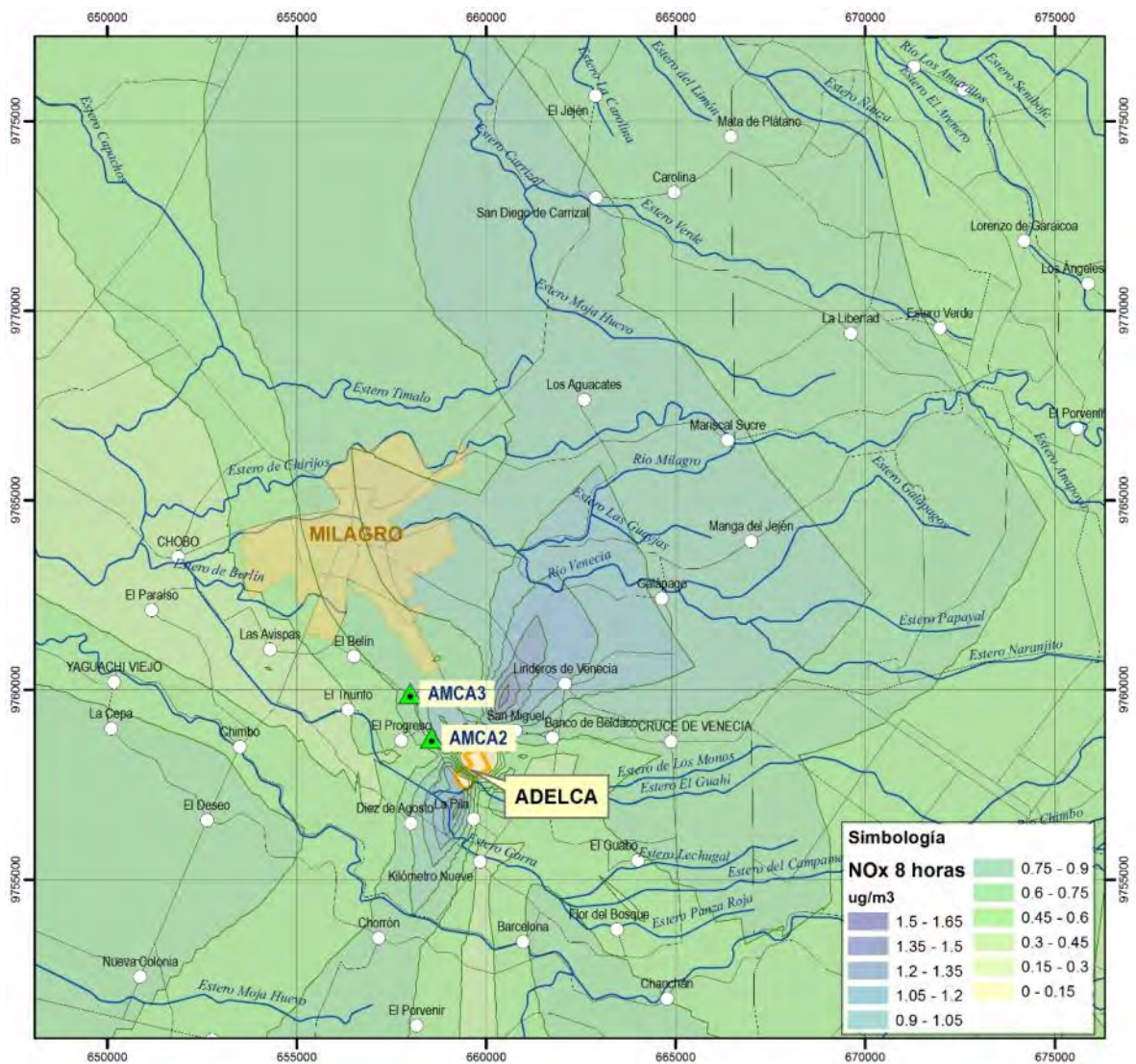
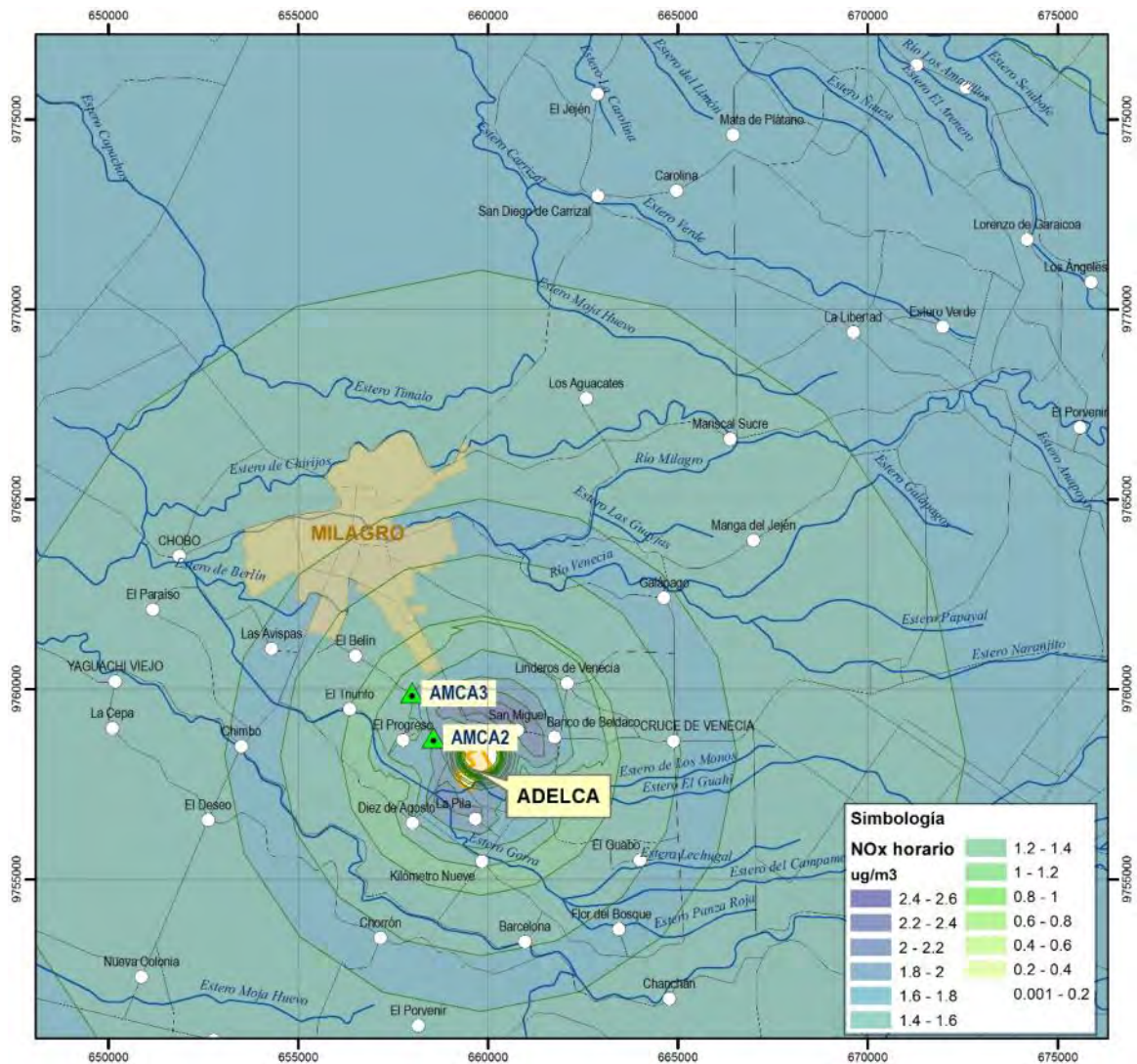


FIGURA 6.2-4: CONCENTRACIONES DE NO_x PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 1 HORA (UG/M³)



6.3 CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (MP)

FIGURA 6.3-1: CONCENTRACIONES ANUALES DE PM (UG/M3)

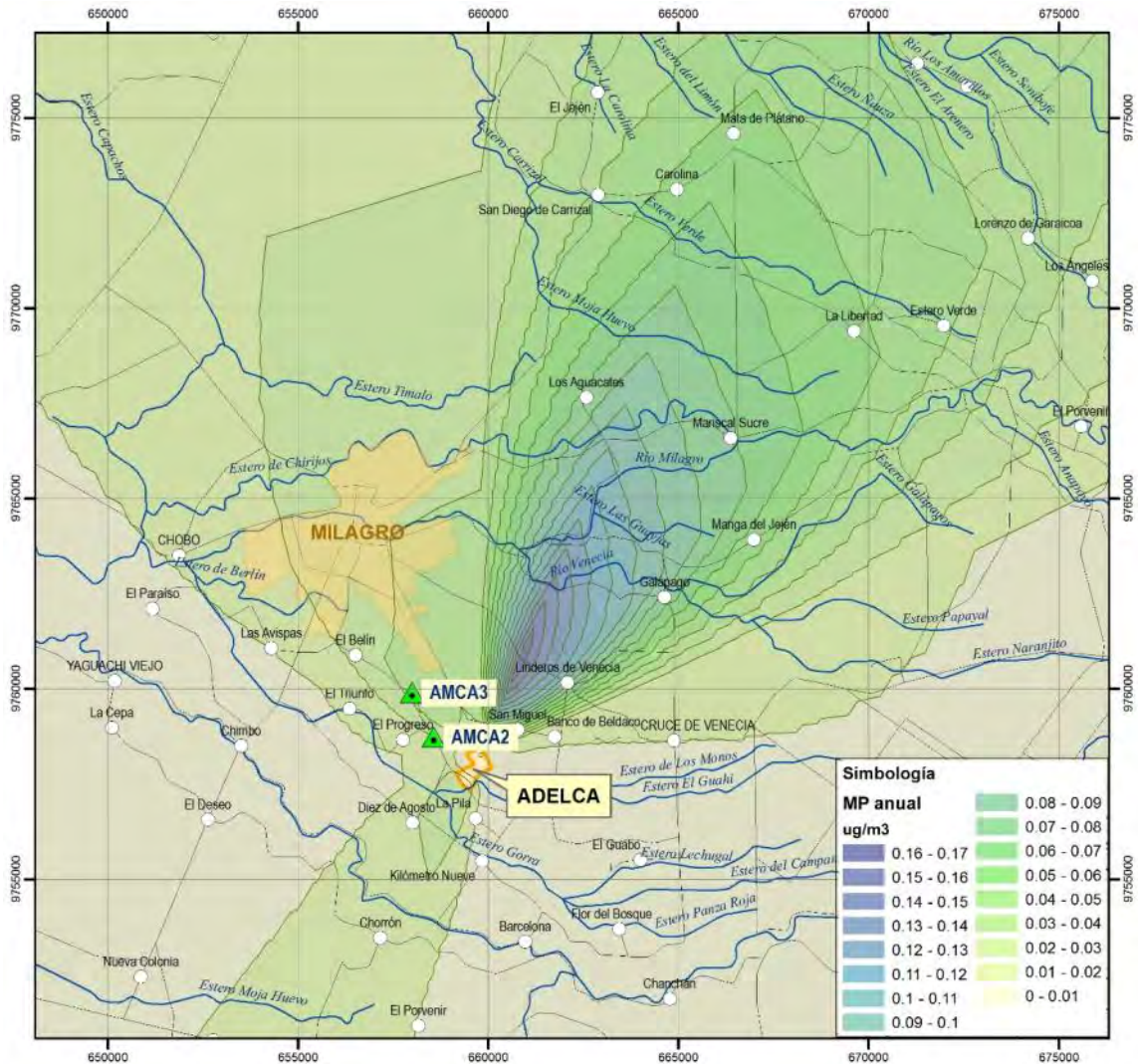


FIGURA 6.3-2: CONCENTRACIONES DE PM PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 24 HORAS (UG/M3)

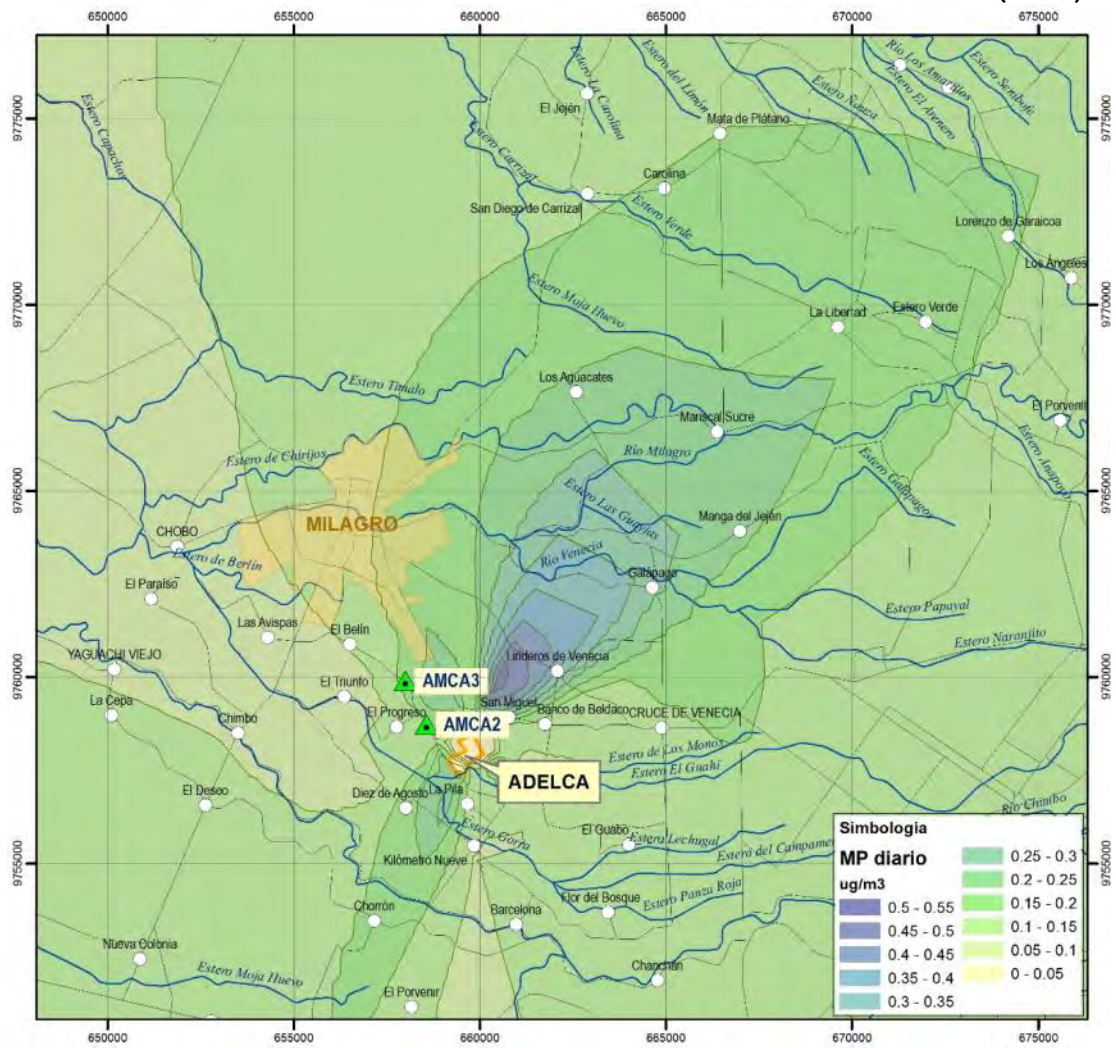


FIGURA 6.3-3: CONCENTRACIONES DE NOX PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 8 HORAS (UG/M3)

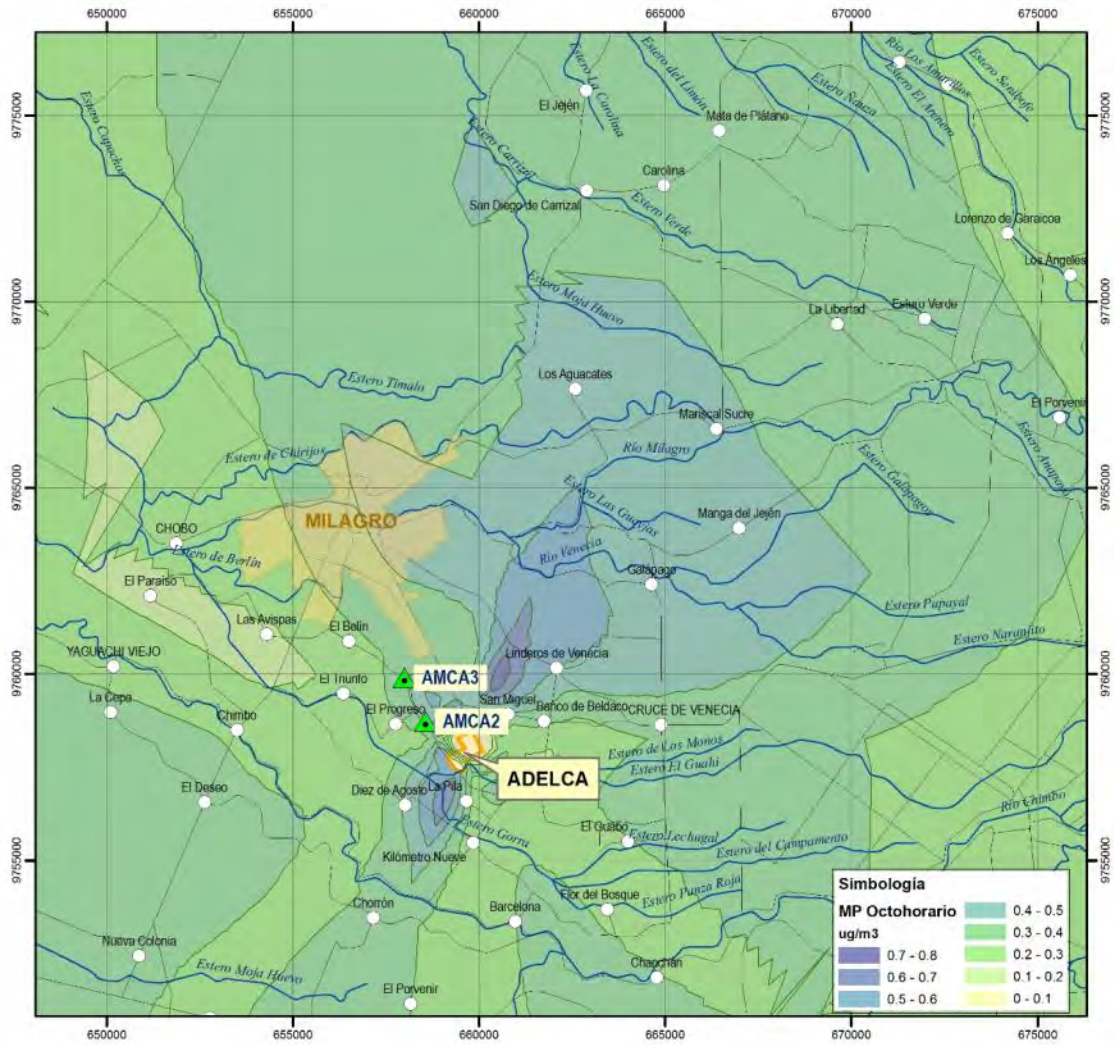
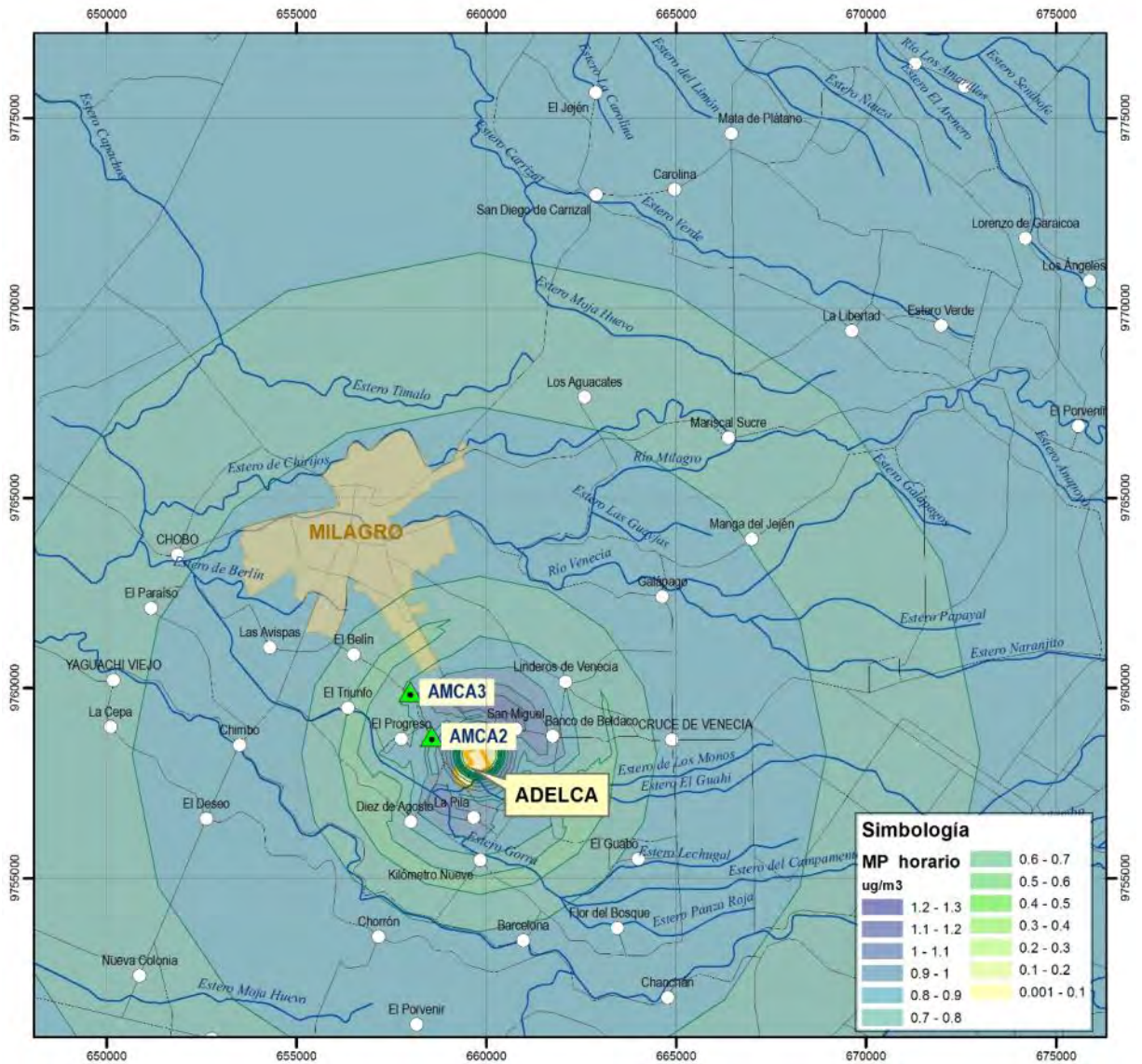


FIGURA 6.3-4: CONCENTRACIONES DE NO_x PARA UN PERIODO DE ANÁLISIS DE 1 HORA (UG/M³)



6.4 CONCLUSIONES.

- Los límites máximos permitidos para el Monóxido de Carbono y los Óxidos de Nitrógeno, sobrepasan los límites máximos permitidos en los periodos de análisis que establece la Norma de Calidad del Aire Ambiente del TULSMA.
- De acuerdo a lo estimado por el modelo de dispersión las operaciones planificadas de la Nueva planta de ADELCA en Milagro, cumplirán con la normativa ambiental vigente establecida para Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno y Dióxido de Azufre.

7.0 BIBLIOGRAFÍA

Arregui B. (2007). *Metodología para la Generación de Modelos Gaussianos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos*. Escuela Politécnica Nacional. Quito Ecuador.

BM (1998). *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. World Bank. Estados Unidos.

Canter L.W. (1998). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. McGraw-Hill Interamericana de España. España

De Nevers N. (1995). *Air Pollution Control Engineering*. McGraw- Hill Inc. Estados Unidos.

EPA(1992). Screening Procedures for estimating the Air Quality Impact for Stationary Sources, Revised. United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos.

EPA (1995). User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. Volume II Description of Model Algorithms. United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos.

EPA (2001). 40 CFR Clean Air Act, Appendix W to Part 51 – Guidelines on Air Quality Models. United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos.

Linsley R. K., M.A. Kohler y J.L.H. Paulhus (1977). *Hidrología para ingenieros*. Mc.Graw-Hill de México. México.

OCP – Entrix (2001). Proyecto Oleoducto de Crudos Pesados. Estudios Ambientales. Ecuador.

Ministerio de Salud Pública (1991). *Reglamento que Establece las Normas de Calidad del Aire y sus Métodos de Medición*. Registro Oficial No. 726, publicado el 15 de julio de 1991. Ecuador.

SPA Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas (2001). *Oficio de aprobación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto OCP*. Quito, Ecuador.

Wark K. y C.F. Warner (1992). *Contaminación del Aire*. Ed. Limusa. México.

Zannetti P. (1990). *Air Pollution Modeling*. Van Nostrand Reinhold. Estados Unidos.