

**DETERMINACIÓN Y ANALISIS DE METALES PESADOS EN PARTICULAS
RESPIRABLES E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN, EN DOS
ZONAS DE MONITOREO ATMOSFERICO EN LA LOCALIDAD DE PUENTE
ARANDA, BOGOTÁ D.C.**

**JENIFFER ADRIANA DUEÑAS CONTRERAS COD. 41011044
RICARDO PEREZ CABALLERO COD. 41011125**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2006**

**DETERMINACIÓN Y ANALISIS DE METALES PESADOS EN PARTICULAS
RESPIRABLES E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN, EN DOS
ZONAS DE MONITOREO ATMOSFERICO EN LA LOCALIDAD DE PUENTE
ARANDA, BOGOTÁ D.C.**

**JENIFFER ADRIANA DUEÑAS CONTRERAS COD. 41011044
RICARDO PEREZ CABALLERO COD. 41011125**

Monografía para optar al titulo de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

**JORGE EDUARDO PACHÓN QUINCHE
Magíster en Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.**

2006

Nota de Aceptación

Firma del Director

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C.

Gracias Mami y Papi, por brindarme la oportunidad, apoyarme y acompañarme en lograr sacar adelante esta importante etapa de mi vida.

A todos los que en este camino estuvieron conmigo, para bien o para mal, gracias, por que así ahora soy más fuerte.

Adri Green

*“...A mi Padre, por su apoyo incondicional, su paciencia
y por enseñarme a afrontar la vida,
A mi Madre, por el amor brindado y la inmensa dedicación para con sus hijos,
A ellos dos les debo todo lo que soy,
A mi Abuela, quien forjo mi infancia con pilares de conocimiento,
Y a mis hermanos, por su apoyo y compañía durante todos estos años...”*

Ricardo

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Jorge Eduardo Pachón, Magíster en Ingeniería Ambiental, por sus valiosas orientaciones como director del proyecto.

Hugo Sarmiento Vela, Químico, por su asistencia permanente para con la ejecución del proyecto

Al proyecto de investigación AEROSOLES Primera y Segunda, por su colaboración y apoyo a lo largo de los muestreos realizados. A Dayanna Alvarado y Sandra Caballero, por su gran compañía y asistencia durante el trabajo en el laboratorio.

Al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle al proporcionar el espacio para el desarrollo de los análisis. A Carlos Rodríguez, por su asesoría y disposición durante el trabajo en el laboratorio.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, por su respaldo y compromiso en la formación de Ingenieros Integrales.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	21
ABSTRACT	23
INTRODUCCIÓN	25
JUSTIFICACIÓN	26
1. OBJETIVOS	28
2. ANTECEDENTES	29
3. MARCO DE REFERENCIA	32
3.1 MARCO TEORICO	32
3.1.1 Contaminación Atmosférica	32
3.1.2 Material Particulado	32
3.1.3 Metales Pesados	33
3.1.3.1 Plata	33
3.1.3.1.1 Efectos en la salud por Plata	34
3.1.3.2 Cadmio	34
3.1.3.2.1 Efectos en la salud por Cadmio	34
3.1.3.3 Cromo	36
3.1.3.3.1 Efectos en la salud por Cromo	36
3.1.3.4 Cobre	37
3.1.3.4.1 Efectos en la salud por Cobre	37
3.1.3.5 Hierro	38
3.1.3.5.1 Efectos en la salud por Hierro	38
3.1.3.6 Manganeso	39
3.1.3.6.1 Efectos en la salud por Manganeso	39
3.1.3.7 Níquel	40
3.1.3.7.1 Efectos en la salud por Níquel	40
3.1.3.8 Plomo	41
3.1.3.8.1 Efectos en la salud por Plomo	41
3.1.3.9 Zinc	43

3.1.3.9.1 Efectos en la salud por Zinc	43
3.1.4 Muestreador De Alto volumen (PM ₁₀)	44
3.1.5 Extracción De Filtros	44
3.1.6 Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA)	44
3.1.7 Fundamento del método	45
3.1.8 Interferencias	46
3.1.9 Estimación del riesgo a la salud humana	46
3.1.9.1 Relaciones de Dosis - Respuesta	47
3.1.9.2 Cálculo de la dosis de exposición	48
3.1.10 Estimación del riesgo	49
3.1.10.1 Sustancias Con Umbral (No Cancerígenas)	50
3.1.10.2 Dosis de referencia (DRf) y concentración de referencia (CRf)	50
3.1.10.3 Sustancias Sin Umbral (Cancerígenas)	52
3.2 MARCO CONCEPTUAL	54
3.3 MARCO LEGAL	57
4. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	58
4.1 Localidad de Puente Aranda	58
4.2 Caracterización Geográfica	59
4.3 Contaminación Atmosférica en la Localidad	59
4.4 Tamaño y distribución de la población	59
4.5 Meteorología de La Localidad	61
5. METODOLOGÍA	63
5.1 MONITOREO ATMOSFERICO	63
5.1.1 Equipo de Muestreo	64
5.1.1.1 Medidor de Alto Volumen (Hi-Vol) PM ₁₀	64
5.1.2 Selección del filtro	65
5.2 FASE DE LABORATORIO	66
5.2.1 Acondicionamiento de los filtros	66
5.2.2 Pesaje de filtros	66
5.2.3 Extracción de muestras	67
5.2.4 Filtro blanco	68
5.2.5 Interferencias	68

5.2.6 Lectura en EAA	69
5.2.7 Diluciones	71
5.3 ANÁLISIS DE FUENTES DE EMISIÓN	72
5.4 ANALISIS DE RESULTADOS	72
5.5 ESTIMACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD	73
5.6 ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE EMISIONES	73
6. FUENTES DE EMISIÓN	74
6.1 FUENTES FIJAS	74
6.1.1 Muestra de cálculo por Factores de Emisión	76
6.2 FUENTES MÓVILES	85
6.2.1 Factores de emisión para Fuentes Móviles	88
7. RESULTADOS Y ANALISIS	93
7.1 RESULTADOS PM₁₀	93
7.2 RESULTADOS METALES PESADOS	95
7.2.1 Calculo de concentración para Metales Pesados	97
7.3 RESULTADOS CONCENTRACION DE METALES EN EL AIRE	105
7.3.1 Plata	105
7.3.2 Cadmio	107
7.3.3 Cromo	108
7.3.4 Cobre	110
7.3.5 Hierro	111
7.3.6 Manganeso	114
7.3.7 Níquel	116
7.3.8 Plomo	118
7.3.9 Zinc	119
7.4 ANALISIS DE CORRELACIÓN ENTRE METALES	121
7.5 PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN	123
7.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS 1RA Y 2DA FASE DE MUESTREO DE METALES PESADOS	124
7.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS RELACIONADOS CON METALES PESADOS	127

8. ESTIMACION DEL RIESGO A LA SALUD POR METALES PESADOS EN LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA	132
8.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR METAL	136
8.1.1 Dosis Por Ag	136
8.1.2 Dosis Por Cd	137
8.1.3 Dosis Por Cr	138
8.1.4 Dosis Por Cu	139
8.1.5 Dosis Para Fe	140
8.1.6 Dosis Por Mn	141
8.1.7 Dosis Por Ni	143
8.1.8 Dosis Por Pb	144
8.1.9 Dosis Por Zn	146
8.2 RESULTADOS INDICE DE PELIGROSIDAD	147
8.3 RESULTADOS RIESGO POBLACIONAL	153
9. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE EMISIONES	159
9.1 SISTEMAS DE CONTROL	159
9.1.1 Control de emisiones inorgánicas	159
9.1.2 Control de partículas	160
9.2 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES	162
9.2.1 Fuentes Fijas	162
9.2.1.1 Reducción emisiones por sector	163
9.2.1.1.1 Combustión de combustibles fósiles en calderas industriales y calderas de compañías de suministros públicos	163
9.2.1.1.2 Industria primaria del hierro y el acero	165
9.2.1.1.3 Industria secundaria del hierro y el acero	167
9.2.1.1.4 Fundición de hierro	168
9.2.1.1.5 Industria primaria y secundaria de metales no férreos	169
9.2.1.2 Valores límite para controlar las emisiones de las principales fuentes estacionarias	173
9.2.1.3 Valores límite específicos para las principales fuentes estacionarias seleccionadas	175

9.2.1.3.1	Combustión de combustibles fósiles	175
9.2.1.3.2	Plantas de sinterización	175
9.2.1.3.3	Plantas de granulado	175
9.2.1.3.4	Altos hornos	176
9.2.2	Fuentes Móviles	176
10.	CONCLUSIONES	177
11.	RECOMENDACIONES	179
	BIBLIOGRAFÍA	181

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones instrumentales del EAA	46
Tabla 2. Normas de calidad del aire para PM ₁₀ según el DAMA y la EPA	57
Tabla 3. Normas de calidad del aire para sustancias peligrosas	57
Tabla 4. Ubicación y fechas de muestreo para las dos estaciones de la localidad de Puente Aranda	64
Tabla 5. Condiciones para eliminar interferencias en el EAA	69
Tabla 6. Condiciones de funcionamiento del EAA	70
Tabla 7. Muestras a las cuales se les realizaron diluciones	72
Tabla 8. Asociación de combustibles presentes en la EPA con los utilizados en las industrias de Puente Aranda	78
Tabla 9. Emisión de Metales Pesados para los combustibles utilizados en la Localidad de Puente Aranda	78
Tabla 10. Factores de emisión por tipo de combustible para los metales pesados en estudio	78
Tabla 11. Emisión de Metales Pesados por combustible ESTACIÓN INVIMA	79
Tabla 12. Emisión de Metales Pesados por sector productivo ESTACIÓN INVIMA	81
Tabla 13. Emisión de Metales Pesados por combustible ESTACIÓN LA MERCED	82
Tabla 14. Emisión de Metales Pesados por sector productivo ESTACIÓN LA MERCED	84
Tabla 15. Aforo del tráfico vehicular en vías principales de la Localidad de Puente Aranda (a la altura de la Avenida 68 con Calle 13)	86
Tabla 16. Nomenclatura para el aforo vehicular	86
Tabla 17. Ubicación de estaciones de aforo vehicular	87
Tabla 18. Factores de emisión para vehículos con motor Diesel	89
Tabla 19. Características de los vehículos en la Localidad de Puente	90

Aranda

Tabla 20. Emisiones de metales pesados por fuentes móviles (con motor diesel) en la Localidad de Puente Aranda	91
Tabla 21. Concentración PM ₁₀ Estación INVIMA	93
Tabla 22. Concentración PM ₁₀ Estación LA MERCED	94
Tabla 23. Concentración de patrones para curvas de calibración	95
Tabla 24. Coeficientes para las curvas de calibración	95
Tabla 25. Consolidado de concentraciones de metales en muestras	97
Tabla 26. Consolidado de concentraciones de blancos para cada metal	98
Tabla 27. Consolidado Pesos filtros	99
Tabla 28. Consolidado Masas metal en blanco	100
Tabla 29. Consolidado Masa metal en tira y masa real para cada metal	100
Tabla 30. Consolidado Masa metal en tira y masa real para cada metal	101
(Continuación)	
Tabla 31 Concentración de metales por masa de partículas	102
Tabla 32. Consolidado de concentraciones para los Metales Pesados en estudio ESTACIÓN INVIMA	103
Tabla 33. Consolidado de concentraciones para los Metales Pesados en estudio ESTACIÓN LA MERCED	104
Tabla 34. Correlación entre metales estación INVIMA	122
Tabla 35. Correlación entre metales estación La MERCED	122
Tabla 36. Concentraciones adicionadas a los filtros blancos	123
Tabla 37. Porcentajes de recuperación de los metales analizados	123
Tabla 38. Consolidado, rangos de concentraciones para la 1ra y 2da fase	125
Tabla 39. Comparación de resultados con otros estudios	128
Tabla 40. Características población de Puente Aranda	132
Tabla 41. Consolidado Dosis De Exposición Niños	133
Tabla 42. Consolidado Dosis De Exposición Población De Adultos	134
Mujeres	
Tabla 43. Consolidado Dosis De Exposición Adultos Hombres	135
Tabla 44. Concentraciones y dosis de referencia para sustancias	147

tóxicas

Tabla 45. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN INVIMA para Cr VI y Mn	148
Tabla 46. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN LA MERCED para Cr VI y Mn	148
Tabla 47. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN INVIMA para Ni y Pb	149
Tabla 48. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN LA MERCED para Ni y Pb	149
Tabla 49. Unidades de riesgo, Factores de potencia carcinogénica	153
Tabla 50. Riesgo en la población niños ESTACIÓN INVIMA	153
Tabla 51. Riesgo en la población niños ESTACIÓN LA MERCED	154
Tabla 52. Riesgo en la población adultos mujeres ESTACIÓN INVIMA	154
Tabla 53. Riesgo en la población adultos mujeres ESTACIÓN LA MERCED	154
Tabla 54. Riesgo en la población adultos hombres ESTACIÓN INVIMA	155
Tabla 55. Riesgo en la población adultos hombres ESTACIÓN LA MERCED	155
Tabla 56. Características de los sistemas de control de partículas	160
Tabla 57. Opciones de control para las emisiones de partículas y vapores en la zona de estudio	161
Tabla 58. Medidas de control, eficiencias y costes de reducción de emisiones de combustibles fósiles	165
Tabla 59: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria primaria del hierro y el acero	166
Tabla 60: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria secundaria del hierro y el acero	168
Tabla 61: Fuentes de emisión, medidas de control, eficientes y costes de reducción de polvo en funderías de hierro	168
Tabla 62: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria primaria de metales no férreos	172
Tabla 63: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria secundaria de metales no férreos	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestreador de alto volumen PM ₁₀	pág. 44
Figura 2. Curva dosis-respuesta	48
Figura 3. Mapa de localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C.	58
Figura 4. Distribución población Puente Aranda	60
Figura 5. Pirámide Poblacional Aranda, 2002Localidad De Puente	60
Figura 6. Dirección y velocidad del viento durante el muestreo en las estaciones de muestreo	61
Figura 7. Dirección predominante del viento en la ciudad de Bogotá	62
Figura 8. Ubicación de estaciones de muestreo INVIMA y LA MERCED en la localidad de Puente Aranda	63
Figura 9. Estación INVIMA	64
Figura 10. Estación LA MERCED	64
Figura 11. Muestreador de alto volumen PM ₁₀ , ubicado en la estación INVIMA	65
Figura 12. Corte de filtros en cuarzo	67
Figura 13. Calentamiento de los filtros a baño María	67
Figura 14. Enfriamiento de las muestras	68
Figura 15. Filtrado de las muestras	68
Figura 16. Espectrofotómetro de absorción Atómica de La Universidad de La Salle	69
Figura 17. Fuentes Fijas presentes en la estación INVIMA	74
Figura 18. Fuentes Fijas presentes en la estación LA MERCED	74
Figura 19. Cantidad de industrias por sector presentes en la zona de influencia ESTACIÓN INVIMA	75
Figura 20. Cantidad de industrias por sector presentes en la zona de influencia ESTACIÓN LA MERCED	75

Figura 21. Porcentaje de industrias que utilizan Carbón, Fuel Oil y ACPM como combustible en la zona de influencia ESTACIÓN INVIMA	79
Figura 22. Porcentaje de metales aportado por cada uno de los sectores industriales ESTACIÓN INVIMA	80
Figura 23. Porcentaje de industrias que utilizan Carbón, Fuel Oil y ACPM como combustible en la zona de influencia ESTACIÓN LA MERCED	82
Figura 24. Porcentaje de metales aportado por cada uno de los sectores industriales ESTACIÓN LA MERCED	83
Figura 25. Porcentaje de vehículos que circulan por el sistema vial de Puente Aranda	85
Figura 26. Fuentes móviles presentes en la estación INVIMA	85
Figura 27. Fuentes móviles presentes en la estación La MERCED	85
Figura 28. Porcentaje de vehículos con motor diesel en la localidad de Puente Aranda	90
Figura 29. Emisiones de metales pesados por fuentes móviles (con motor Diesel) en la Localidad de Puente Aranda	91
Figura 30. Concentraciones de PM ₁₀ estación INVIMA	93
Figura 31. Concentraciones de PM ₁₀ estación LA MERCED	94
Figura 32. Concentraciones de Ag en PM ₁₀ Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA	105
Figura 33. Concentraciones de Ag en PM ₁₀ Sin interferencias ESTACIÓN LA MERCED	106
Figura 34. Concentraciones de Cd en PM ₁₀ ESTACIÓN INVIMA	107
Figura 35. Concentraciones de Cr en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA	108
Figura 36. Concentraciones de Cr en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN LA MERCED	109
Figura 37. Concentraciones de Cu en PM ₁₀ ESTACIÓN INVIMA	110
Figura 38. Concentraciones de Cu en PM ₁₀ ESTACIÓN LA MERCED	111
Figura 39. Concentraciones de Fe en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA	112

Figura 40. Concentraciones de Fe en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN LA MERCED	113
Figura 41. Concentraciones de Mn en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA	114
Figura 42. Concentraciones de Mn en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN LA MERCED	115
Figura 43. Concentraciones de Ni en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA	116
Figura 44. Concentraciones de Ni en PM ₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN LA MERCED	117
Figura 45. Concentraciones de Pb en PM ₁₀ ESTACIÓN INVIMA	118
Figura 46. Concentraciones de Pb en PM ₁₀ ESTACIÓN LA MERCED	119
Figura 47. Concentraciones de Zn en PM ₁₀ ESTACIÓN INVIMA	120
Figura 48. Concentraciones de Zn en PM ₁₀ ESTACIÓN LA MERCED	120
Figura 49. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	136
Figura 50. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	136
Figura 51. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	137
Figura 52. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	137
Figura 53. Dosis de exposición a Cd ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	137
Figura 54. Dosis de exposición a Cd ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	137
Figura 55. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	138
Figura 56. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	138
Figura 57. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	139

Figura 58. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	139
Figura 59. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	139
Figura 60. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	139
Figura 61. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	140
Figura 62. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	140
figura 63. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	140
Figura 64. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	140
Figura 65. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	141
Figura 66. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	141
Figura 67. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	142
Figura 68. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	142
Figura 69. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	143
Figura 70. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	143
Figura 71. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	143
Figura 72. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	143
Figura 73. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	144

Figura 74. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	144
Figura 75. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	145
Figura 76. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	145
Figura 77. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	145
Figura 78. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	145
Figura 79. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños	146
Figura 80. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres	146
Figura 81. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños	146
Figura 82. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres	146
Figura 83. Índice de peligrosidad por Cr VI ESTACIÓN INVIMA	150
Figura 84. Índice de peligrosidad por Cr VI ESTACIÓN LA MERCED	150
Figura 85. Índice de peligrosidad por Mn ESTACIÓN INVIMA	151
Figura 86. Índice de peligrosidad por Mn ESTACIÓN LA MERCED	151
Figura 87. Índice de peligrosidad por Ni ESTACIÓN INVIMA	151
Figura 88. Índice de peligrosidad por Ni ESTACIÓN LA MERCED	151
Figura 89. Índice de peligrosidad por Pb ESTACIÓN INVIMA	152
Figura 90. Índice de peligrosidad por Pb ESTACIÓN LA MERCED	152
Figura 91. Riesgo individual por Cd ESTACIÓN INVIMA	156
Figura 92. Riesgo poblacional por Cd ESTACIÓN INVIMA	156
Figura 93. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN INVIMA	157
Figura 94. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN INVIMA	157
Figura 95. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN LA MERCED	157
Figura 96. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN LA MERCED	157

Figura 97. Riesgo individual por Ni ESTACIÓN INVIMA	158
Figura 98. Riesgo individual por Ni ESTACIÓN INVIMA	158
Figura 99. Riesgo individual por Ni ESTACIÓN LA MERCED	158
Figura 100. Riesgo individual por Ni ESTACIÓN LA MERCED	158

RESUMEN

El presente trabajo buscó determinar la concentración de los metales: Plata, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Níquel, Manganeseo, Plomo y Zinc en dos puntos de muestreo ubicados en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá; el primero ubicado hacia la Carrera 68D#17-11 (INVIMA) y el segundo en la Calle 13#41-57 (Colegio LA MERCED). Estos contaminantes se determinaron en partículas atmosféricas con tamaño menor a 10 micras (PM_{10}).

Se realizó un muestreo entre los días 24 de Octubre al 3 de Noviembre de 2005 para la estación INVIMA y de los días 13 al 24 de Noviembre del mismo año para la estación La MERCED.

Los filtros recolectados fueron llevados al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle, en donde se realizó la extracción de los metales a partir de los filtros siguiendo el procedimiento designado por la EPA (método IO – 3.1) (EPA, 1999).

Posteriormente se realizó lectura del contenido de los metales por Espectroscopia de Absorción Atómica, para esto, se trabajo en un Espectrofotómetro PELKINELMER AAnalyst 300, equipo con el que cuenta La Universidad de La Salle teniendo el cuenta el método IO-3.2 de la EPA (EPA, 1999).

A partir de las lecturas obtenidas, se realizaron los cálculos para determinar las concentraciones por volumen de aire (ng/m^3) y por masa de partícula (μg de metal/g de Partícula), el rango de concentraciones obtenidas se relacionaron con las encontradas en la primera campaña de monitoreo llevada a cabo en los meses de Junio y Julio de año 2005 para las mismas estaciones.

Se realizó también un análisis para fuentes fijas y móviles mediante la aplicación de factores de emisión. Para fuentes fijas se trabajó con siete de los nueve metales en estudio (para Hierro y Plata no se referencian factores con los cuales se pueda trabajar) a partir de los factores de emisión designados por la EPA para diferentes combustibles (Carbón, Fuel Oil y Gas Natural), mientras que para fuentes móviles se trabajó con base en estudios internacionales de emisiones para vehículos con motores Diesel. Se obtuvieron relaciones entre cada uno de los metales y las fuentes analizadas para la Localidad; se realizó la asociación de las concentraciones obtenidas en el muestreo con los datos resultantes de los análisis de fuentes de emisión.

Se estimó el riesgo a la salud de la población residente en la localidad la cual fue clasificada por tipo de población (niños, adultos mujeres y adultos hombres). Se hallaron las dosis diarias de exposición a los metales a partir de las concentraciones obtenidas en el muestreo. Con las concentraciones de referencia, las dosis de referencia y las unidades de riesgo establecidas por la EPA, se calculó el índice de peligrosidad y el riesgo a la población local.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, la relación con las fuentes de emisión y la estimación del riesgo a la salud humana, se propusieron lineamientos técnicos y medidas encaminadas a la reducción de emisiones para fuentes fijas y móviles.

ABSTRACT

The present study wants search the concentration of metals: Silver, Cadmium, Chromium, copper, Iron, Nickel, Manganese, Lead and Zinc in two located points of sampling in the suburb of Puente Aranda in Bogotá City; the first point was located in Cra 68D#17-11 (INVIMA) and the second in the Street 13#41-57 (LA MERCED School). These polluting agents were determined in atmospheric particles with size smaller to 10 microns (PM_{10}).

A sampling was made between 24 of October to 3 of November of 2005 for station INVIMA and 13 to 24 of November in station LA MERCED. The collected filters were taken to the Laboratory of Environmental Engineering in the University of the Salle, The metals extraction was done following the procedure designated by the EPA (method IO - 3,1) (EPA, 1999).

Later reading of the content of metals by AA was made, for this, work in a Espectrofotometer PELKINELMER AAnalist 300, equipment of the Universidad de La Salle.

From the obtained readings, the calculations were made to determine the concentrations by air volume (ng/m^3) and by mass of particle (μg of metal/g of Particle), the rank of obtained concentrations were related to found in the first campaign of sampling carried out in the months of June and July of 2005 for the same stations.

An analysis for estationary and movable sources by means of the application of emission factors was also made. For estationary sources worked with seven metals (for Iron and Silver factors are not referencian and is not possible to be worked) from the factors of emission designated by the EPA for different combustibles (Coal, Fuel Oil and Natural Gas), for movable sources worked in base of a international studies of emissions for vehicles with Diesel engines.

Relations between each one of metals and the sources analyzed for the suburb were obtained; the association of the obtained concentrations was made in the sampling with the resulting data of the analyses of emission sources.

The risk to the health of the resident population in the suburb was considered which was classified by type of population (young, adults women and adults men). Were the daily doses of exhibition to metals from the concentrations obtained in the sampling. With the reference concentrations, the doses of reference and the units of risk established by the EPA, calculated the index of danger and the risk to the local population.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular la infantil, a estos elementos tóxicos.

El interés existente en la actualidad por la investigación en el campo del material particulado atmosférico se debe a la identificación de efectos adversos de este contaminante sobre la salud y los ecosistemas. El principal objetivo de este trabajo de investigación es evaluar los niveles de nueve metales pesados en partículas atmosféricas de tamaño menor a 10 μm (PM₁₀) en dos zonas seleccionadas de la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.

También se busca el análisis de las posibles fuentes de emisión de metales en la Localidad y asociarlos a las concentraciones obtenidas durante los muestreos realizados. Se hace también una estimación del riesgo a la salud de las personas que puedan verse afectadas por la presencia de metales pesados en la zona de estudio.

El presente trabajo hace parte del Proyecto ***“Estimación del riesgo en la salud humana a partir de la caracterización de aerosoles en la Localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá”*** dirigido por Jorge Pachón Quinche y Hugo Sarmiento Vela, docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, este proyecto consta de tres fases de muestreo. El presente trabajo constituye la segunda fase del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Los metales pesados hacen parte de los contaminantes atmosféricos y su determinación en partículas aéreas representa un importante parámetro en la evaluación de implicaciones a la salud pública. Según reportes enviados por las IPS la principal causa de morbilidad por consulta externa en la localidad de Puente Aranda son las infecciones respiratorias agudas, causantes del 12.1 % de las consultas, mientras que para mortalidad son originadas por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores representados en un 4.9% de la población en general (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004)¹; estos datos muestran la importancia del estudio de los contaminantes atmosféricos en busca de alternativas para la reducción de sus concentraciones en el aire mediante soluciones que propicien una reducción en la concentración de estos parámetros.

Las principales fuentes de metales pesados incluyen la industria, la fundición de metales y las fuentes móviles; estas tres prevalecen en la zona de estudio. Las partículas PM₁₀ se han caracterizado por contener altas concentraciones de elementos de interés toxicológico entre los cuales cerca de un 80% son metales pesados (Báez, 2001)², es por esto que se pueden esperar altas concentraciones de estos contaminantes del aire.

Según estudios realizados por el DAMA, en junio del 2004 se observan altos niveles de concentración de material particulado, registrando un máximo promedio anual de 121 µg/m³, hallado en la estación No. 13 Merck (Sector Centro – Occidente, Puente Aranda), y es igual al promedio anual máximo

¹ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. Recorriendo Puente Aranda. Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, 2004

² BAÉZ, Armando; García, Rocío y Belmont, Raúl. Trace Heavy elements in rain water collected in México city, México. Universidad Nacional Autónoma de México, 2001.

calculado en los tres meses anteriores (DAMA, 2004)³ implicando probablemente problemas para la salud humana de los habitantes de la localidad.

Hasta la fecha no se cuenta con valores de estudios cuantitativos de la calidad del aire de la Localidad de Puente Aranda asociado a las diferentes fuentes de emisión que se encuentran en la zona, que sirvan como soporte a las autoridades ambientales para exigir medidas de prevención, mitigación, corrección, y compensación en lo que concierne a la contaminación atmosférica por metales pesados.

³ DAMA. Informe mensual de la calidad del aire de Bogotá, junio 2004.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las concentraciones de metales pesados en partículas respirables (PM_{10}) a partir de un monitoreo atmosférico en dos zonas de la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis comparativo de concentraciones de metales pesados en partículas durante la primera y segunda campaña de monitoreo en la Localidad de Puente Aranda.
- Identificar las posibles fuentes de emisión (fijas y móviles) de material particulado a partir de su caracterización química (presencia de metales pesados).
- Estimar el riesgo en la salud humana de la población aledaña a los sitios de muestreo por exposición a material particulado con contenido de metales.
- Proponer lineamientos técnicos que mitiguen el problema de contaminación del aire por metales pesados en la Localidad de Puente Aranda.

2. ANTECEDENTES

En 1967 se instalaron en Bogotá las primeras estaciones de monitoreo atmosférico dentro de un programa conocido como la Red PANAIRE, el cual buscaba el muestreo y comparación de contaminantes atmosféricos en algunos países panamericanos. Posteriormente, en 1983 se conformó en el país la Red Nacional de Vigilancia de Calidad del aire, que operó hasta el año de 1990, a partir del cual se generó un manejo descentralizado de la vigilancia del recurso atmosférico. Es así, como en la ciudad de Bogotá en 1997 el DAMA, autoridad ambiental en el Distrito Capital instala la Red de Calidad del aire DAMAIRE, con el objetivo de obtener, procesar y divulgar la información de la calidad del aire de la capital, de una forma confiable y clara, para proporcionar los elementos necesarios en la toma de decisiones.

En 1983 (Ojeda, 1985)⁴ se realiza una investigación de los niveles de Plomo en el aire de la ciudad, encontrando que hasta el momento no existía un problema crítico por la contaminación del aire con plomo. Al respecto, debe decirse que en la capital, desde mediados de los noventa se prohibió el uso de gasolina con plomo para los vehículos automotores, situación que prácticamente eliminó el riesgo asociado a la presencia de este metal.

En el año 1992, se creó el *“Libro de efectos a la salud por contaminantes peligrosos en el aire”* en el cual se describen los efectos sobre la salud humana de las sustancias que son definidas como peligrosas por las enmiendas de 1990 en el *“Acto del aire limpio”*, en el se encuentran referenciados los metales Ag, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn.

⁴ OJEDA, Eduardo. Evaluación de los niveles de contaminación por plomo en el aire, a partir de las muestras obtenidas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Bogotá. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 1985.

En 1998 (Pérez, 1988)⁵ se realiza una nueva aproximación al contenido químico de las partículas recolectadas en una de las principales zonas industriales de la capital, la Localidad de Puente Aranda, detectando en el aire la presencia de Calcio, Cadmio, Cobre, Hierro, Magnesio y Plomo. Para el Cadmio y el Plomo se hallaron concentraciones cercanas a los valores máximos permisibles recomendados por la Organización Mundial de la Salud OMS. También en el mismo año, se lleva a cabo un estudio de medición de cadmio en las partículas del aire (Coant, 1988)⁶, encontrando concentraciones un poco superiores al límite mínimo de detección del equipo y reafirmando las conclusiones de la presencia riesgosa de este elemento en partículas respirables. Se continúa posteriormente este estudio en 1999 (Roa, 1999)⁷, haciendo algunas mejoras en las técnicas utilizadas y encontrando además de los anteriores metales otros como Arsénico, Cromo, Mercurio, Níquel, Plata y Manganeseo, que dan cuenta de la diversidad de contaminantes que se emiten en la actualidad en el centro urbano de Bogotá.

Para la Zona Metropolitana de la Sabana de Bogotá se desarrolló por primera vez en el país un estudio simultáneo de metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos en partículas PM₁₀ durante los años 2001 y 2002 (Pachón, 2004)⁸, donde se determinaron concentraciones de metales pesados y de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en partículas respirables en zonas determinadas de cuatro municipios. Los resultados de partículas PM₁₀ para el período analizado, dejan ver concentraciones que superan el valor normativo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA

⁵PÉREZ GARCÍA, Carlos Mauricio. Determinación de metales pesados en las partículas del aire. Bogotá, 1998. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil). Universidad de Los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

⁶COANT, Jean-Maire. Medición de cadmio en las partículas del aire. Bogotá, Universidad de Los Andes, 1998.

⁷ROA OVALLE, Marisol. Medición de metales en las partículas del aire. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil), Universidad de Los Andes, Bogotá, 1999.

⁸PACHÓN, Jorge Eduardo. Estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables de cuatro municipios de Cundinamarca. Tesis de grado Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004.

para las zonas establecidas en los municipios de Soacha y Tausa, en repetidas ocasiones, en tanto que para las zonas determinadas en los municipios de Sibaté y Cajicá no se presenta esta situación. Los perfiles reportados pueden ser considerados como una estimación inicial de la situación actual de calidad del aire de la ZMSB (zona metropolitana de la sabana de Bogotá).

Para la localidad de Puente Aranda se realizó la caracterización de aerosoles como la primera de las tres campañas de monitoreo que hacen parte de la investigación adelantada por la Universidad de la Salle, en donde se determinaron concentraciones de los metales pesados: Fe, Cr, Zn, Cu y Pb (Hernández y Pérez, 2005)⁹

⁹ PÉREZ, Luisa Fernanda y HERNANDEZ, Liliana, Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un monitoreo atmosférico en la Localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, 2005

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEORICO

3.1.1 Contaminación Atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Todas las actividades humanas y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en la Tierra.

El que una sustancia sea considerada contaminante o no depende de los efectos que produzca sobre sus receptores. Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias.

3.1.2 Material Particulado

El material particulado en la atmósfera representa una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que tienen su origen en las emisiones naturales y artificiales del medio, y su impacto en éste está directamente relacionado con la composición química del material particulado. Puede ser encontrado en el aire ambiental, polvo, humos y otros aerosoles. Fuentes directas de TSP son la combustión de materiales fósiles para la generación de energía, calefacción y transporte, la construcción y las actividades industriales, la erosión de suelos, los incendios forestales y las erupciones volcánicas entre otros.

Las TSP se dividen de acuerdo a su tamaño en partículas menores o iguales a 10 μm (PM_{10}) y las menores a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). La atención sobre las TSP, se ha concentrado mayormente en las partículas PM_{10} , que pueden ser inhaladas y penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causando efectos adversos a la salud de las personas.

3.1.3 Metales Pesados

Se denominan metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de la tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan al cuerpo vía el alimento, el agua potable y el aire. Como elementos de rastro, algunos metales pesados (como el Cobre o el Zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. El envenenamiento por metal pesado podría resultar, por ejemplo, de las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de emisión.

3.1.3.1 Plata

La Plata es un elemento que se encuentra en el ambiente combinado con otros elementos tales como sulfuros, cloruros, y nitratos.

La Plata se encuentra a menudo como subproducto durante la recuperación del Cobre, del Plomo, del Zinc, y de los minerales del Oro. La Plata se utiliza también para hacer joyería, en equipos electrónicos y rellenos dentales. Es usado también para hacer fotografías, en aleaciones y soldaduras, para desinfectar el agua potable y el agua en piscinas.

3.1.3.1.1 Efectos en la salud por Plata

La exposición a los altos niveles a la plata por largos periodos de tiempo puede dar lugar a una condición llamada Argiria, una decoloración azul-gris de la piel y otros tejidos finos del cuerpo. La Argiria es un efecto permanente, pero parece ser un problema cosmético que puede no ser de otra manera dañoso a la salud.

La exposición a los altos niveles de Plata en el aire ha dado lugar a problemas tales como irritación del pulmón, de la garganta y cólicos. El contacto de la piel con Plata puede causar reacciones alérgicas suaves tales como erupción, hinchazón e inflamación en algunas personas.

De acuerdo con las pautas de la EPA, la Plata se ubica en el grupo D, no clasificable como carcinógeno humano.¹⁰

3.1.3.2 Cadmio

Tiene relación estrecha con el Zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Un uso comercial importante del Cadmio es como cubierta electrodepositada sobre Hierro o Acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de Níquel-Cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Se recurre a cantidades apreciables en aleaciones de latón, soldaduras y cojinetes. Los compuestos de Cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de Cadmio fosforado.

3.1.3.2.1 Efectos en la salud por Cadmio

Los efectos a corto plazo del Cadmio en seres humanos con la exposición a la inhalación, consisten principalmente en efectos sobre el pulmón. La inhalación a largo plazo conduce a una acumulación del Cadmio en los riñones lo cual

¹⁰ Documento Estimación del riesgo www.epa.gov/iris/index.html

puede causar afecciones en el riñón, otros efectos a largo plazo son daños de pulmón y huesos frágiles. El Cadmio es absorbido más eficientemente por los pulmones (30 a 60%)¹¹ que por el aparato gastrointestinal.

Se ha demostrado que el Cadmio es un toxico en el desarrollo de animales, dando como resultado malformaciones fetales y otros efectos, pero ninguna evidencia concluyente existe en seres humanos. Una asociación entre la exposición del Cadmio y un riesgo creciente del cáncer de pulmón se ha divulgado de estudios humanos. Los estudios animales han demostrado un aumento en cáncer de pulmón de la exposición a largo plazo por inhalación de Cadmio. La EPA ha clasificado el Cadmio como grupo B1, agente carcinógeno humano probable.

La EPA utiliza modelos matemáticos basados en los estudios animales para estimar la probabilidad de un cáncer presentado por una persona al respirar el aire que contiene una concentración específica de un producto químico. La EPA estima que la unidad de riesgo por inhalación es de $1.8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La agencia de protección del medio ambiente de California (CalEPA) ha establecido un nivel de exposición crónico de referencia de 0.00001 miligramo por el metro cúbico (mg/m^3) para el Cadmio basado en el riñón y efectos respiratorios en seres humanos.

Los efectos del Cadmio en la reproducción humana presenta una evidencia limitada, existe una asociación entre la exposición de la inhalación y una reducción en el número de espermatozoides en seres humanos. Además hay cierta evidencia para sugerir que la exposición materna al Cadmio puede dar lugar a bajo peso al nacer ($>2500\text{g}$).¹²

¹¹ EPA – Air toxics website – Cadmium compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/cadmium.html#ref1>

¹² EPA – Air toxics website –Cadmium compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/cadmium.html#ref1>

3.1.3.3 Cromo

Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. El Cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. También es utilizado en tintes, pigmentos y para la preservación de la madera.

3.1.3.3.1 Efectos en la salud por Cromo

El Cromo se incorpora al cuerpo a través de los pulmones, de la zona digestiva y en un grado inferior, de la piel. La inhalación es la ruta más importante para la exposición ocupacional. La exposición no ocupacional ocurre mediante la ingestión del alimento y del agua con contenido del metal.

Varios estudios han demostrado que los compuestos del Cromo VI pueden aumentar el riesgo de cáncer de pulmón cuando son inhalados. El Cromo VI se ha colocado en la clasificación A, agente carcinógeno humano; mientras que el Cromo III se señala en el grupo D, no clasificado como carcinógeno humano.

La concentración crónica de referencia de inhalación es de 1.0×10^{-4} mg/m³. La unidad de riesgo por inhalación es 1.2×10^{-1} mg/m³ atacando al pulmón. La unidad de riesgo por inhalación se basa en el estudio de Mancuso a partir de 1975.¹³

La información limitada sobre los efectos reproductivos del Cromo VI en los seres humanos expuestos por la inhalación sugiere que la exposición al Cromo VI puede dar lugar a complicaciones durante el embarazo y parto. No hay información disponible en los efectos reproductivos o de desarrollo del Cromo III en seres humanos.¹⁴

¹³ Documento Estimación del riesgo www.epa.gov/iris/index.html

¹⁴ EPA – Air toxics website – Chromium compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/chromium.html>

3.1.3.4 Cobre

El Cobre es una sustancia muy común que se extiende a través del ambiente mediante fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. Este es aplicado principalmente en industrias. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades del metal en el ambiente se han expandido.

De los cientos de compuestos de Cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial a gran escala. El más importante es el Sulfato de Cobre. Las principales aplicaciones de los compuestos de Cobre se encuentran en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas, como pigmentos, en soluciones galvanoplásticas y como catalizadores.

3.1.3.4.1 Efectos en la salud por Cobre

Las concentraciones de cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al metal por respiración es poco probable. Pero las poblaciones aledañas a fundiciones que procesan el mineral Cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición.

En el Ambiente de trabajo el contacto con el Cobre que puede llevar a gripes conocidas como la fiebre del metal. Esta fiebre pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad.

Exposiciones de largo periodo al Cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. No ha sido determinado aún si el Cobre es cancerígeno.

Hay artículos científicos que indican una relación entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes.¹⁵

¹⁵Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V.
<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Cu.htm>

3.1.3.5 Hierro

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. El uso más extenso del Hierro es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de Hierro fundido y de Hierro forjado. Entre otros usos del Hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos) y abrasivos.

3.1.3.5.1 Efectos en la salud por Hierro

El Hierro puede ser encontrado en la carne, productos integrales, papas y vegetales. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través del cuerpo.

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de Óxido de Hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de Óxido de Hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 mg/kg. (LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.)¹⁶

¹⁶ Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Fe.htm>

3.1.3.6 Manganese

El Manganese es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente.

Los compuestos de Manganese tienen muchas aplicaciones en la industria. El Dióxido de Manganese se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El Permanganato de Potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa. El Manganese también se utiliza ampliamente en la producción de acero para mejorar sus propiedades fisicoquímicas.

3.1.3.6.1 Efectos en la salud por Manganese

El sistema nervioso central es el blanco primario por la exposición a Manganese. Los síntomas iniciales son dolor de cabeza, insomnio, desorientación, ansiedad, letargo, y pérdida de la memoria.

Estos síntomas progresan con la exposición continuada e incluyen eventuales disturbios en el sistema nervioso motor, temblores, y dificultad para caminar, síntomas similares al Parkinson. Estas dificultades del sistema motor son a menudo irreversibles.

Otros efectos crónicos divulgados en seres humanos por la exposición a Manganese son efectos respiratorios tales como una incidencia creciente de la tos, de bronquitis y de una susceptibilidad creciente a enfermedades pulmonares infecciosas.

No hay datos humanos de cáncer disponibles para el Manganese. La EPA clasifica este metal en el grupo D, no clasificable en cuanto a carcinógeno humano.

Varias pruebas están disponibles para medir el Manganeseo en sangre, orina, pelo, o heces. Pues el Manganeseo está naturalmente presente en el cuerpo. Además, el exceso de Manganeseo se quita generalmente del cuerpo dentro de algunos días, haciéndolo difícil de medir.

Según la EPA, la concentración de la referencia (CRf) es 0.00005 mg/m³ basado en el debilitamiento de la función neurovegetativa en seres humanos.¹⁷

3.1.3.7 Níquel

El Níquel puro es un metal duro, plateado-blanco que se combina con otros metales para formar aleaciones. Algunos de los metales con los cuales el Níquel puede ser aleado son Hierro, Cobre, Cromo, y Zinc. Estas aleaciones se utilizan para hacer monedas, joyería del metal y en la industria. Los compuestos del Níquel también se utilizan para galvanoplastia, en la producción de algunas baterías, y como catalizadores en reacciones químicas.

3.1.3.7.1 Efectos en la salud por Níquel

El efecto adverso para la salud más común por Níquel en seres humanos es una reacción alérgica. Los seres humanos pueden ser sensibles al metal cuando la joyería u otros artículos están en contacto directo con la piel. Con menos frecuencia, algunos seres humanos que sean sensibles al Níquel tienen ataques de asma u otras reacciones después de la exposición en alimento, agua o polvo.

La agencia de protección del medio ambiente de California (CalEPA) ha calculado un nivel de exposición crónico de referencia de inhalación de 0.00005 mg/m³ para el Níquel basado en los efectos del sistema respiratorio e inmune en ratas.

¹⁷ EPA – Air toxics website – Manganese compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/manganes.html>

La EPA estima que la unidad de riesgo por inhalación en refinerías de Níquel es de $2.4 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, mientras que para Sulfuro del Níquel, se estima que la unidad de riesgo es de $4.8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.¹⁸

3.1.3.8 Plomo

El Plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los Óxidos de Plomo y el Tetraetilo de Plomo. También forma aleaciones con muchos metales. Todas las aleaciones formadas con Estaño, Cobre, Arsénico, Antimonio, Bismuto, Cadmio y Sodio tienen importancia industrial. Los compuestos de Plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos.

El uso más amplio del Plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de baterías y pinturas. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de Tetraetilplomo, forros para cables, esmaltes de cerámica, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones.

3.1.3.8.1 Efectos en la salud por Plomo

La exposición al Plomo ocurre mediante ingestión o inhalación. Los seres humanos adultos absorben cerca del 10 al 15% de Plomo ingerido, mientras que los niños pueden absorber el hasta un 50%, dependiendo de cómo se dé la exposición al contaminante.

El Plomo causa efectos tóxicos en el aparato gastrointestinal, sistema cardiovascular, el sistema nervioso central, los riñones, el sistema inmune y el sistema reproductivo. El Plomo puede afectar casi cada órgano y sistema en el

¹⁸EPA – Air toxics website – Nickel compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/nickel.html>

cuerpo humano. Los niños son particularmente sensibles a los efectos neurotóxicos de este metal.

Puede ocurrir daño irreversible en el cerebro cuando los niveles de Plomo son mayores o iguales a 100 ug/dL en adultos y 80-100 ug/dL en niños; la muerte puede ocurrir en los mismos niveles en la sangre de niños. Los niños que sobreviven estos altos niveles de la exposición pueden sufrir retraso mental severo permanente. Además daños en los riñones y el sistema reproductivo.

Los efectos son iguales si está inhalando o ingiriendo. En altos niveles, el Plomo puede disminuir el tiempo de reacción, generando debilidad en dedos, las muñecas, o los tobillos, y afecta posiblemente la memoria.

La exposición ocupacional a los altos niveles de Plomo se ha asociado a una alta probabilidad de aborto espontáneo. La exposición a Plomo durante el embarazo produce efectos tóxicos sobre el feto, incluyendo el riesgo creciente de parto prematuro, el bajo peso al nacer, y el bajo desarrollo mental.

La EPA ha establecido una dosis de referencia (DRf) para el tetraetilplomo (una forma organometálica de Plomo) de 1×10^{-7} miligramos por peso corporal por día (mg/kg/d) basado en efectos causados en el hígado de ratas

La EPA clasifica al plomo como grupo B2, agente carcinógeno humano probable.¹⁹

3.1.3.9 Zinc

El Zinc es uno de los elementos más comunes de la corteza de tierra y se encuentra en aire, suelo, y agua, y está presente en todos los alimentos. Este tiene muchas aplicaciones comerciales entre las cuales se encuentra la

¹⁹ EPA – Air toxics website – Lead compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/lead.html#ref6>

producción de baterías y mezclado con otros metales se pueden producir diferentes aleaciones.

Los compuestos del Zinc son utilizados también en la producción de pinturas, caucho, tintes, y preservantes para la madera.

3.1.3.9.1 Efectos en la salud por Zinc

Los efectos a la salud por Zinc comienzan generalmente cuando los niveles en el organismo llegan a un rango entre 100 y 250 mg/d. Ingerir cantidades grandes de Zinc durante cortos periodos de tiempo, puede causar cólicos en el estómago, náuseas, y vomito. Si el tiempo de ingestión se extiende, puede causar anemia y daño del páncreas.

Las cantidades grandes de inhalación de Zinc (como el polvo o humos) pueden causar una enfermedad a corto plazo específica llamada fiebre del humo de metal. Ésta genera una inmunosupresión que afecta los pulmones y la temperatura del cuerpo. Aun no se tienen reportes acerca de los efectos a largo plazo de inhalar altos niveles del Zinc o los efectos sobre la reproducción humana.

La irritación de piel en seres humanos es probable. No se ha presentado ningún estudio de caso o evidencia epidemiológica para sugerir que el Zinc es carcinógeno en seres humanos por la ruta oral o de inhalación. El Zinc se ubica en el grupo D, no clasificable en cuanto a carcinógeno humano debido a la evidencia inadecuada en seres humanos y animales.²⁰

3.1.4 Muestreador De Alto Volumen (PM₁₀)

Es el instrumento designado por la US EPA para la medición de partículas de 10 micras y menores. Las partículas son clasificadas por medio de un

²⁰ The Risk Assessment Information System - Toxicity Values
www.risk.lsd.ornl.gov/tox/toxvals.shtml

separador Aerodinámico y después son colectadas en un filtro de Cuarzo para su cuantificación y análisis. Los instrumentos pueden controlar el flujo muestreado por Masa o por Volumen.

Figura 1. Muestreador de alto volumen PM10



3.1.5 Extracción De Filtros

Normalmente se realizan dos o tres extracciones para la misma tira de filtro debido a que puede quedar remanente de metal en el mismo con lo cual se tendría como resultado una concentración menor a la real.

3.1.6 Espectrofotómetro De Absorción Atómica (EAA)

La espectrofotometría de absorción atómica, es una técnica utilizada para la cuantificación de elementos químicos. Se fundamenta en la propiedad de los átomos los cuales en presencia de energía pasan de su estado fundamental a niveles de mayor energía para luego decaer. En estos cambios pueden absorber y/o emitir energía en forma de luz.

Un espectrofotómetro de absorción atómica utilizado con llama es capaz de cuantificar elementos químicos contenidos en muestras a concentraciones altas en el orden de %, mg/L, mg/Kg ó partes por millón (ppm). Esto significa que se pueden realizar análisis de elementos mayores, menores y contenidos a nivel de trazas.

Este método utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito. En absorción atómica, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra.

3.1.7 Fundamento del método

Se hace pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro para recoger los metales y compuestos metálicos de interés. El filtro conteniendo la muestra recogida se trata con una solución de ácido nítrico 16.75% / ácido clorhídrico 5.55% concentrado. Los metales presentes se solubilizan y la disolución se aspira a la llama de un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodos de cada metal en cuestión.

Las mediciones de absorbancia se hacen a las longitudes de onda características de cada metal (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones instrumentales del EAA

Elemento	Longitud de onda (nm)	Condiciones de llama
Cadmio (Cd)	228,8	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Zinc (Zn)	213,9	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Cobre (Cu)	324,8	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Cromo (Cr)	357,9	Aire-C ₂ H ₂ reductora (amarilla)
Hierro (Fe)	248,3	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Manganeso (Mn)	279,5	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Níquel (Ni)	232,0	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Plata (Ag)	328,1	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)
Plomo (Pb)	283,3	Aire-C ₂ H ₂ oxidante (azul)

Fuente: Perkn Elmer, 2000

Los resultados analíticos se obtienen por interpolación en la curva de calibración correspondiente. Esta curva de calibración se debe realizar antes de hacer lecturas para cada metal. A partir de la cantidad de analito presente en la muestra se obtiene su concentración en el ambiente.

3.1.8 Interferencias

Se producen cuando la absorción o emisión de una especie interferente se solapa o aparece muy próxima a la absorción o emisión del analito, de modo que la lectura por parte del monocromador resulte imposible. Las interferencias químicas se producen como consecuencia de diversos procesos químicos que ocurren durante la atomización y que alteran las características de absorción del analito.

3.1.9 Estimación del riesgo a la salud humana

La evaluación del riesgo para un contaminante tóxico del aire combina resultados de estudios de los efectos en la salud de animales y humanos a las exposiciones a un determinado contaminante, con los resultados de estudios que estiman el nivel de las exposiciones de personas a diferentes distancias de la fuente del contaminante.

Los contaminantes de mayor importancia son aquellos que causan problemas de salud serios o afectan a muchas personas. Los problemas de salud pueden incluir cáncer, irritación respiratoria, problemas del sistema nervioso, y defectos del nacimiento.

Algunos problemas de salud ocurren muy poco después que una persona inhala un contaminante tóxico del aire. Estos efectos inmediatos pueden ser menores, tales como los ojos acuosos. O pueden ser serios, como el daño pulmonar amenazante de la vida.

Otros problemas de salud pueden no aparecer hasta muchos meses o años después de la primera exposición de una persona al contaminante tóxico del aire. El cáncer es un ejemplo de un problema de salud tardado.²¹

3.1.9.1 Relaciones de Dosis - Respuesta

La relación Dosis - Respuesta para un contaminante específico describe la asociación entre estar expuesto y la reacción observada (Efecto de salud). En otras palabras, estima cómo niveles diferentes de exposición a un contaminante cambian la severidad de los efectos a la salud. Así como en la identificación de riesgo, los científicos usan los resultados de estudios animales y humanos para establecer las Relaciones de Dosis – Respuesta. En la ausencia de evidencia clara a lo contrario, La EPA asume que no hay ninguna exposición que tenga "cero riesgo", incluso en muy baja exposición a un contaminante causante de cáncer, puede aumentar el riesgo a este, (si bien en cantidad pequeña).

Las curvas dosis-respuesta permiten predecir el efecto o respuesta en la salud humana por la inhalación de un contaminante atmosférico bajo una cierta dosis. En la Figura 2 se muestra una curva de Dosis – Respuesta.

²¹ Evaluación de riesgo para contaminantes tóxicos del aire, http://www.epa.gov/ttn/atw/3_90_024sp.html

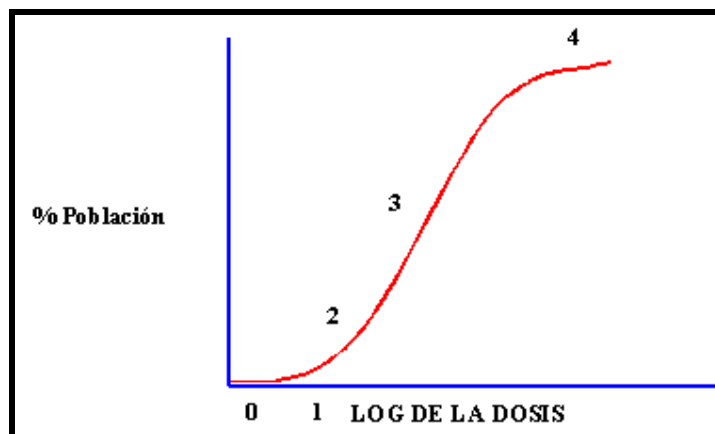


Figura 2. Curva dosis-respuesta

Fuente: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu>

La curva pasa por el origen (cuando la dosis es cero, la respuesta es cero) y a valores muy bajos de la dosis, la curva es horizontal con un valor del efecto igual a cero (la curva va sobre el eje de las dosis). La respuesta empieza a tener un valor mayor que cero cuando la dosis llega al nivel límite. De allí en adelante la pendiente de la curva crece con la dosis, hasta que se llega a una pendiente máxima.

Una dosis puede existir por debajo del efecto de nivel de salud mínimo para que ningún efecto adverso ocurra. La EPA, asume típicamente que a dosis bajas los mecanismos proteccionistas naturales del cuerpo reparan cualquier deterioro causado por el contaminante, así que no hay mal efecto a dosis bajas. Sin embargo, para algunas sustancias no cancerosas, los efectos pueden ocurrir a dosis bajas. La relación Dosis - Respuesta (la reacción que ocurre con dosis creciente) varía con el contaminante, sensibilidad individual, y tipo de efecto de salud.

3.1.9.2 Cálculo de la dosis de exposición

El cálculo de la dosis de exposición por inhalación de material particulado, se debe llevar a cabo para cada metal, en cada día de muestreo y cambiando las diferentes variables.

Para rutas específicas de exposición por inhalación se emplea la siguiente expresión (Vallero, 2004).

$$\text{Dosis} = \text{CxCPxTlxFRxLExDExTAx10}^{-6} / \text{PCxTL}$$

Donde:

Dosis (mg/kg día)

C: concentración del contaminante en el material particulado (mg/kg)

CP: concentración de partículas en el aire (mg/m³)

TI: tasa de inhalación (m³/h)

FR: fracción respirable del total de partículas (si se trata de PM10, FR=1.0)

LE: longitud de la exposición (h/d)

DE: duración de la exposición (días)

TA: tasa de absorción (si se desconoce se debe asumir 1.0)

PC: peso corporal (kg)

TL: típica vida media de la persona (días)

Los valores de TI, PC, TL deben ser estimados de la realidad local. Sin embargo, como aproximación pueden tomarse valores típicos para el caso de estimación del riesgo por inhalación de contaminantes atmosféricos.

Según Vallero, el volumen de aire inhalado para niños es de 15 m³/día, adultos mujeres 21 m³/día y para adultos hombres 23 m³/día. Como tasa de inhalación típica se usa 20 m³/día.

Con respecto al peso corporal según el autor anteriormente citado presenta para los niños, pesos de entre los 15 y los 45 Kg. La longitud de exposición va a indicar las horas diarias en las cuales un individuo esta expuesto a un contaminante.

3.1.10 Estimación del riesgo

El estudio de las sustancias tóxicas, se divide entre las que producen efectos cancerígenos y las que no lo hacen. Las primeras, es decir las cancerígenas,

son sustancias sin umbral de detección, dado que en cualquier cantidad representan un riesgo para la salud humana. Las segundas presentan niveles umbrales por encima de los cuales aparecen los efectos sobre el organismo humano o animal.

3.1.10.1 Sustancias Con Umbral (No Cancerígenas)

Dentro de los efectos tóxicos no cancerígenos se pueden mencionar efectos dérmicos y vasculares, efectos sobre el sistema respiratorio, malformaciones genéticas, etc., dependiendo del contaminante que se trate.

Las sustancias con umbral presentan en la curva dosis-respuesta una dosis en la cual aparece el primer individuo con un efecto adverso; esta dosis se conoce como **LOAEL** (lowest observed adverse effect level), que es literalmente la dosis más baja utilizada en el estudio que causó un efecto dañino, o dicho de otra manera, la dosis que en la escala ascendente de dosis produce el primer caso con un efecto adverso.

Inmediatamente antes del LOAEL se encuentra la dosis que no produce el efecto adverso, que se llama **NOAEL** (no observed adverse effect level) y corresponde al nivel más alto de dosis en el que no se observan efectos dañinos. Para los fines prácticos interesa conocer el NOAEL más bajo obtenido en los estudios experimentales (el obtenido en la especie animal más sensible), si fue por inhalación o ingestión y el tipo específico de daño que se produjo; en su defecto hay que usar el LOAEL.

3.1.10.2 Dosis de referencia (DRf) y concentración de referencia (CRf)

El concepto de DRf se aplica especialmente para sustancias de acción sistémica, que se absorben y luego se distribuyen por el organismo. Es el nivel de exposición diaria que no produce un riesgo apreciable de daño en poblaciones humanas, incluyendo las subpoblaciones sensibles. Para una

misma sustancia el DRf puede ser diferente por la vía respiratoria o digestiva. El DRf se deriva del NOAEL aplicando un factor de incertidumbre asociado a la extrapolación de resultados hechos con animales a la especie humana, la variabilidad de la población en general, y otras consideraciones. El DRf se expresa en (mg/kg día).

$$\text{DRf} = \text{NOAEL} / \text{factor de incertidumbre}$$

Para estimar el riesgo en sustancias con umbral, se usa el índice de peligro (IP), en el que se compara la dosis localmente medida y el valor de la DRf que tiene la sustancia para la vía respiratoria o digestiva.

$$\text{IP} = \text{dosis (mg/kg día)} / \text{DRf (mg/kg día)}$$

El IP denota seguridad en las condiciones locales de exposición cuando resulta en un valor de uno o menor de uno, o sea, se está en o por debajo de la dosis establecida como límite seguro, la DRf. Al crecer el valor progresivamente sobre uno, significa que la exposición local está incrementándose a niveles peligrosos que cada vez aumentan la posibilidad de que aparezcan los efectos adversos en la población.

Para aquellos contaminantes del aire que ejercen acción tóxica local y para los cuales los niveles de causan efectos observables en humanos se definen en función de su concentración en el aire en vez de la dosis, se aplica el concepto de “concentración de referencia” (CRf). Se expresa en (mg/m³).

Para convertir de la dosis de referencia (DRf) a concentración de referencia (CRf) se puede usar la siguiente expresión:

$$\text{DRf} = \frac{\text{CRf} * \text{TI} * \text{TA}}{\text{PC}}$$

Donde:

TI = tasa de ingreso en el organismo, ventilación (m^3/d) típicamente se usa $20 \text{ m}^3/\text{d}$

TA = tasa de absorción (si se desconoce se debe asumir 1.0)

PC = peso corporal (Kg), típicamente se usa 70 Kg

3.1.10.3 Sustancias Sin Umbral (Cancerígenas)

EPA tiene la siguiente clasificación para sustancias cancerígenas:

A- carcinógeno humano

B – probable carcinógeno humano con dos subclasificaciones:

B1 – sustancias con muy pocos datos de estudios epidemiológicos

B2 – sustancias con suficiente evidencia en estudios con animales

C – posible carcinógeno humano

D – no clasificable como carcinógeno humano

E – evidencia de no carcinógeno para los humanos

Con las sustancias sin umbral, que en general son las de tipo carcinogénico, un probable impacto biológico adverso se puede producir a cualquier dosis, incluso a dosis extremadamente bajas; hay un riesgo finito a concentraciones y a dosis muy bajas, las que no es posible medir con las técnicas de laboratorio disponibles. En la práctica, la exposición a cualquier concentración ambiental de un carcinógeno va a representar una posibilidad definida de desarrollar un cáncer según la concentración de la sustancia.

En caso de sustancias cancerígenas se usa el valor de “unidad de dosis” o “factor de potencia carcinogénica” (FPC) (Cancer slope factor). Este valor que es específico para cada carcinógeno e incluso para cada vía de exposición, respiratoria o digestiva, está referido para cada mg de la dosis; al multiplicar el FPC por la dosis del carcinógeno localmente medida en los humanos se obtiene la magnitud del riesgo que tiene un individuo de la comunidad expuesta de desarrollar el cáncer asociado.

$$\text{Riesgo individual} = \text{FPC (mg/Kg d)}^{-1} \times \text{dosis (mg/Kg d)}$$

$$\text{Riesgo poblacional} = \text{riesgo individual} \times \text{población expuesta}$$

El FPC por tanto, se relaciona con la dosis de exposición medida en la población expuesta.

Mediante modelos toxicocinéticos se puede calcular el valor de la concentración del carcinógeno en el aire o en el agua que se corresponde y es equivalente al FPC, valor que se llama “unidad de riesgo” (UR) y que está referido para cada μg del carcinógeno por m^3 de aire o litro de agua.

El UR por tanto, se relaciona con la concentración ambiental del carcinógeno medida localmente.

Para convertir FPC a UR se usa la siguiente expresión:

$$\text{FPC (mg/kg dia)}^{-1} = \text{UR (ug/m}^3\text{)}^{-1} \times \text{PC (kg)} \times 1000 \text{ ug/mg} / \text{TI (m}^3\text{/d)}$$

El riesgo poblacional debe interpretarse como el riesgo durante toda la vida de desarrollar cáncer, que se presenta en una población en la cual todos los individuos están continuamente expuestos, desde el nacimiento y a lo largo de toda su vida, a una concentración de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del agente en el aire que respiran o de $1 \mu\text{g}/\text{L}$ en el agua que beben. El riesgo poblacional es una proyección probabilística de la incidencia del efecto en la población expuesta de por vida. Lo práctico del resultado es que el dato da una idea objetiva acerca de la magnitud actual del riesgo y que podría ser real si las condiciones se mantuvieran muy estables por mucho tiempo en el futuro; además, es una modalidad para evaluar comparativamente las variaciones del riesgo a lo largo del tiempo según como evolucionen las condiciones locales tanto en nivel de contaminación como en tamaño de la población expuesta.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan conceptos de interés para la comprensión del tema base de contaminación del aire a partir de metales pesados en material particulado.

Aerosol: Una suspensión de partículas sólidas o líquidas en un gas, cuando están en la atmósfera, el tamaño de las partículas que conforman un aerosol puede variar desde unos pocos nanómetros hasta decenas de micras y su composición es tan compleja como la gran variedad de elementos y sustancias que se producen en las actividades humanas y en los procesos naturales.

Contaminación del aire: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido, gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de la combinación de estas.

Concentración: Relación que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen de aire en la cual está contenida, para efectos del proyecto se trabajará principalmente con miligramos por metro cúbico (mg / m^3)

EAA (Espectrofotómetro/Espectrofotometría de Absorción Atómica): Instrumento utilizado para medir la intensidad de un espectro determinado en comparación con la intensidad de luz procedente de una fuente patrón. Esta comparación permite determinar la concentración de la sustancia que ha producido ese espectro.

Emisión: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

Estimación del riesgo: Probabilidad de que ocurran trastornos de la salud a consecuencia de las sustancias peligrosas presentes en un lugar.

Fuente fija: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Fuente móvil: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.

LOAEL: (lowest observed adverse effect level) dosis que en la escala ascendente que produce el primer caso con un efecto adverso.

L.P.A.: Localidad de Puente Aranda

NOAEL: (no observed adverse effect level) corresponde al nivel más alto de dosis en el que no se observan efectos dañinos. Para los fines prácticos interesa conocer el NOAEL más bajo obtenido en los estudios experimentales.

Partícula: Materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente $0.0002 \mu\text{m}$ de diámetro) pero menores de 500 nm ($1 \text{ m} = 1 \text{ micrometro} = 10^{-4} \text{ cm}$)

Partículas Menores a 10 μm (PM_{10}): corresponde a la fracción en peso de las partículas recolectadas en un muestreador con un diámetro aerodinámico de corte del 50% (D50) igual a 10 μm . Esto significa que si dos partículas con diámetro aerodinámico de 10 μm se acercan al muestreador se espera que únicamente solo una de ellas entre en el mismo. Estas partículas corresponden a la fracción torácica; es decir, las partículas respirables que penetran la laringe.

Partículas Suspendidas Totales (TSP): Es un estimativo de la masa total de material particulado en el aire medido con un muestreador de alto volumen (Hi-Vol Sampler).

Ralenti (Marcha Mínima): Número de revoluciones por minuto al que debe funcionar un motor para mantenerse en funcionamiento.

3.3 MARCO LEGAL

Para partículas con tamaño menor a 10 μm (PM_{10}) la Resolución 1208 del 5 de septiembre de 2003 del DAMA y la EPA presentan los siguientes valores:

Tabla 2. Normas de calidad del aire para PM_{10} según el DAMA y la EPA

AUTORIDAD	PERÍODO	NORMA	UNIDAD DE MEDIDA	COMENTARIOS
DAMA	Anual	80	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prom. Aritmético de las conc. medias diarias en 365 días
	24 horas	180	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas
EPA	Anual	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prom. Aritmético de las conc. medias diarias en 365 días
	24 horas	150	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas

Fuente: Resolución DAMA 1208 de 2003 y The National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution

La normatividad encontrada no aplica para el presente estudio debido a que esta dado solo para Plomo y compuestos de Cadmio en promedios anuales y de cada tres meses (resolución 1208 del 5 de septiembre de 2003).

Tabla 3. Normas de calidad del aire para sustancias peligrosas.

CONTAMINANTE	PERIODO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	2006	2010
PLOMO	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días.	ug/m^3	2.5	0.5
	3 meses	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 3 meses.	ug/m^3	3.0	1.5
Cadmio y sus compuestos expresados como Cd	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días.	ug/m^3	0.08	0.04

Fuente: Resolución DAMA 1208 de 2003

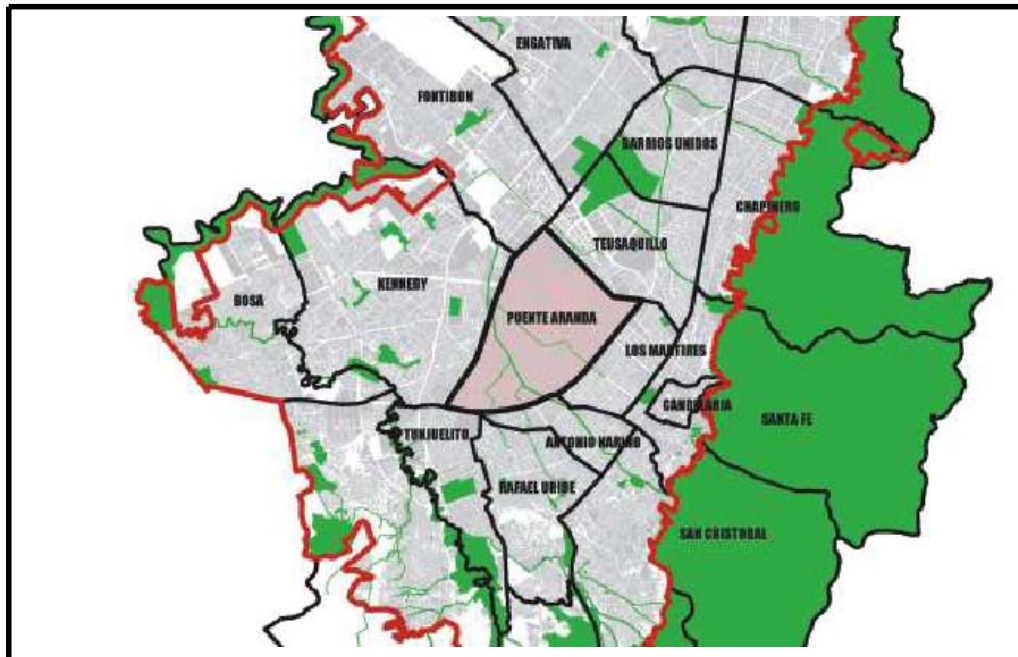
4. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 Localidad de Puente Aranda

Puente Aranda se encuentra ubicada hacia el centro de la ciudad y limita, al norte con la localidad de Teusaquillo; al sur, con la localidad de Tunjuelito; al oriente, con las localidades de Los Mártires y Antonio Nariño; y al occidente, con las localidades de Fontibón y Kennedy.

La localidad tiene una extensión total de 1724.5 hectáreas (ha) todas ellas urbanas, de las cuales 39.1ha corresponden a suelo protegido. Esta localidad no cuenta con terrenos catalogados como suelo en expansión y suelo rural y es la séptima localidad con menor extensión en el distrito.

Figura 3. Mapa de localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C.



Fuente: ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, 2004.

4.2 Caracterización geográfica

La localidad de Puente Aranda ocupa un terreno plano, con ligero desnivel de oriente a occidente. Se encuentra localizada en su totalidad sobre áreas que constituyeron humedales, sus terrenos se encuentran ubicados a una altitud aproximada de 2600 metros sobre el nivel del mar (msnm).²²

4.3 Contaminación Atmosférica en la localidad

La contaminación atmosférica en la localidad se origina fundamentalmente en las emisiones puntuales provenientes de grandes medianas y pequeñas industrias que tienen su sede en la localidad, así como fuentes móviles, dado el alto tráfico automotor que caracteriza las vías de la localidad.

En la localidad funcionan alrededor de 20200 establecimientos comerciales e industriales que carecen en su mayoría de medidas de control de emisiones atmosféricas.²³

4.4 Tamaño y distribución de la población

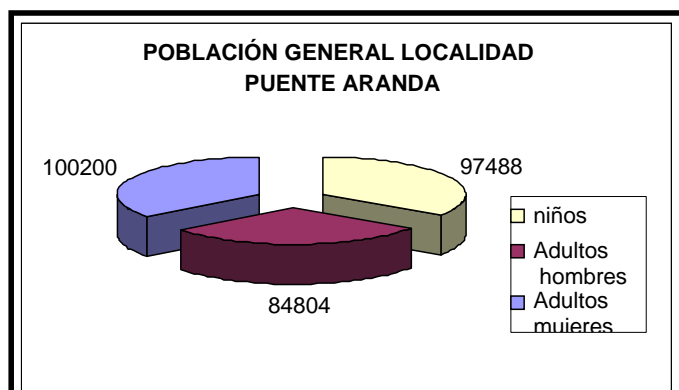
Las proyecciones de población realizadas por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD) para los años 1997 a 2010 se mantienen estables. La población de niños, adultos mujeres y adultos hombres, son consideradas como la población residente general en la localidad, Puente Aranda cuenta con una población total de 282.491 personas, cifra que representa el 5% de la población residente en el Distrito Capital, de este total

²² ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. 2004. *Recorriendo Puente Aranda, Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá D.C.*

²³ Ibid., p. 59

132.113 (el 47%) son hombres y 150.378 (el 53%) mujeres. La razón mujer / hombre es de 1.1 a 1.²⁴

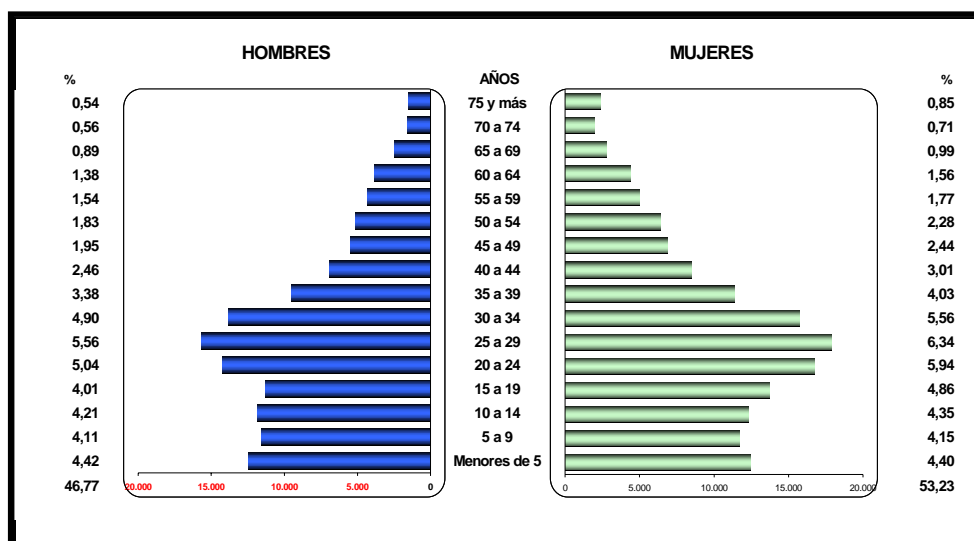
Figura 4. Distribución población Puente Aranda



Fuente: autores

La población de niños comprende (para el presente estudio) las edades de 0 a 19 años, representando el 31.51%, considerada una de las poblaciones más vulnerables. Los adultos mujeres representan el 35.47% y los adultos hombres el 30.02% de los habitantes de la localidad de Puente Aranda.

Figura 5. Pirámide Poblacional Localidad De Puente Aranda, 2002



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2002

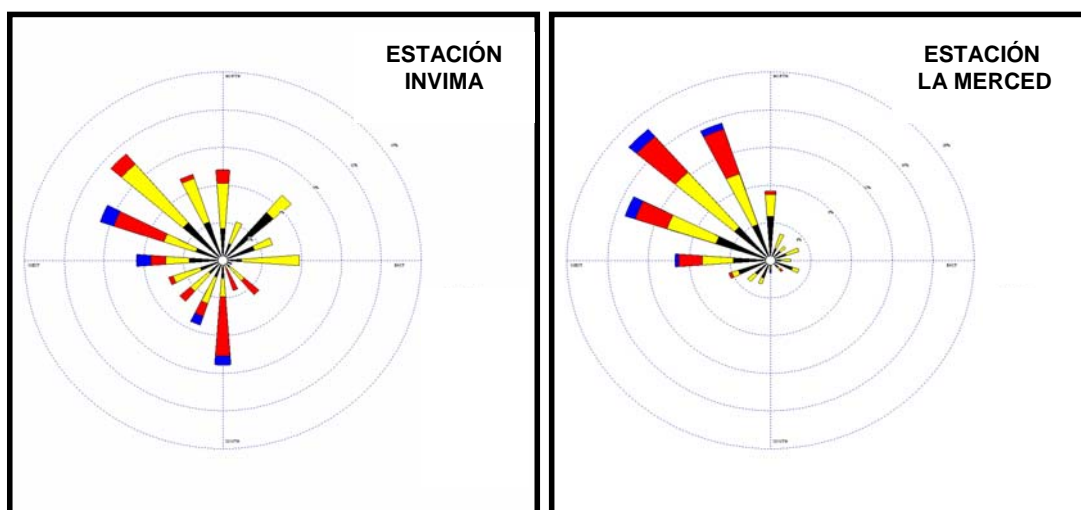
²⁴ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. 2004. Ibid.,p.59

La localidad de Puente Aranda posee una densidad poblacional de 163.81 hab./m²(25). Es necesario aclarar que la localidad tiene un gran porcentaje de población flotante con respecto a la censada como residente, debido a la presencia de una gran área industrial y comercial a la que diariamente acuden miles de personas por razones ocupacionales. También se resalta la presencia de habitantes de la calle, donde se detectó un incremento significativo en el número de los llamados “cambuches” y de personas, pasando de 39 a 88 cambuches y de 129 a 276 habitantes de la calle observados en el período de mayo a diciembre del año 2002. Este aumento se ha venido presentando en la calle 6 entre carreras 32 a 37, en el Barrio Galán, Primavera, Alcalá y en la zona industrial cerca de la avenida de Las Américas con Cra. 68.²⁶

4.5 Meteorología de La Localidad

Con los datos meteorológicos de velocidad y dirección del viento, temperatura y precipitación de la estación 13 de la localidad de Puente Aranda del DAMA se obtuvieron las rosas de vientos en los dos puntos de muestreo.

Figura 6 . Dirección y velocidad del viento durante el muestreo en las estaciones de muestreo



²⁵ Densidad poblacional por UPZ, Puente Aranda, 2002; Datos DAPD, cálculo de los autores

²⁶ Proyecto 7312 Atención al ciudadano-a habitante de la calle adelantado por el DABS en el 2001.

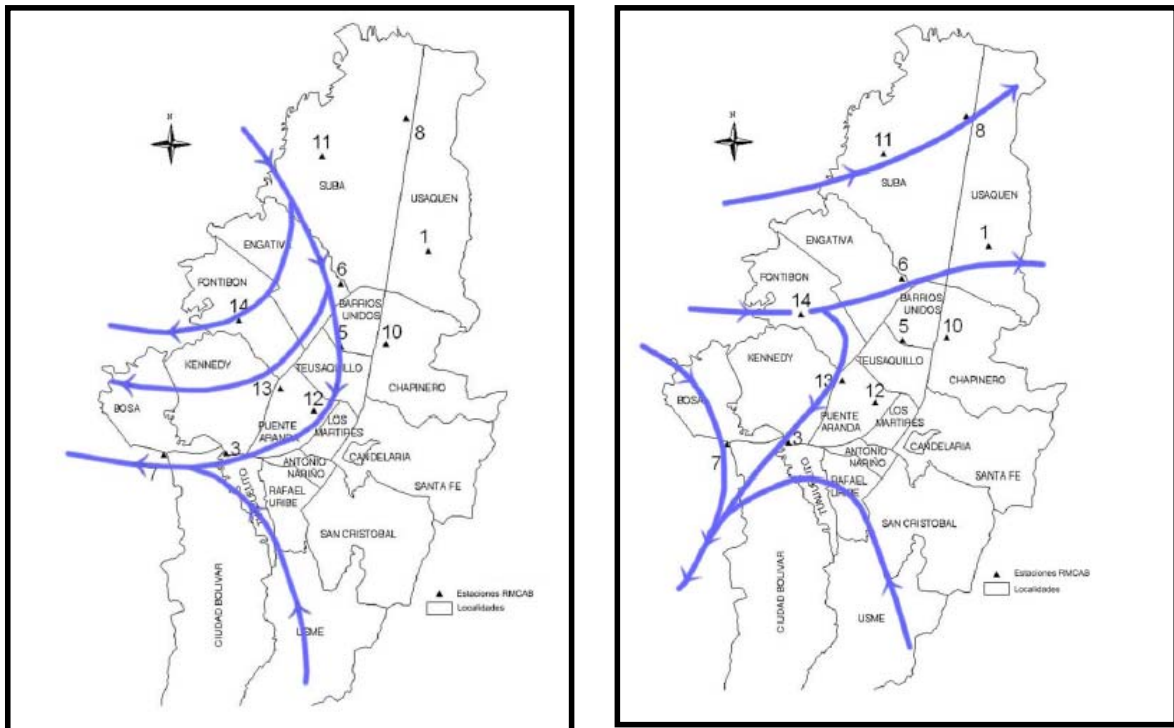
VELOCIDAD EN m/s					
>11.06	8.49-11.06	5.40-8.49	3.34-5.40	1.80-3.34	0.51-1.80

Fuente: Patiño Diana, Quitian Ciro; 2005

En la estación del INVIMA los vientos provienen predominantemente del Sur-Este a velocidades que oscilan entre los 0.51 – 3.34 m/s principalmente catalogadas como velocidades bajas y con menor incidencia vientos con velocidades entre los 3.34 - 8.99 m/s catalogadas como velocidades medias, en la estación de LA MERCED es mas notable y esta mas definida la dirección del viento que va en dirección Sur- Este pero en esta estación las velocidades son mayores ya que se encontraron vientos de hasta 8.49 m/s.

La gran mayoría de las industrias se encuentran ubicadas hacia la parte sur oriental de la estación que coincide con la procedencia del viento, que ayuda a explicar las altas concentraciones de material particulado de 10 y 2.5 μm obtenidas en el muestreo.

Figura 7. Dirección predominante del viento en la ciudad de Bogotá



Fuente: DAMA, 2005

5. METODOLOGIA

5.1 MONITOREO ATMOSFÉRICO

El muestreo fue realizado en dos puntos de la localidad de Puente Aranda (ver figura 8), el primer punto ubicado en el Instituto Nacional para la Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA (Carrera 68D#17-11) (ver figura 9) y el segundo localizado en el Colegio LA MERCED (Calle 13#41-57) (ver figura 10). Los puntos fueron seleccionados teniendo en cuenta su ubicación con respecto a industrias y vías principales, condiciones optimas para su funcionamiento (Logística) y por factores de seguridad para los equipos.

Figura 8. Ubicación de estaciones de muestreo INVIMA y LA MERCED en la localidad de PuenteAranda



Fuente: ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2004.

Figura 9. Estación INVIMA



Fuente: Los autores

Figura 10. Estación LA MERCED



Fuente: Patiño Diana, Quitian Ciro; 2005

Los muestreos fueron realizados entre los días 24 de Octubre y 24 de Noviembre del año 2005. Se estimó un área de influencia de 10 Km a la redonda de los puntos de muestreo con el fin de identificar las fuentes aledañas a cada estación (Tabla 4).

Tabla 4. Ubicación y fechas de muestreo para las dos estaciones de la localidad de Puente Aranda

ESTACIÓN	ZONA DE INFLUENCIA		FECHA DE MUESTREO
	DESDE	HASTA	
INVIMA	Kr 78	Kr 54	24 de Oct. al 3 de Nov. de 2005
	CII 28	CII 6	
LA MERCED	Kr 51	Kr 30	13 de Nov. Al 24 de Nov. de 2005
	CII 23	CII 3	

Fuente: Los Autores

5.1.1 Equipo de muestreo

5.1.1.1 Medidor de Alto Volumen (Hi-Vol) PM₁₀

Se trata de un muestreador mecanizado que colecta muestras de tipo integrado (periodos determinados de tiempo), este medidor colecta las partículas por un mecanismo de succión sobre filtros de diferentes materiales durante el periodo especificado en el programa de monitoreo. Este instrumento esta diseñado para coleccionar partículas de tamaño menor a 10 µm.

El muestreador de alto volumen debe ser capaz de trabajar a un flujo promedio de $1.70 \text{ m}^3/\text{min}$ ($60\text{ft}^3/\text{min}$). El flujo de aire debe ser constante, y así se debe mantener mediante un controlador de flujo durante el tiempo de muestreo (24 horas).

Se utilizó un equipo medidor de PM_{10} marca Graseby Andresen, de referencia RFPS-1287-063 y serie 3493.

Figura 11. Muestreador de alto volumen PM_{10} , ubicado en la estación INVIMA



Fuente: Los Autores

5.1.2 Selección del Filtro

En general, el tipo de filtro depende del propósito del muestreo, para la realización de cualquier análisis estándar, se debe contar con el medio de recolección (filtro) específico.

La selección del filtro depende de variables tales como su capacidad de retención de humedad, su eficiencia de recolección, su estabilidad mecánica; los filtros deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el flujo de aire sin romperse ni producir fugas, su estabilidad química; que sus componentes no reaccionen con las partículas del filtro y su estabilidad con la temperatura; no pueden variar las condiciones del filtro durante el muestreo.

Se realizó el muestreo con filtros de cuarzo debido a su bajo contenido de metales. Además, su resistencia química frente a todos los solventes y ácidos (excepto ácido fluorhídrico), y su resistencia térmica (hasta 1000°C) les otorga a estos filtros un alto grado de confiabilidad para este tipo de muestreos.

5.2 FASE DE LABORATORIO

Se utilizó material de polipropileno para el envasado de las muestras. Todo el material fue lavado y posteriormente purgado con una mezcla sulfocrómica.

5.2.1 Acondicionamiento de Filtros

El método IO-3.1 de la EPA dice que los filtros deben tener una humedad relativa menor a 50% ($50 \pm 5\%$) y estar a una temperatura entre 15 y 35°C.

Con base en lo anterior, se realizó un acondicionamiento de los filtros antes y después del monitoreo, esto en aras de mantener condiciones optimas durante el muestreo.

Con el fin mantener la humedad relativa de los filtros por debajo del 50%, estos fueron llevados al desecador del laboratorio de Ingeniería Ambiental de La Universidad de La Salle por un periodo de 36 horas antes y despues del muestreo para eliminar posibles errores en el pesaje de los filtros.

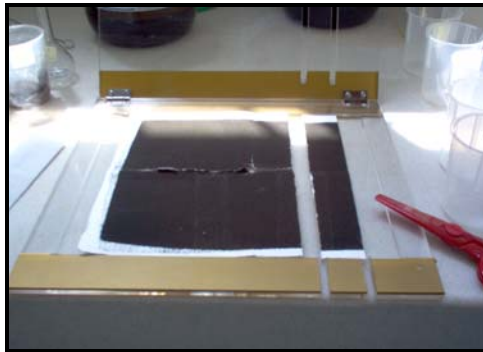
5.2.2 Pesaje de filtros

Los filtros fueron pesados antes y después del monitoreo teniendo en cuenta que el pesaje debía realizarse justo después de sacar los filtros del desecador, esto con el fin de obtener el peso real de las partículas sin errores por humedad.

5.2.3 Extracción de muestras

Una vez desecados y pesados, se cortaron los filtros en tiras de 2.5 x 20 cm y estos a su vez en pequeños trozos sobre beakers de polipropileno de 100 ml. Luego, se les adicionaron 30ml de solución ácida (ácido clorhídrico al 5.55% y ácido nítrico al 16.75%) con el fin de separar los metales del filtro, se cubrieron los beakers con fibras plásticas y se calentaron a baño María durante una hora.

Figura 12. Corte de filtros en cuarzo



Fuente: Los Autores

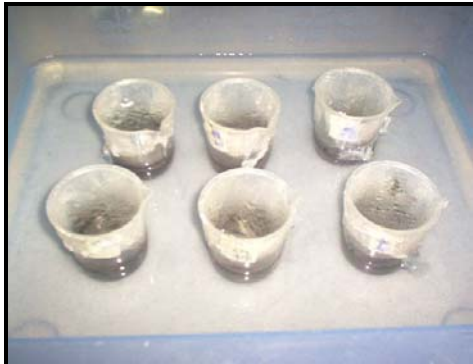
Figura 13. Calentamiento de los filtros a baño María



Fuente: Los Autores

Después se dejaron enfriar las muestras durante media hora, la solución resultante fue mezclada y filtrada (con el fin de remover cualquier tipo de material insoluble) en balones de 50 ml, estos fueron llevados a volumen con agua desionizada. La solución resultante fue analizada en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica presente en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle.

Figura 14. Enfriamiento de las muestras



Fuente: Los Autores

Figura 15. Filtrado de las muestras



Fuente: Los Autores

En la primera campaña de monitoreo (Junio y Julio de 2005) se manifestó que no había necesidad de realizar terceras extracciones para algunos de los metales en estudio, se realizó análisis para Hierro, Cromo, Cobre, Zinc y Plomo. Debido a que en el presente trabajo se realizó análisis para cuatro nuevos metales (Plata, Níquel, Manganeso y Cadmio) se vio la necesidad de hacer nuevamente tres extracciones para cada uno de los filtros en los dos puntos de muestreo.

5.2.4 Filtro Blanco

Al igual que para los filtros con muestra, se realizaron extracciones para un filtro sin utilizar con el fin de tomarlo como blanco, se buscó con esto tener el punto de referencia a partir del cual se realizaron las lecturas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, y evitar posibles errores en el caso de encontrar contenidos de metal en los filtros.

El filtro blanco se corría antes de realizar las curvas de calibración y antes de empezar las lecturas para cada extracción.

5.2.5 Interferencias

Las interferencias son fenómenos cuyos resultados desvirtúan la determinación de las concentraciones verdaderas presentes en las muestras.

Se eliminaron interferencias para Cromo, Hierro, Plata y Manganese mediante la adición de diferentes soluciones (ver tabla 5).

Para el caso del Níquel, las interferencias se eliminaron modificando las condiciones de la llama, al cambiar la combinación Aire/Acetileno por Oxido Nitroso/Acetileno.

Tabla 5. Condiciones para eliminar interferencias en el EAA

METAL	CONDICION
Cr	Adición de NH_4Cl al 2%
Fe y Mn	Adición de CaCl_2 al 0.2%
Ag	Adición de CH_3COOH al 5%
Ni	Cambio de Aire por Oxido Nitroso en el EAA

Fuente: Perkn Elmer, 2000

Para los demás metales no se realizó ninguna variación ya que no presentan interferencias significativas.

5.2.6 Lectura en EAA

Una vez realizado el monitoreo y la digestión de cada una de las muestras se continuó con la lectura en el Espectrofotómetro de absorción Atómica; para esto se utilizó un equipo PELKINELMER AAnalyst 300.

Figura 16. Espectrofotómetro de absorción Atómica de La Universidad de La Salle



Fuente: Los Autores

Primero se realizaron lecturas para cada uno de los metales con interferencias (sin aplicación de ninguna solución ni cambio en las condiciones de la llama) y luego para los metales sin interferencias; como se mencionó anteriormente solamente cuatro de los nueve metales presentan interferencias representativas, estos son Cromo, Hierro, Plata y Níquel.

Se llevó a cabo el procedimiento del equipo. Primero, se enciende la UPS (Unidad del EAA), el equipo y el computador, se entra al programa del Espectrofotómetro (WinLab) se acondiciona la lámpara de cátodo hueco del metal que se va a determinar, se deja encendida durante 15 minutos en aras de lograr una condición estable de la luz de la lámpara, luego se ajustan las condiciones para el metal como la longitud de onda y la proporción del oxidante con respecto al combustible (ver tabla 6).

Tabla 6. Condiciones de funcionamiento del EAA

METAL	LIMITE DE DETECCIÓN (MG/L)	LONGITUD DE ONDA (NM)	GASES COMBUSTIBLES	COLOR DE LA LAMA	CONCENTRACIÓN DE CHEQUEO
Cadmio (Cd)	0.0008	228,8	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	1.5
Zinc (Zn)	0.0015	213,9	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	1
Cobre (Cu)	0.0015	324,8	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	4
Cromo (Cr)	0.003	357,9	Aire-C ₂ H ₂	reductora (amarilla)	4
Hierro (Fe)	0.005	248,3	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	6
Manganeso (Mn)	0.0015	279,5	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	2.5
Níquel (Ni)	0.006	232,0	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	7
Plata (Ag)	0.0015	328,1	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	2.5
Plomo (Pb)	0.015	283,3	Aire-C ₂ H ₂	oxidante (azul)	20

Fuente: Perkn Elmer, 2000

Para poder realizar una lectura en el EAA se debe hacer antes una curva de calibración con la cual se lea una absorbancia determinada y se relacione con su respectiva concentración.

Se realizó una curva para cada metal con la ayuda de patrones con concentraciones definidas (ver Tabla 23), estos patrones se hicieron a partir de diluciones de una solución con concentración de 1000 mg/L del metal en estudio.

Se hicieron 5 patrones para cada metal, las concentraciones se eligieron teniendo en cuenta el rango lineal del equipo dado por el proveedor; uno de los patrones se hizo con la concentración de chequeo, este patrón sirve para verificar la calibración del equipo a lo largo de las mediciones. Esta solución se leía con relativa frecuencia (cada 10 muestras).

La confiabilidad de las curvas se determinó mediante su regresión lineal la cual en todos los casos estuvo por encima de 0.9990. (ver Anexo 4)

Después de esto, se procedió con la lectura de las muestras; después de cada verificación de chequeo se determinaba la necesidad de crear o no una nueva curva de calibración ya que debido a cambios en las condiciones de trabajo, el equipo podría arrojar resultados erróneos.

5.2.7 Diluciones

Para Hierro, Plomo y Zinc se vio la necesidad de realizar diluciones debido a que sus concentraciones se encontraron por encima del rango de la curva de calibración lo que impedía que el EAA pudiera realizar una lectura válida. Luego para los cálculos se tuvieron en cuenta estas diluciones con el fin de obtener las concentraciones reales.

Se hicieron tres tipos de dilución:

Dilución 1-1: Compuesta por 5 ml de muestra + 5 ml de agua desionizada

Dilución 1-1.5: Compuesta por 5 ml de muestra + 7.5 ml de agua desionizada

Dilución 1-2: Compuesta por 5 ml de muestra + 10 ml de agua desionizada

Solo hubo necesidad de realizar diluciones en las primeras extracciones de los filtros, las segundas y terceras extracciones entraron en el rango de lectura del EAA. Los espacios en blanco muestran los filtros para los cuales no se realizó dilución (ver tabla 7).

Tabla 7. Muestras a las cuales se les realizaron diluciones

	INVIMA		MERCED		
	Fe	Zn	Fe	Pb	Zn
1			1-1		
2	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
3	1-1	1-1.5	1-2	1-1	1-1.5
4	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
5	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
6	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
7	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
8	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
9	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
10	1-1	1-1.5	1-2	1-2	1-1.5
11	1-1	1-1.5	1-1		1-1.5
12	1-1	1-1.5	1-1	1-2	1-1.5

Fuente: Los Autores

5.3 ANALISIS DE FUENTES DE EMISIÓN

Se realizó el análisis de las fuentes de emisión presentes en la localidad con el fin de asociar fuentes fijas y móviles a la presencia de metales pesados en la atmósfera de la zona en estudio. Para esto, se trabajó con los factores de emisión diseñados por la EPA (Environmental Protection Agency) para fuentes fijas y factores de emisión propuestos en investigaciones realizadas en vehículos con motor Diesel para fuentes móviles.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El manejo realizado a la información consistió en perfiles de concentración de los metales en partículas de tamaño menor a 10 μm (PM₁₀), comparación con la primera campaña de monitoreo realizada en el año 2005 para las mismas dos estaciones (INVIMA y LA MERCED), comparación con otros estudios

realizados, análisis estadístico (correlación), asociación de las concentraciones obtenidas en el muestreo a fuentes fijas y fuentes móviles mediante el uso de Factores de Emisión y estimación del riesgo a la salud de los habitantes de la localidad y otros que puedan verse afectados.

5.5 ESTIMACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD

Se estimó el riesgo a la salud determinando dosis diarias de exposición a metales pesados en los habitantes de la Localidad de Puente Aranda a partir de las concentraciones obtenidas durante el muestreo en las dos estaciones. Posteriormente se realizó el cálculo del índice de peligrosidad y el riesgo a la población local.

5.6 ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE EMSIONES

Finalmente se realizaron propuestas para la prevención y el control de emisiones producidas en la Localidad de Puente Aranda para fuentes fijas y fuentes móviles.

6. FUENTES DE EMISIÓN

6.1 FUENTES FIJAS

Con el fin de asociar los sectores industriales a las concentraciones registradas en los dos puntos de muestreo de la localidad, se analizaron las emisiones mediante el uso de factores de emisión (ver figuras 17 y 18).

Figura 17. Fuentes Fijas presentes en la estación INVIMA



Fuente: Los Autores

Figura 18. Fuentes Fijas presentes en la estación LA MERCED



Fuente: Los Autores

Un factor de emisión es un valor representativo que busca relacionar la concentración de un contaminante liberado a la atmósfera con la actividad asociada a la generación del mismo. Los factores se expresan como unidades de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Entre las unidades de proceso más comunes se encuentran el consumo combustible, energía o materia prima, las unidades de producción, el calendario de operación o el número de dispositivos o características de estos.

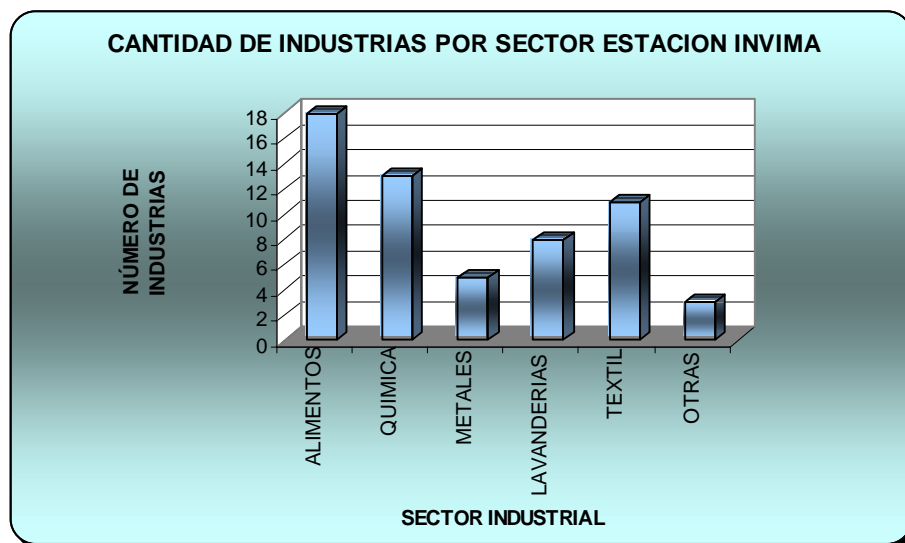
La fuente de consulta utilizada para la estimación de emisiones en la localidad con base en consumos de combustible fue el documento *AP-42 Compilation Of Air Pollutant Emission Factors* (U.S. EPA, 1995) el cual contiene los factores de emisión determinados en Estados Unidos para gran cantidad de actividades. Si

bien el número de procesos y la clase de combustibles que se usan en Colombia varían de los mostrados en dicho documento, representan un estimativo de las emisiones que se pueden estar produciendo para así proponer medidas que disminuyan la concentración de contaminantes en la atmósfera de la ciudad.

Para la cuantificación y clasificación de industrias de la localidad de Puente Aranda se trabajó con el inventario de fuentes fijas realizado por el DAMA en el año 2004 donde se especifica para cada industria su actividad, consumo y tipo de combustible entre otros (Anexos 1 y 2).

De las 58 industrias presentes en la zona de influencia de la estación INVIMA, las más predominantes son los sectores Alimentos, Químico y Textil los cuales representan el 31, 22 y 19% del total (ver figura 19).

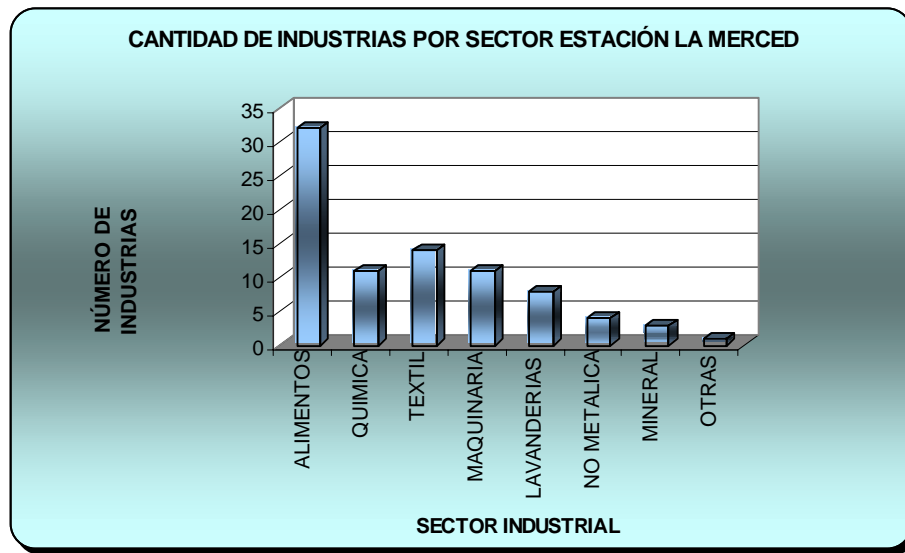
Figura 19. Cantidad de industrias por sector presentes en la zona de influencia ESTACIÓN INVIMA



Fuente: Patiño Diana, Quitian Ciro; 2005

Por otra parte, en la zona de influencia de la estación LA MERCED, se registran en el inventario alrededor de 162 industrias donde los sectores más predominantes son Alimentos, Textiles y Químico que componen el 37, 17 y 13% del total (ver figura 20).

Figura 20. Cantidad de industrias por sector presentes en la zona de influencia ESTACIÓN LA MERCED



Fuente: Patiño Diana; Quitian Ciro, 2005

Para el uso de los factores de emisión se tomó como referencia el tipo y cantidad de combustible utilizado en cada uno de los procesos industriales; para esto, se identificó el tipo y cantidad de combustible por industria.

6.1.1 Muestra de Cálculos Por Factores de Emisión

Para el uso de factores de emisión con el fin de cuantificar emisiones de un contaminante específico se trabaja con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación General para la Estimación de Emisiones:}$$

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

Donde:

E = Emisión

A = Intensidad de la actividad

EF = Factor de Emisión

ER = Eficiencia en reducción de emisiones (%)

Ejemplo:

Actividad: Elaboración y envase de encurtidos y conservas

Combustible: Carbón

Consumo: 12 Kg/hora = 0.288 Ton/día

Factor de Emisión para Cadmio: 5.1E-05 Lb/Ton

Sistemas de Control: No tiene

Primero se realiza la conversión de unidades del factor de emisión:

$$(5.1E-05 \text{ Lb/Ton}) * (0.454\text{Kg/Lb}) = 2.30E-05 \text{ Kg/Ton}$$

Luego se aplica la formula, para esto, se multiplica la producción por el factor obteniendo la emisión de Cadmio para una industria que trabaja con carbón como combustible; al no haber sistema de reducción de emisiones la ecuación queda:

$$E = (0.288 \text{ Ton/día}) * (2.30E-05\text{Kg/Ton}) = \boxed{6.62E-06 \text{ Kg de Cd/día}}$$

Luego de calcular las emisiones diarias de cada industria, se realizó la sumatoria para cada metal y se clasificó en sectores productivos para poderlos relacionar con los resultados obtenidos de los muestreos realizados.

Para lograr una relación entre los combustibles utilizados en la localidad de Puente Aranda y los referenciados en el documento de la EPA, los combustibles fueron asociados a tres grupos: Carbón, Fuel Oil y Gas Natural (ver tabla 8).

Tabla 8. Asociación de combustibles presentes en la EPA con los utilizados en las industrias de Puente Aranda

COMBUSTIBLES según EPA	COMBUSTIBLES ASOCIADOS (Puente Aranda)
CARBÓN BITUMINOSO Y SUBBITUMINOSO	Carbón y Carbón Mineral
FUEL OIL Y CRUDOS	ACPM, Combustóleo, Crudo(de Castilla, de Rubiales, Liviano y Liviano TT2), Fuel Oil y Fuel Oil N° 6
GAS NATURAL	Gas Natural y Gas Propano

Fuente: Los Autores

En la tabla 9 se muestran los metales que puede emitir cada uno de los combustibles utilizados en los sectores productivos presentes en la Localidad de Puente Aranda.

Tabla 9. Emisión de Metales Pesados para los combustibles utilizados en la Localidad de Puente Aranda

Combustible	Metal
Gas natural	Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Carbón	Cd, Cr, Mn, Ni, Pb
Fuel oil	Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn

Fuente: EPA, AP- 42, 2002

La tabla 10 muestra los factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones por fuentes fijas a partir del tipo de combustible utilizado en los diferentes procesos industriales.

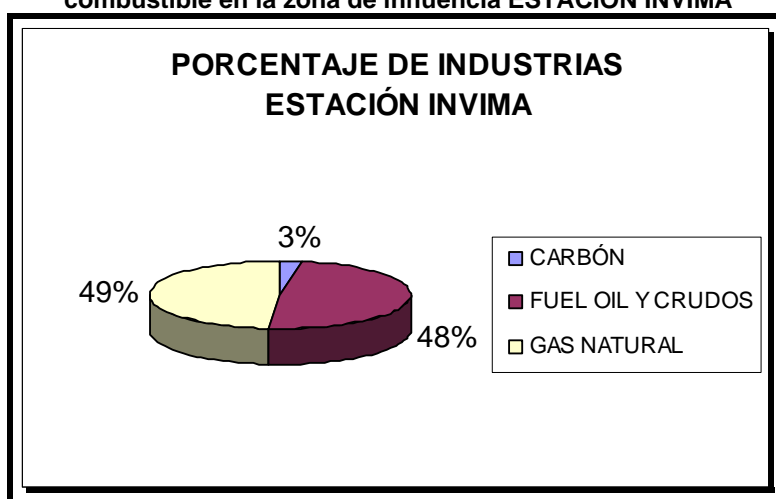
Tabla 10. Factores de emisión por tipo de combustible para los metales pesados en estudio

	GAS NATURAL (KG/10⁶M³)	CARBÓN (KG/TON)	FUEL OIL (KG/M³)
Cd	1,76E-02	2,30E-05	4,78E-05
Cr	2,24E-02	3,59E-05	2,98E-05
Cu	1,36E-02	-	2,11E-04
Mn	6,08E-03	2,22E-04	3,60E-04
Ni	3,36E-02	1,27E-04	1,00E-02
Pb	-	1,91E-04	1,81E-04
Zn	4,64E-01	-	3,49E-03

Fuente: EPA, AP- 42, 2002

En las industrias de la zona de influencia de la estación INVIMA se observa un consumo de Gas Natural en un 49%, mayormente en los sectores Alimentos, Textil y de Metales, por otra parte, el consumo de ACPM (representado en Fuel Oil y crudos) es un poco menor al del Gas Natural, su consumo se debe principalmente a los sectores de Lavanderías, Industria Química y Otras Industrias. El consumo de carbón es relativamente bajo (ver figura 21 y tabla 11).

Figura 21. Porcentaje de industrias que utilizan Carbón, Fuel Oil y ACPM como combustible en la zona de influencia ESTACIÓN INVIMA



Fuente: DAMA. 2001. Inventario de fuentes fijas de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, Colombia.

Tabla 11. Emisión de Metales Pesados por combustible ESTACIÓN INVIMA

	Cd (g/día)	Cr (g/día)	Cu (g/día)	Mn (g/día)	Ni (g/día)	Pb (g/día)	Zn (g/día)
CARBÓN	0	0	0	0,03	0,02	0,02	0
FUEL OIL Y CRUDOS	2,91	1,81	12,83	21,89	608,03	11,01	212,20
GAS NATURAL	0,71	0,91	0,55	0,25	1,36	0	231,55
TOTAL	3,62	2,72	13,38	22,16	609,41	11,03	443,75

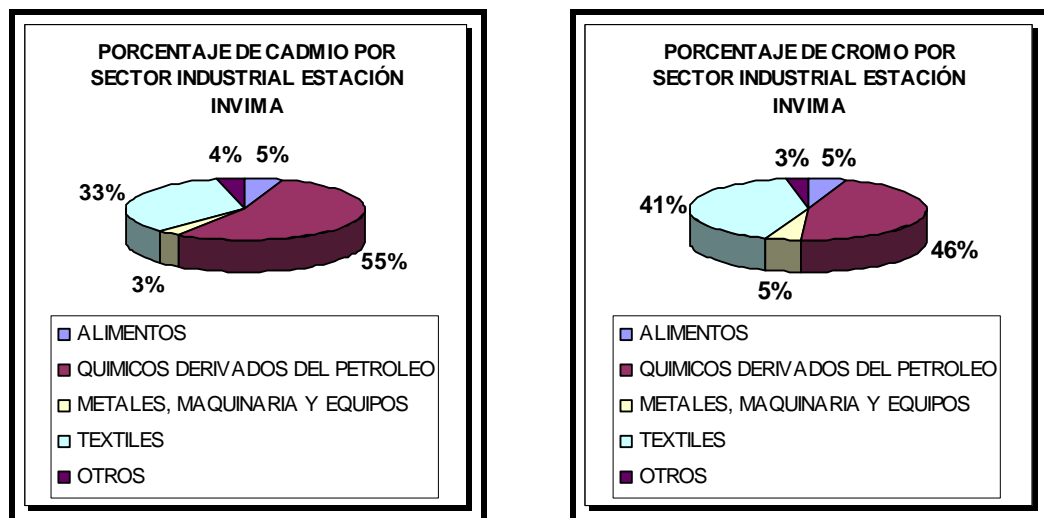
Fuente: Los Autores

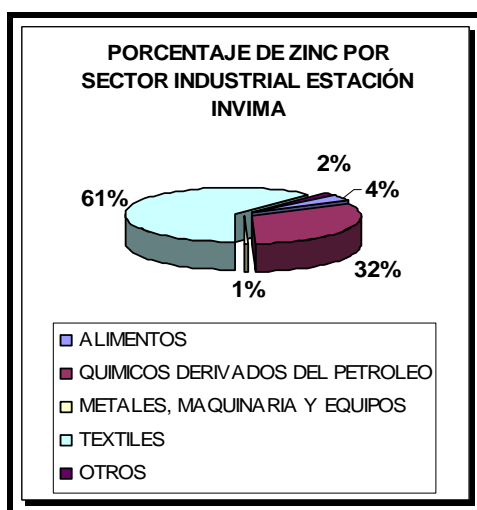
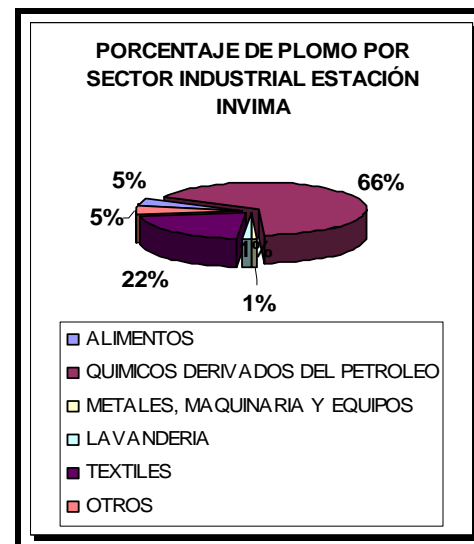
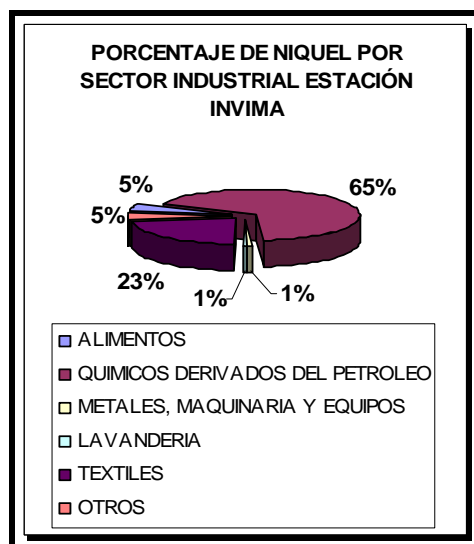
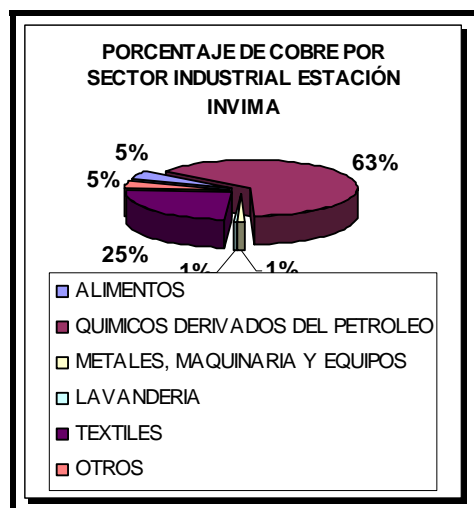
A partir del tipo y cantidad de combustible utilizado se llevó a cabo en análisis de emisiones mediante el uso de factores de emisión para cada una de las

industrias, con esto se determinó en que proporción las industrias realizan las emisiones de Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn.

Se puede observar que la industria de Químicos derivados del petróleo son representativos en cuanto a la presencia de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Pb con un aporte entre el 46 y 66% del 100% que representan todos los sectores industriales en la zona de la estación INVIMA. El sector de la industria Textil muestra el segundo aporte más significativo para los metales ya mencionados (entre un 22 y 41% de los sectores industriales) y el primero para las emisiones de Zn con un 61%. Para el caso de Fe y Ag no se presentan factores de emisión y por consiguiente tampoco se registraron emisiones (ver figura 22 y Tabla 12).

Figura 22. Porcentaje de metales aportado por cada uno de los sectores industriales ESTACIÓN INVIMA





Fuente: Los Autores

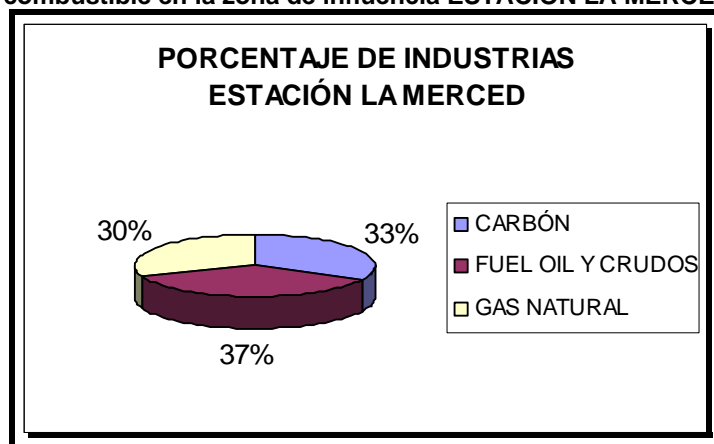
Tabla 12. Emisión de Metales Pesados por sector productivo ESTACIÓN INVIMA

	Cd (g/día)	Cr (g/día)	Cu (g/día)	Mn (g/día)	Ni (g/día)	Pb (g/día)	Zn (g/día)
Alimentos	0,18	0,14	0,65	1,10	29,41	0,55	15,88
Químicos Derivados del Petróleo	1,96	1,24	8,55	14,57	404,47	7,32	141,45
Metales, Maquinaria y Equipos	0,12	0,14	0,17	0,20	4,72	0,08	2,88
Lavandería	0,02	0,01	0,08	0,14	3,91	0,16	1,78
Textiles	1,21	1,11	3,32	5,13	138,17	2,39	271,45
Otros	0,14	0,09	0,61	1,03	28,73	0,52	10,31
TOTAL	3,62	2,72	13,38	22,16	609,41	11,03	443,75

Fuente: Los Autores

Para las industrias de la zona circundante a la estación de LA MERCED se observa un consumo similar de Carbón, fuel Oil (ACPM) y Gas Natural respectivamente (ver figura 23 y tabla 13).

Figura 23. Porcentaje de industrias que utilizan Carbón, Fuel Oil y ACPM como combustible en la zona de influencia ESTACIÓN LA MERCED



Fuente: DAMA. 2001. Inventario de fuentes fijas de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, Colombia.

Tabla 13. Emisión de Metales Pesados por combustible ESTACIÓN LA MERCED

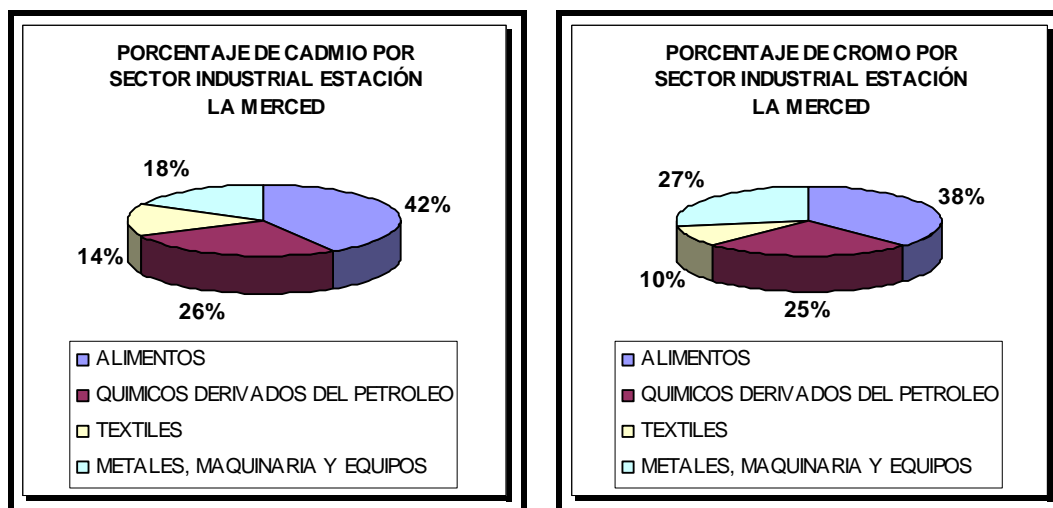
ESTACIÓN LA MERCED (g/día)							
	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
CARBÓN	1,42	2,21	0	13,69	7,83	11,78	0
FUEL OIL	3,86	2,41	17,03	29,06	807,19	14,53	281,71
GAS NATURAL	1,64	2,08	1,26	0,56	3,13	0	43,16
TOTAL	6,91	6,70	18,30	43,32	818,15	26,31	324,87

Fuente: Los Autores

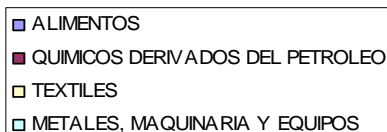
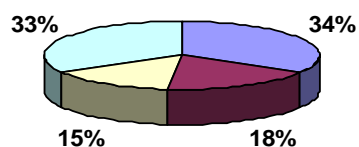
Para la zona circundante a la estación de LA MERCED se observa una superioridad en el aporte de los metales Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn por parte del sector Alimentos; si bien la mayoría de las industrias de este sector trabajan con Gas Natural y Propano (combustibles con los cuales las emisiones de metales pesados deberían ser relativamente bajas) hay que tener en cuenta la gran cantidad de industrias dedicadas a esta actividad que juntas pueden realizar un aporte significativo de metales a la atmósfera. En segundo lugar aparecen el sector de Químicos y Metales con porcentajes significativos de emisiones (ver figura 24 y tabla 14) .

Al igual que con la zona de la estación INVIMA, no se presentan emisiones de Fe ni Ag para la zona de la estación La Merced debido a que no se relacionan factores de emisión por parte de la EPA.

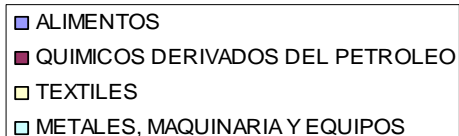
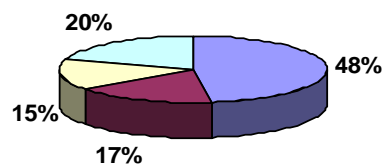
Figura 24. Porcentaje de metales aportado por cada uno de los sectores industriales ESTACIÓN LA MERCED



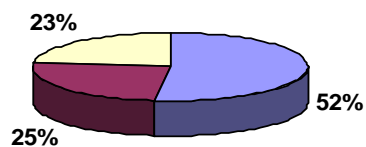
PORCENTAJE DE COBRE POR SECTOR INDUSTRIAL ESTACIÓN LA MERCED



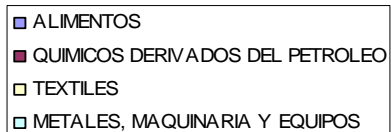
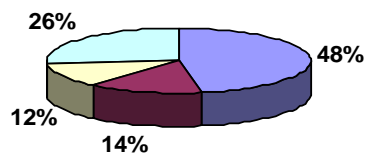
PORCENTAJE DE MANGANESO POR SECTOR INDUSTRIAL ESTACIÓN LA MERCED



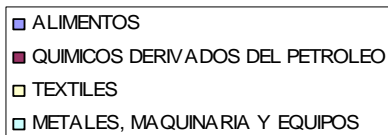
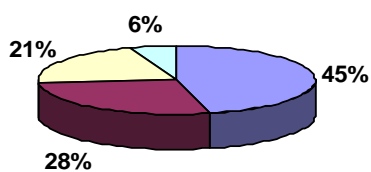
PORCENTAJE DE NIQUEL POR SECTOR INDUSTRIAL ESTACIÓN LA MERCED



PORCENTAJE DE PLOMO POR SECTOR INDUSTRIAL ESTACIÓN LA MERCED



PORCENTAJE DE ZINC POR SECTOR INDUSTRIAL ESTACIÓN LA MERCED



Fuente: Los Autores

Tabla 14. Emisión de Metales Pesados por sector productivo ESTACIÓN LA MERCED

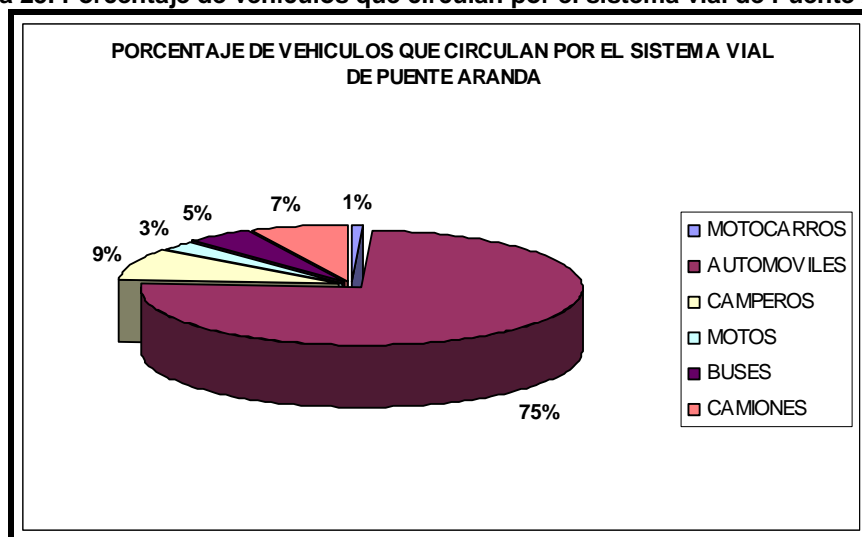
ESTACIÓN LA MERCED (g/día)							
	Cd	Cr	Cu	Mn	N	Pb	Zn
Alimentos	2,78	2,49	8,55	20,23	398,93	12,23	145,16
Químicos Derivados del Petróleo	1,77	1,67	4,62	7,27	189,57	3,58	87,87
Textiles	0,95	0,65	3,85	6,51	179,20	3,24	64,86
Metales, Maquinaria y Equipos	1,18	1,80	8,44	8,44	24,90	6,87	17,71
Lavandería	0,01	0,01	0,03	0,04	1,22	0,03	0,62
Otros	0,13	0,09	0,51	0,87	23,76	0,44	8,64
TOTAL	6,91	6,70	18,30	43,32	818,15	26,31	324,87

Fuente: Los Autores

6.2 FUENTES MÓVILES

Puente Aranda posee alta densidad de tráfico automotor ya que al ser una zona industrial, la localidad esta influenciada por la presencia de trafico liviano pesado y de transporte (ver figuras 25, 26 y 27).

Figura 25. Porcentaje de vehículos que circulan por el sistema vial de Puente Aranda



Fuente: Secretaria de transito y transporte, 2005

La Secretaria de Transito y transporte de Bogota realizó un aforo en puntos representativos de la localidad en el año 2005 con el fin de determinar el flujo de vehículos promedio para diferentes fechas y para diferentes tipos de automóviles.

Figura 26. Fuentes móviles presentes en la estación INVIMA



Fuente: Los Autores

Figura 27. Fuentes móviles presentes en la estación La MERCED



Fuente: Los Autores

Los lugares en los cuales se realizó el aforo representan las vías principales de la localidad y por ende con alto flujo vehicular. En la tabla 15 se puede observar el número de automóviles por vía. La nomenclatura del aforo y la ubicación de las estaciones se encuentran en las tablas 16 y 17.

Tabla 15. Aforo del tráfico vehicular en vías principales de la Localidad de Puente Aranda (a la altura de la Avenida 68 con Calle 13)

Fecha	Estación	L-M	CP-CG	Bcc-Bcl-Be	AT	ESP-INT	C2P-C2G-C3-C4-C5->C5	total
09/11/2004	246	87173	5312	6589	2032	7387	9961	118454
%		73.6	4.5	5.6	1.7	6.2	8.4	100
11/01/2005	246-100	159715	8982	15944	0	24841	19520	229002
%		69.7	3.9	7.0	0	10.8	8.5	100
15/02/2005	246-100	155556	10542	16298	0	14856	19411	216663
%		71.8	4.9	7.5	0	6.9	9.0	100
15/03/2005	246-100	155164	12484	16266	0	16244	21470	221628
%		70.0	5.6	7.3	0	7.3	9.7	100
13/01/2005	86-87	259165	11770	17820	0	1168	8592	298515
%		86.8	3.9	6.0	0	0.4	2.9	100
17/02/2005	86-87	279968	12112	18493	0	1715	7932	320220
%		87.4	3.8	5.8	0	0.5	2.5	100
17/03/2005	86-87	292688	12438	18727	0	1955	8900	334708
%		87.4	3.7	5.6	0	0.6	2.7	100

Fuente: Secretaría de tránsito y transporte de Bogotá (STT)

Tabla 16. Nomenclatura para el aforo vehicular

L	VEHÍCULOS LIVIANOS	MOTOR A GASOLINA
M	Motos	
Cp	Colectivos Pequeños	M O T O R A D I E S E L
Cg	Colectivos Grandes	
Bcc	Buses Corrientes Cortos	
Bcl	Buses Corrientes Largos	
Be	Buses Ejecutivos	
At	Articulados Expresos Transmilenio	
Esp	Vehículos Especiales	
Int	Vehículos Intermunicipales	
Bt	Busetas	
C2p	Camiones de 2 Ejes Pequeños	
C2g	Camiones de 2 Ejes Grandes	
C3	Camiones de 3 Ejes	
C4	Camiones de 4 Ejes	
C5	Camiones de 5 Ejes	
>C5	Camiones de más de 5 Ejes	

Fuente: STT de Bogotá

Tabla 17. Ubicación de estaciones de aforo vehicular

Estación	UBICACIÓN
246	Calle 13
100	Avenida Boyacá
86	Avenida 68
87	Calle 26

Fuente: STT de Bogotá

Se puede observar un predominio de vehículos livianos y motos para las estaciones 86 y 87. La Avenida 68 es una vía necesaria para el transporte del norte al sur de la ciudad y viceversa, mientras que la Avenida El Dorado (Calle 26) tiene acceso directo a el centro de la ciudad en donde el tráfico es en su mayoría de vehículos livianos particulares; por esto, se estima que las emisiones producidas en estas dos vías son en su mayoría de motores a gasolina y en menor cantidad Diesel. Para las estaciones 246 y 100 también se evidencia un predominio de vehículos livianos, pero se observa mayor flujo de vehículos con motor a Diesel en comparación con las estaciones de la Avenida 68 y la Calle 26. La Calle 13 es la ruta principal para la salida del distrito por el occidente (conecta con municipios aledaños como Funza, Mosquera y Madrid) por lo cual se ve también influenciado por buses de servicio intermunicipal. Hacia la parte oriental de la localidad se presenta el sistema de transporte masivo (TRANSMILENIO) el cual presenta un flujo considerable de articulados que varia de 634 a 2.032 en los días de la semana (Perez y Hernandez, 2005).

La Avenida Boyacá es una ruta importante no solo para la localidad sino para la ciudad entera ya que por esta vía se permite el tránsito de vehículos de todo tipo (proviene buses de transporte intermunicipal, carga pesada, vehículos particulares, etc.) y es vía de acceso y salida de la ciudad por el norte y el sur.

A partir de lo dicho anteriormente no se puede concluir que las emisiones se deban principalmente a los vehículos livianos ya que aunque son mayores en número, utilizan gasolina como combustible que en comparación de los motores a diesel procedentes de buses y camiones, producen menores emisiones a la atmósfera; y a esto se le suma el mal estado en el que se mantienen los vehículos de carga y transporte público del Distrito.

Las vías de la localidad anteriormente analizadas presentan altos flujos vehiculares, esto conlleva a taponamientos en horas pico y por ende disminución en la velocidad de los vehículos, se ha concluido que las emisiones de material particulado (con contenido de metales) pueden ser inversamente proporcionales a la velocidad que lleve un automóvil que trabaje con combustible Diesel²⁷, es decir, entre más próximo este el vehículo al estado ralenti²⁸ mayores serán las emisiones a la atmósfera por parte de los vehículos, esto implica que el taponamiento de las calles por gran flujo vehicular puede conllevar a un aumento en las concentraciones de partículas y metales en el aire.

6.2.1 Factores de emisión para Fuentes Móviles

La emisión por parte de fuentes móviles está ligada a variables tales como el modelo del vehículo, tipo de combustible, velocidad promedio del automóvil y meteorología entre otros, lo cual dificulta realizar un análisis cuantitativo que resulte totalmente confiable. Si bien cierto, se han realizado estudios con

²⁷Ya-Fen Wang, Kuo-Lin Huang, Chun-Teh Lic, Hsiao-Hsuan Mia, Jih-Haur Luoc, Perng-Jy Tsaid. *Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine*. Taiwan, 2003

²⁸Ralenti: Número mínimo de revoluciones por minuto al que debe funcionar el motor de un vehículo para mantenerse en funcionamiento.

diferentes tipos de automóvil en busca de factores de emisión que relacionen dichas variables a la cantidad de contaminante emitido, pero se debe tener cuidado con la aplicación de estos factores ya que se realizan para condiciones específicas de las zonas de estudio y de sus flujos vehiculares.

Para fuentes móviles no se referencian Factores de Emisión por parte de la EPA, sin embargo, se han realizado estudios en los cuales se establecen factores de emisión para vehículos con motor Diesel²⁹. Si bien estos factores están sometidos a restricciones para su aplicación, representan un estimativo de las emisiones por fuentes móviles presentes en la localidad.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el fin de obtener datos estimativos de emisiones por metales para fuentes móviles en la Localidad de Puente Aranda, se relacionó el número de vehículos de motor Diesel con su recorrido diario para multiplicar por factores de emisión de estudios internacionales³⁰.

Tabla 18. Factores de emisión para vehículos con motor Diesel

METAL	FACTOR DE EMISIÓN (MG/KM)
Ag	0.72
Cd	0.56
Cr	4.72
Cu	2.95
Fe	28.9
Mn	1.11
Ni	2.72
Pb	2.17
Zn	5.92

Fuente: Ya-Fen Wanga, 2003

²⁹ Ya-Fen Wanga, Kuo-Lin Huangb, Chun-Teh Lic, Hsiao-Hsuan Mia, Jih-Haur Luoc, Perng-Jy Tsaid. *Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine*. Taiwan, 2003

³⁰ Ya-Fen Wanga, Kuo-Lin Huangb, Chun-Teh Lic, Hsiao-Hsuan Mia, Jih-Haur Luoc, Perng-Jy Tsaid. *Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine*. Taiwan, 2003

Los factores de emisión aplicados no discriminan por tipo de automóvil, por lo cual se emplearon de igual forma para todas las clases de vehículo con motor Diesel.

En la tabla 19 se muestran el número, recorrido y combustible utilizado por los vehículos en la Localidad de Puente Aranda. Para la aplicación de factores de emisión se trabajó con vehículos a combustible Diesel, en este caso, solamente aplicó para buses y camiones.

Tabla 19. Características de los vehículos en la Localidad de Puente Aranda

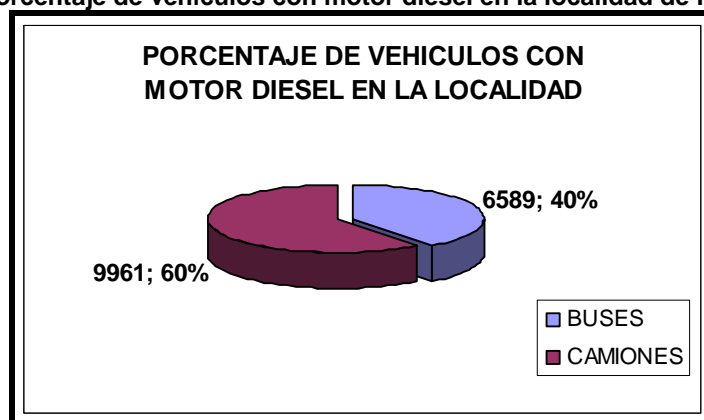
TIPO DE AUTOMÓVIL	nº DE VEHICULOS l.p.a.³¹	RECORRIDO MEDIO ANUAL (Km/año)	RECORRIDO MEDIO DIARIO (Km/día)	COMBUSTIBLE
Motocarro	93	12.000	32.88	Gasolina
Automóvil	102344	45.000	123.29	Gasolina
Campero	12437	12.000	32.88	Gasolina
Moto	3553	12.000	32.88	Gasolina
Buses	6589	58.000	158.90	Diesel
Camiones	9961	41.000	112.33	Diesel

Fuente: DAMA, 2001

Al ser una localidad de gran actividad industrial, Puente Aranda se ve influenciada por un alto número de vehículos de carga como tractomulas, tractocamiones y voquetas, que en comparación con otros vehículos a Diesel (como microbuses, buses y busetas), demuestran una superioridad considerable (Figura 28).

³¹ L.P.A.: Localidad de Puente Aranda

Figura 28. Porcentaje de vehículos con motor diesel en la localidad de Puente Aranda



Fuente: Secretaria de transito y transporte, 2005

Para todos los buses y camiones inventariados, se determinaron sus emisiones al multiplicar el recorrido medio diario de los vehículos por el factor de emisión correspondiente para cada metal (Tabla 20 y Figura 29).

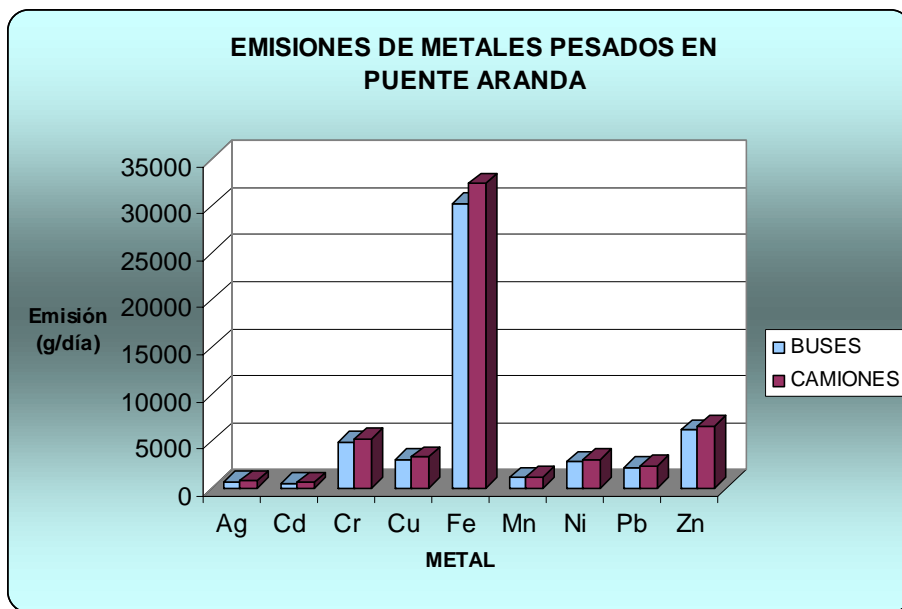
Tabla 20. Emisiones de metales pesados por fuentes móviles (con motor diesel) en la Localidad de Puente Aranda

METAL	BUSES (g/día)	CAMIONES (g/día)	TOTAL (g/día)
Ag	753,85	805,61	1559,47
Cd	586,33	626,59	1212,92
Cr	4941,93	5281,24	10223,17
Cu	3088,71	3300,78	6389,48
Fe	30258,85	32336,41	62595,26
Mn	1162,19	1241,99	2404,18
Ni	2847,89	3043,43	5891,32
Pb	2272,03	2428,03	4700,06
Zn	6198,35	6623,93	12822,28

Fuente: Los Autores

Según factores de emisión, el metal mayormente emitido a la atmósfera por parte de vehículos con motor Diesel es el Fe con una emisión de 30258.85 g/día para buses y 32336.41 g/día para camiones seguido por el Zn que aporta 6198.35 g/día para buses y 6623.93 d/día para camiones, en menor proporción emiten Cr, Ni, Cu y Pb. Las menores emisiones las presentan Ag y Cd (Ver Tabla 20)

Figura 29. Emisiones de metales pesados por fuentes móviles (con motor Diesel) en la Localidad de Puente Aranda



Fuente: Los Autores

Se puede observar que los camiones presentan mayores emisiones de metales pesados en comparación a los buses, esto debido al gran numero de vehículos de carga que se presentan en la localidad al ser una zona de tipo industrial.

7. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del muestreo realizado en la localidad de Puente Aranda para Partículas Suspendidas de tamaño menor a 10 μm (PM_{10}) y para cada uno de los nueve metales en estudio.

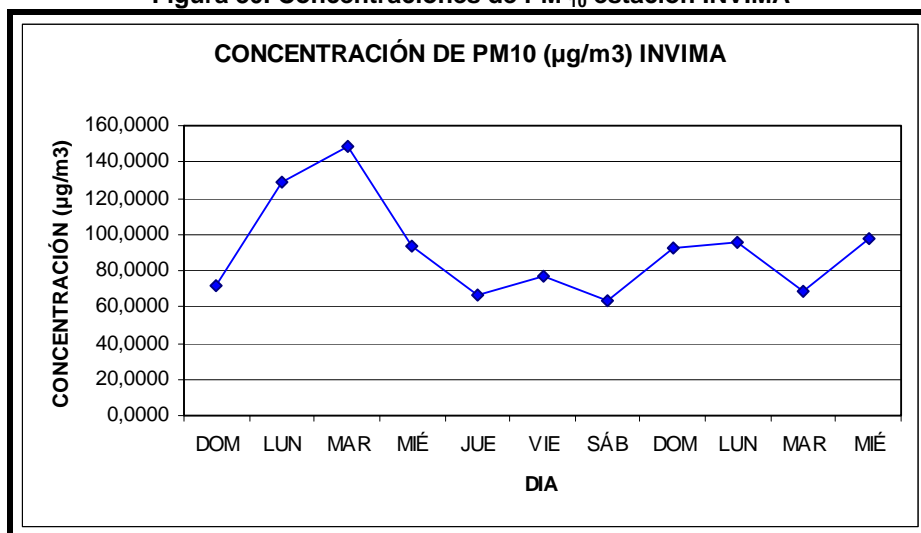
7.1 RESULTADOS PM_{10}

Tabla 21. Concentración PM_{10} Estación INVIMA

PM10 ESTACIÓN INVIMA			
Nº	DIA	FECHA DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2	LUNES	24 - X - 05	72.17
3	MARTES	25 - X - 05	128.64
4	MIÉRCOLES	26 - X - 05	148.62
5	JUEVES	27 - X - 05	93.75
6	MIÉRCOLES	28 - X - 05	66.88
7	JUEVES	29 - X - 05	76.36
8	VIERNES	30 - X - 05	63.62
9	SABADO	31 - X - 05	92.43
10	DOMINGO	1 - X - 05	95.55
11	LUNES	2 - X - 05	68.44
12	MARTES	3 - X - 05	97.56

Fuente: Patiño Diana; Quitian Ciro, 2006

Figura 30. Concentraciones de PM_{10} estación INVIMA



Fuente: Patiño Diana; Quitian Ciro, 2006

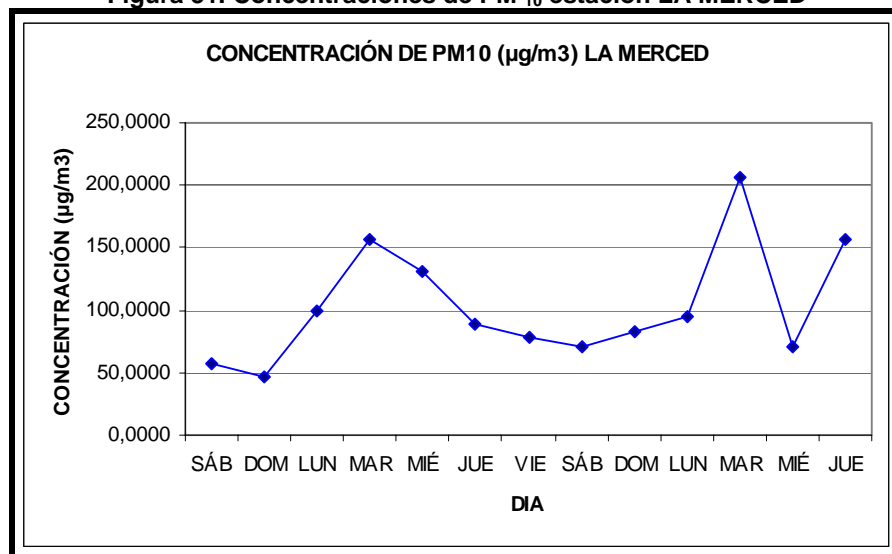
Para la estación INVIMA se presentan altas concentraciones los días miércoles y jueves y las menores durante los fines de semana, debido a la disminución de la actividad industrial y el flujo vehicular.

Tabla 22. Concentración PM₁₀ Estación LA MERCED

PM10 ESTACIÓN LA MERCED			
Nº	DIA	FECHA DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN (µg/m³)
1	DOMINGO	13 - XI - 05	46,56
2	LUNES	14 - XI - 05	99,36
3	MARTES	15 - XI - 05	156,25
4	MIÉRCOLES	16 - XI - 05	131,71
5	JUEVES	17 - XI - 05	89,15
6	VIERNES	18 - XI - 05	77,93
7	SÁBADO	19 - XI - 05	70,24
8	DOMINGO	20 - XI - 05	82,47
9	LUNES	21 - XI - 05	95,12
10	MARTES	22 - XI - 05	206,94
11	MIÉRCOLES	23 - XI - 05	70,53
12	JUEVES	24 - XI - 05	155,97

Fuente: Patiño Diana; Quitian Ciro, 2006

Figura 31. Concentraciones de PM₁₀ estación LA MERCED



Fuente: Patiño Diana; Quitian Ciro, 2006

En la estación de La MERCED se observan tres concentraciones altas durante los días martes miércoles y jueves y bajas los fines de semana, tendencia similar a la de la estación INVIMA.

7.2 RESULTADOS METALES PESADOS

El desarrollo de las lecturas de los metales por AA, se inicio con establecer las cinco concentraciones patrones para construir la curva de calibración de cada metal, la cual seria la base de las lecturas de las muestras. Las concentraciones empleadas se presentan a continuación (ver tabla 23).

Tabla 23. Concentración de patrones para curvas de calibración

CONCENTRACIÓN PATRONES CURVAS DE CALIBRACIÓN (mg/L)					
Metal	1	2	3	4	5
Ag	0,001	0,05	0,1	0,5	1
Cd	0,01	0,1	0,5	1	2
Cr	0,01	0,1	1	3	5
Cu	0,1	1	3	4	5
Fe	0,05	0,1	1	3	6
Mn	0,01	0,1	0,5	1	2
Ni	0,01	0,05	0,5	1	2
Pb	0,01	0,5	5	10	20
Zn	0,01	0,05	0,1	0,5	1

Fuente: Los Autores

Al correr las curvas de calibración por AA se tuvo en cuenta que se mantuviera un coeficiente de correlación lineal (mayor de 0.9990), dando un factor de seguridad y validez en la obtención de los resultados de concentraciones por metal pesado (ver tabla 24).

Tabla 24. Coeficientes de correlación para las curvas de calibración

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN CURVAS DE CALIBRACIÓN									
Metal	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Coeficiente de correlación	1.000	0.9997	0.9994	0.9996	0.9998	0.9996	0.9994	0.9997	0.9992

Fuente: Los Autores

Siguiendo el Método IO-3.1 de la EPA (Determinación de metales en material particulado usando EAA) se obtuvieron las absorbancias para cada muestra de filtro en mg/l (ver anexo 3, Tabla resultados lecturas espectrofotómetro para cada metal del estudio). No fue necesario realizar lecturas de las tres extracciones para todos los metales, ya que con la primera o segunda extracción se leía una concentración mínima del metal, que indicaba que en la

siguiente extracción no se encontraría más contenido de metales. En la lectura de Ag, solo se percibieron concentraciones en la primera extracción (eliminando interferencias por Aluminio y minerales ácidos en las estaciones INVIMA y LA MERCED). Para Cd se obtuvieron lecturas de concentraciones en la primera extracción de INVIMA, y en LA MERCED no se obtuvo lectura de concentraciones.

El Cr presentó lecturas de concentraciones hasta la tercera extracción en las dos estaciones, sin eliminar interferencias. Al eliminar las interferencias por Hierro y Níquel, se obtuvieron lecturas de concentraciones en la estación INVIMA hasta la segunda extracción y en la estación MERCED hasta la tercera extracción pero en menor proporción. En la lectura para Cu, se encontraron concentraciones hasta la tercera extracción en las dos estaciones. Para Fe se encontraron lecturas de concentraciones hasta la tercera extracción en las dos estaciones sin eliminar interferencias. Al eliminar las interferencias por Co, Cu y Ni se obtuvieron lecturas hasta la tercera extracción en las dos estaciones pero en menor proporción.

El Mn presentó lecturas de concentraciones sin eliminar interferencias en la estación INVIMA solo en la primera extracción, en la estación MERCED se encontraron lecturas de concentraciones hasta la tercera extracción. Al eliminar las interferencias por silicatos en la estación INVIMA y MERCED, se obtuvieron lecturas de concentraciones hasta la tercera extracción, con una proporción mayor que cuando estaban presentes las interferencias. En la práctica de laboratorio se dañaron las muestras de los dos primeros días de la estación INVIMA, por tanto no se registraron concentraciones. En la lectura para Ni, se presentaron concentraciones con interferencias hasta la tercera extracción para las dos estaciones. Cuando se eliminaron las interferencias por Fe y Cr se encontraron lecturas de concentraciones hasta la tercera extracción con una proporción mayor y una clara tendencia ascendente a medida que pasaban los días de muestreo en cada una de las estaciones.

Para Pb se obtuvieron lecturas de concentraciones en las dos estaciones hasta la tercera extracción. El Zn presentó lecturas de concentraciones en las dos estaciones hasta la segunda extracción. En la práctica de laboratorio se dañó la muestra de los el primer día de la estación INVIMA, por tanto no se registraron concentraciones.

7.2.1 Calculo De Concentraciones Para Metales Pesados

Se realizó la sumatoria de los valores obtenidos por cada extracción, en el caso del estudio fueron máximo 3 extracciones. Este valor será nombrado como la concentración de espectrofotómetro por metal (CEM), que esta dada en mg/L (ver tabla 25 consolidado concentraciones de metales en muestras).

Tabla 25. Consolidado de concentraciones de metales en muestras

CONCENTRACIÓN METALES POR AA									
FECHA	INVIMA (mg/l)								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
24 - X - 05	ILD	0,004	ILD	2,413	3,937	-	0,162	0,537	-
25 - X - 05	ILD	0,008	ILD	2,832	2,666	-	0,257	5,317	2,463
26 - X - 05	ILD	0,008	ILD	1,007	3,997	0,143	0,237	8,693	1,2755
27 - X - 05	ILD	ILD	0,045	1,271	5,971	0,085	0,422	3,266	0,874
28 - X - 05	ILD	0,005	0,016	0,679	2,382	0,083	0,567	0,423	0,25
29 - X - 05	ILD	ILD	0,035	0,724	3,133	0,126	0,759	0,665	0,74
30 - X - 05	ILD	ILD	0,042	0,413	2,761	0,06	0,735	0,548	0,67
31 - X - 05	0,003	0,004	0,005	0,37	4,722	0,133	0,867	4,319	0,855
1 - XI - 05	0,002	ILD	0,044	0,551	4,086	0,201	0,908	8,821	0,5425
2 - XI - 05	ILD	0,004	0,05	0,735	3,791	0,179	1,322	1,341	0,09
3 - XI - 05	0,003	ILD	ILD	0,463	4,263	0,123	1,308	4,209	ILD
FECHA	MERCEDES (mg/l)								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
13 - XI - 05	0,002	ILD	0,01	0,32	2,751	0,05	0,019	4,506	0,06
14 - XI - 05	0,004	ILD	ILD	0,46	3,976	0,101	0,208	1,06	0,251
15 - XI - 05	ILD	ILD	1,063	0,823	14,51	2,106	0,215	35,775	1,309
16 - XI - 05	ILD	ILD	0,011	0,456	11,32	1,195	0,234	2,937	1,0145
17 - XI - 05	ILD	ILD	0,489	0,363	4,447	0,576	0,328	5,739	0,311
18 - XI - 05	ILD	ILD	0,738	0,316	7,08	0,736	0,43	0,601	0,138
19 - XI - 05	ILD	ILD	ILD	0,543	2,272	0,168	0,48	0,776	0,829
20 - XI - 05	ILD	ILD	ILD	0,562	3,122	0,197	0,638	0,515	0,42
21 - XI - 05	0,003	ILD	0,013	0,617	4,069	0,321	0,685	0,776	1,2165
22 - XI - 05	0,009	ILD	1,527	0,636	7,162	2,074	0,817	46,223	1,2775
23 - XI - 05	0,017	ILD	0,22	0,484	5,042	0,673	1,014	0,815	1,0755
24 - XI - 05	0,01	ILD	1,294	0,366	10,541	1,209	1,124	43,535	1,364

ILD: Inferior al Limite de Detección (Ag: 0.0015 mg/l, Cd: 0.0008 mg/l, Cr: 0.003 mg/l, Zn: 0.0015 mg/l)

Fuente: Los Autores

Luego se empleó la siguiente ecuación para obtener la masa de metal por volumen de aire muestreado:

$$C = (CEM - CEB) / Vstd \quad (1)$$

Donde:

C: concentración para cada metal, en ng/m³

CEM: concentración en EAA por cada metal, en mg/L (ver Tabla 25)

CEB: concentración en EAA por metal en blanco, en mg/L (ver Tabla 26)

Vstd: Volumen de aire estándar absorbido por el equipo PM₁₀, en m³

Tabla 26. Consolidado concentraciones de blancos para cada metal

CONCENTRACIÓN BLANCOS mg/L								
INVIMA								
METAL								
Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0.0	0.001	0.000	0.0	0.013	0.001	0.003	0.007	0.001
MERCED								
METAL								
Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0.0	0.0	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.004	0.129

Fuente: Los Autores

Para el cálculo de la masa de metal por masa de partículas se empleó:

Wf: peso filtro

At/Af: área tira que corresponde a un 10% del área del filtro, 0.1.

Wt: peso tira

Wtm: peso tira + muestra

Mpt: masa partículas en tira (ver tablas 29 y 30)

Mmb: masa metal en blanco (ver tabla 28)

Mmt: masa metal en tira + muestra

Mr: masa real

Mm/mp: masa metal/masa partículas, en ug metal/ g partículas

50: volumen al que se llevo la extracción del metal, 50ml

Tabla 27. Consolidado Pesos filtros

PESOS FILTROS				
INVIMA				
FECHA	Wf (g)	Wt (g)	Wtm (g)	Mpt (g)
24 - X - 05	4,4679	0,44679	0,5737	0,12691
25 - X - 05	4,484	0,4484	0,4809	0,0325
26 - X - 05	4,4827	0,44827	0,5717	0,12343
27 - X - 05	4,4773	0,44773	0,595	0,14727
28 - X - 05	4,4764	0,44764	0,5748	0,12716
29 - X - 05	4,4736	0,44736	0,5847	0,13734
30 - X - 05	4,4739	0,44739	0,6149	0,16751
31 - X - 05	4,458	0,4458	0,5729	0,1271
1 - XI - 05	4,4422	0,44422	0,5816	0,13738
2 - XI - 05	4,4751	0,44751	0,5881	0,14059
3 - XI - 05	4,4532	0,44532	0,5932	0,14788
MERCED				
FECHA	Wf (g)	Wt (g)	Wtm (g)	Mpt (g)
13 - XI - 05	4,5437	0,45437	0,5785	0,12413
14 - XI - 05	4,6124	0,46124	0,5939	0,13266
15 - XI - 05	4,5067	0,45067	0,6153	0,16463
16 - XI - 05	4,4806	0,44806	0,6007	0,15264
17 - XI - 05	4,4650	0,4465	0,5871	0,1406
18 - XI - 05	4,4609	0,44609	0,6066	0,16051
19 - XI - 05	4,4684	0,44684	0,5915	0,14466
20 - XI - 05	4,4786	0,44786	0,5951	0,14724
21 - XI - 05	4,4652	0,44652	0,5963	0,14978
22 - XI - 05	4,4427	0,44427	0,6281	0,18383
23 - XI - 05	4,4506	0,44506	0,5616	0,11654
24 - XI - 05	4,4393	0,44393	0,5719	0,12797

Fuente: Los Autores

Resolviendo:

$$Mpt = Wtm - Wt \quad (1)$$

$$Mmb = CEB \times 50 \quad (2)$$

$$Mmt = CEM \times 50 \quad (3)$$

$$Mr = Mmt - Mmb \quad (4) \quad (\text{ver tablas 29 y 30})$$

Finalmente se obtiene:

$$Mm/mp = Mr / Mpt \quad (5) \quad (\text{ver tablas 29 y 30})$$

Tabla 28. Consolidado Masas metal en blanco

MASA METAL EN BLANCO (ug)								
INVIMA								
Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0.05	0.05	0.6	0.0	0.65	0.05	0.15	0.35	0.05
MERCED								
Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0.05	0.0	0.15	-0.05	0.1	0.1	0.1	0.2	6.45

Fuente: Los Autores

Tabla 29. Consolidado Masa metal en tira y masa real para cada metal

RESULTADOS ECUACIONES (3) y (4)												
INVIMA												
FECHA	Ag		Cd		Cr		Cu		Fe		Mn	
	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)
24-X-05	ILD	ILD	0,2	0,15	ILD	ILD	120,65	120,65	196,8	196,2	-	-
25-X-05	ILD	ILD	0,4	0,35	ILD	ILD	141,6	141,6	133,3	132,6	-	-
26-X-05	ILD	ILD	0,4	0,35	ILD	ILD	50,35	50,35	199,8	199,2	7,15	7,1
27-X-05	ILD	ILD	ILD	ILD	2,25	2,3	63,55	63,55	298,5	297,9	4,25	4,2
28-X-05	ILD	ILD	0,25	0,2	0,8	0,85	33,95	33,95	119,1	118,4	4,15	4,1
29-X-05	ILD	ILD	ILD	ILD	1,75	1,8	36,2	36,2	156,6	156	6,3	6,25
30-X-05	ILD	ILD	ILD	ILD	2,1	2,15	20,65	20,65	138,0	137,4	3	2,95
31-X-05	55,7	55,73	0,2	0,15	0,25	0,3	18,5	18,5	236,1	235,4	6,65	6,6
01-XI-05	39,4	39,42	ILD	ILD	2,2	2,25	27,55	27,55	204,3	203,6	10,05	10
02-XI-05	ILD	ILD	0,2	0,15	2,5	2,55	36,75	36,75	189,5	188,9	8,95	8,9
03-XI-05	60,1	60,18	ILD	ILD	ILD	ILD	23,15	23,15	213,1	212,5	6,15	6,1
MERCED												
FECHA	Ag		Cd		Cr		Cu		Fe		Mn	
	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)
13-XI-05	0,1	0,1	ILD	ILD	0,5	0,55	16	16,05	137,5	137,45	2,5	2,4
14-XI-05	0,2	0,2	ILD	ILD	ILD	ILD	23	23,05	198,8	198,7	5,05	4,95
15-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	53,1	53,2	41,15	41,2	725,5	725,4	105,3	105,2
16-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	0,55	0,6	22,8	22,85	566	565,9	59,75	59,6
17-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	24,4	24,5	18,15	18,2	222,3	222,25	28,8	28,7
18-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	36,9	36,9	15,8	15,85	354	353,9	36,8	36,7
19-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	ILD	ILD	27,15	27,2	113,6	113,5	8,4	8,3
20-XI-05	ILD	ILD	ILD	ILD	ILD	ILD	28,1	28,15	156,1	156	9,85	9,75
21-XI-05	0,15	0,15	ILD	ILD	0,65	0,7	30,85	30,9	203,4	203,35	16,05	15,9
22-XI-05	0,45	0,45	ILD	ILD	76,3	76,4	31,8	31,85	358,1	358	103,7	103,
23-XI-05	0,85	0,85	ILD	ILD	11	11,0	24,2	24,25	252,1	252	33,65	33,5
24-XI-05	0,5	0,5	ILD	ILD	64,7	64,7	18,3	18,35	527,0	526,95	60,45	60,3

ILD: Inferior al Limite de Detección (Ag: 0.0015 mg/l, Cd: 0.0008 mg/l, Cr: 0.003 mg/l)

Fuente: Los Autores

Tabla 30. Consolidado Masa metal en tira y masa real para cada metal (Continuación)

RESULTADOS ECUACIONES (3) y (4)						
INVIMA						
FECHA	Ni		Pb		Zn	
	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)
24 - X - 05	8,1	7,95	26,85	26,5	123,15	123,1
25 - X - 05	12,85	12,7	265,85	265,5	63,775	63,72
26 - X - 05	11,85	11,7	434,65	434,3	43,7	43,65
27 - X - 05	21,1	20,95	163,3	162,95	12,5	12,45
28 - X - 05	28,35	28,2	21,15	20,8	37	36,95
29 - X - 05	37,95	37,8	33,25	32,9	33,5	33,45
30 - X - 05	36,75	36,6	27,4	27,05	42,75	42,7
31 - X - 05	43,35	43,2	215,95	215,6	27,12	27,07
01 - XI - 05	45,4	45,25	441,05	440,7	4,5	4,45
02 - XI - 05	66,1	65,95	67,05	66,7	ILD	ILD
03 - XI - 05	65,4	65,25	210,45	210,1	123,15	123,1
MERCED						
FECHA	Ni		Pb		Zn	
	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)	Mmt (ug)	Mr (ug)
13 - XI - 05	0,95	0,85	225,3	225,1	-27,79	4,99
14 - XI - 05	10,4	10,3	53	52,8	45,98	4,46
15 - XI - 05	10,75	10,65	1788,75	1788,55	358,38	156,26
16 - XI - 05	11,7	11,6	146,85	146,65	290,06	131,72
17 - XI - 05	16,4	16,3	286,95	286,75	64,72	89,16
18 - XI - 05	21,5	21,4	30,05	29,85	2,80	77,93
19 - XI - 05	24	23,9	38,8	38,6	241,95	70,24
20 - XI - 05	31,9	31,8	25,75	25,55	98,82	82,48
21 - XI - 05	34,25	34,15	38,8	38,6	363,03	95,13
22 - XI - 05	40,85	40,75	2311,15	2310,95	312,38	206,94
23 - XI - 05	50,7	50,6	40,75	40,55	406,08	70,54
24 - XI - 05	56,2	56,1	2176,75	2176,55	482,53	155,98

ILD: Inferior al Limite de Detección (Zn: 0.0015 mg/l)

Fuente: Los Autores

Tabla 31. Concentración de metales por masa de partículas

CONCENTRACIÓN METALES ug metal/g partículas									
FECHA	INVIMA								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
24-X-05	ILD	1,18	ILD	950,67	1438,31	-	58,28	208,81	-
25-X-05	ILD	10,7	ILD	4356,92	887,88	-	85,01	8169,23	3787,69
26-X-05	ILD	2,84	ILD	407,92	1419,51	-	83,37	3518,59	516,28
27-X-05	ILD	ILD	9,58	431,52	1241,41	-	87,30	1106,47	296,39
28-X-05	ILD	1,57	5,55	266,99	773,88	50,60	184,24	163,57	97,91
29-X-05	ILD	ILD	11,79	263,58	1022,01	17,50	247,64	239,55	269,04
30-X-05	ILD	ILD	13,56	123,28	866,82	26,79	230,90	161,48	199,69
31-X-05	347,85	1,18	1,87	145,55	1469,73	40,95	269,66	1696,30	335,96
01-XI-05	242,62	ILD	13,85	200,54	1253,39	18,61	278,50	3207,89	197,08
02-XI-05	ILD	1,07	20,95	261,40	1552,31	41,20	541,95	474,43	31,65
03-XI-05	364,76	ILD	ILD	156,55	1288,03	61,55	395,50	1420,75	ILD
FECHA	LA MERCED								
	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
13-XI-05	0,61	ILD	3,36	129,30	838,47	14,64	5,19	1813,42	-27,79
14-XI-05	3,31	ILD	ILD	173,75	3286,47	81,87	170,36	398,01	45,98
15-XI-05	ILD	ILD	324,73	250,26	4427,76	642,13	65,01	10864,06	358,38
16-XI-05	ILD	ILD	5,16	149,70	4868,38	513,16	99,79	960,76	290,06
17-XI-05	ILD	ILD	206,23	129,45	1870,79	241,58	137,21	2039,47	64,72
18-XI-05	ILD	ILD	360,80	98,75	3455,72	358,36	208,96	185,97	2,80
19-XI-05	ILD	ILD	ILD	188,03	1065,13	77,89	224,29	266,83	241,95
20-XI-05	ILD	ILD	ILD	191,18	1693,08	105,82	345,13	173,53	98,82
21-XI-05	1,78	ILD	8,33	206,30	2418,53	189,70	406,16	257,71	363,03
22-XI-05	4,33	ILD	734,40	173,26	3441,32	995,87	391,71	12571,13	312,38
23-XI-05	8,05	ILD	104,70	208,08	2387,72	317,89	479,44	347,95	406,08
24-XI-05	4,45	ILD	576,73	143,39	4693,60	537,54	499,69	17008,28	482,53

ILD: Inferior al Limite de Detección (Ag: 0.0015 mg/l, Cd: 0.0008 mg/l, Cr: 0.003 mg/l, Zn: 0.0015 mg/l)

Fuente: Los Autores

Tabla 32. Consolidado de concentraciones para los Metales Pesados en estudio ESTACIÓN INVIMA

ESTACIÓN INVIMA															
FECHA	DIA	CONCENTRACIÓN (ng/m ³)													
		Cd	Cr		Cu	Ni		Mn		Pb	Ag		Fe		Zn
			CON	SIN		CON	SIN	CON	SIN		CON	SIN	CON	SIN	
24 - 10 - 05	2	2,95	32,91	ILD	1018,40	51,06	67,10	5,90		223,68	ILD	ILD	611,54	1656,12	
25 - 10 - 05	3	2,94	32,83	ILD	1192,14	62,30	106,92	1,68		2235,26	ILD	ILD	1148,78	1116,79	1036,39
26 - 10 - 05	4	2,81	103,80	ILD	405,16	55,52	94,14	24,14	57,13	3494,81	ILD	ILD	2308,28	1602,96	512,79
27 - 10 - 05	5	ILD	47,24	18,89	522,17	76,82	172,13	0,82	34,51	1338,91	ILD	ILD	1622,79	2447,75	358,65
28 - 10 - 05	6	1,68	72,62	7,17	286,69	82,33	238,13	ILD	34,62	175,64	ILD	ILD	1077,95	1000,26	105,13
29 - 10 - 05	7	ILD	101,35	14,65	294,70	101,35	307,73	4,47	50,88	267,84	ILD	ILD	1635,15	1270,02	300,81
30 - 10 - 05	8	ILD	96,80	17,27	165,89	101,62	294,03	ILD	23,69	217,31	ILD	ILD	1463,34	1103,83	268,72
31 - 10 - 05	9	1,11	108,47	2,22	137,45	102,16	320,98	8,91	49,03	1601,93	ILD	1,11	1863,10	1749,42	317,26
1 - 11 - 05	10	ILD	125,35	17,73	217,20	116,68	356,75	15,76	78,84	3474,55	ILD	0,78	2086,54	1605,61	213,46
2 - 11 - 05	11	1,16	131,47	19,72	284,22	131,09	510,05	11,60	68,83	515,85	ILD	ILD	1935,03	1460,94	34,41
3 - 11 - 05	12	ILD	146,43	ILD	185,75	141,62	523,55	ILD	48,94	1685,80	ILD	1,20	2080,57	1705,05	ILD

Fuente: Los Autores

ILD: Valor Inferior al Limite de Detección del EAA

CON: Lecturas Con Interferencias

SIN: Lecturas Sin Interferencias

Tabla 33. Consolidado de concentraciones para los Metales Pesados en estudio ESTACIÓN LA MERCED

ESTACIÓN LA MERCED															
FECHA	DIA	CONCENTRACIÓN (ng/m ³)													
		Cd	Cr		Cu	Ni		Mn		Pb	Ag		Fe		Zn
			Con	Sin		Con	Sin	Con	Sin		Con	Sin	Con	Sin	
13 - 11 - 05	1	ILD	31,18	4,57	133,45	7,48	7,06	0,41	19,95	1871,73	ILD	0,83	1245,19	1141,25	
14 - 11 - 05	2	ILD	44,97	ILD	190,23	6,60	85,00	12,37	40,85	435,75	ILD	1,65	2363,66	1638,22	50,34
15 - 11 - 05	3	ILD	328,53	375,46	290,77	21,87	75,16	417,81	742,46	12623,02	ILD	ILD	4882,86	5118,23	416,40
16 - 11 - 05	4	ILD	74,89	5,31	202,53	25,70	102,82	421,47	528,72	1299,87	ILD	ILD	5829,72	5014,25	392,44
17 - 11 - 05	5	ILD	246,97	201,69	149,83	26,34	134,18	173,29	236,27	2360,67	ILD	ILD	3620,24	1828,02	74,91
18 - 11 - 05	6	ILD	433,26	346,51	148,64	30,00	200,69	290,25	344,17	279,93	ILD	ILD	4168,55	3317,02	4,22
19 - 11 - 05	7	ILD	17,78	ILD	225,04	20,68	197,73	7,03	68,67	319,36	ILD	ILD	1042,47	937,40	289,57
20 - 11 - 05	8	ILD	75,29	ILD	219,64	29,26	248,12	16,77	76,07	199,36	ILD	ILD	1582,40	1215,67	113,53
21 - 11 - 05	9	ILD	105,52	5,35	236,28	27,91	261,13	86,79	121,96	295,16	ILD	1,14	2005,35	1553,43	415,79
22 - 11 - 05	10	ILD	673,98	697,72	290,87	56,16	372,15	804,57	946,12	21104,80	ILD	4,10	8572,70	3267,61	524,43
23 - 11 - 05	11	ILD	156,47	92,46	202,91	44,76	423,40	169,02	280,73	339,30	ILD	7,11	2206,54	2106,97	395,99
24 - 11 - 05	12	ILD	472,42	559,22	158,48	51,81	484,51	391,23	521,22	18798,04	ILD	4,31	5307,20	4549,34	533,31

Fuente: Los Autores

ILD: Valor Inferior al Limite de Detección del EAA

CON: Lecturas Con Interferencias

SIN: Lecturas Sin Interferencias

7.3 RESULTADOS CONCENTRACION DE METALES EN EL AIRE

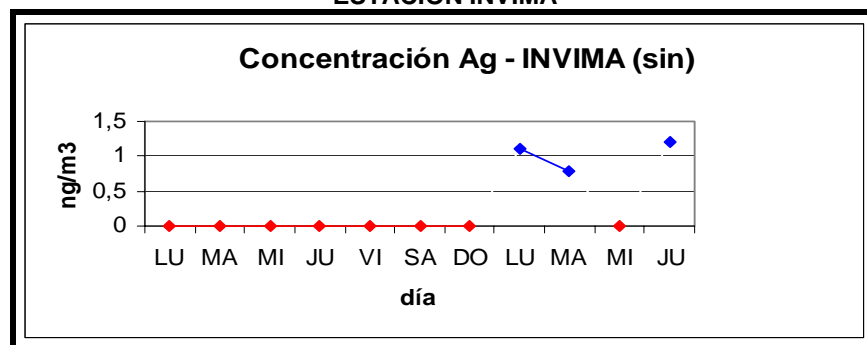
A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del muestreo realizado en las dos estaciones (INVIMA y LA MERCED) de la Localidad de Puente Aranda, se hace un análisis para cada elemento y también se realiza una asociación a las fuentes fijas y fuentes móviles que pueden estar incidiendo a la presencia de los metales en estudio en la atmósfera de la Localidad.

7.3.1 Plata

Este metal presenta interferencias por Aluminio y minerales ácidos, estas condiciones fueron eliminadas mediante la adición de Acido Acético al 5% en cada una de las muestras antes de realizar lectura por AA.

Para la estación INVIMA no se registran concentraciones por lo cual no se observa tendencia alguna.

**Figura 25. Concentraciones de Ag en PM₁₀ Sin interferencias
ESTACIÓN INVIMA**

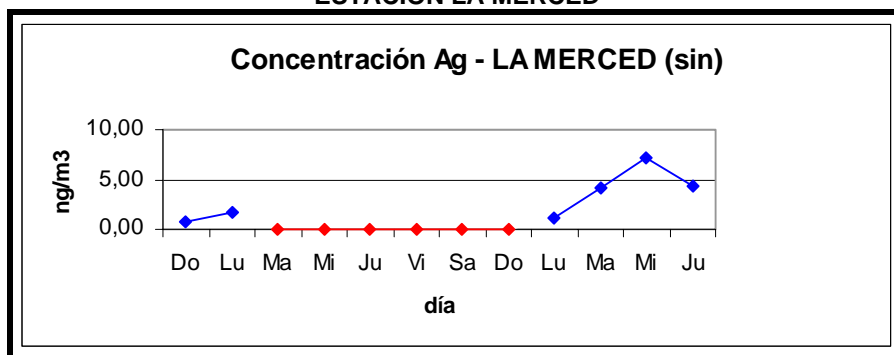


■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

Luego de aplicar Ácido Acético para eliminar interferencias, se observan tres leves registros los días lunes, martes y jueves de la segunda semana de muestreo, los demás días no se registran concentraciones.

El caso para LA MERCED no varía de INVIMA ya que todas las absorbancias estuvieron por debajo del límite de detección.

**Figura 27. Concentraciones de Ag en PM₁₀ Sin interferencias
ESTACIÓN LA MERCED**



■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

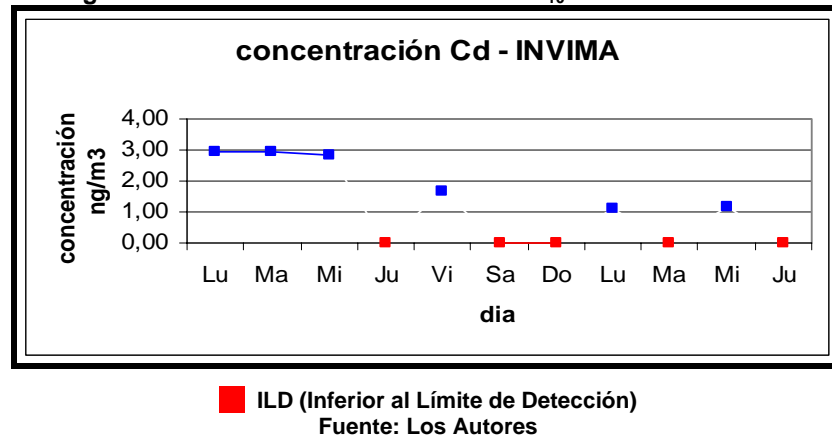
Al eliminar interferencias se observa que seis de los 12 datos se vuelven válidos, la mayor concentración se observa el día miércoles de la segunda semana de muestreo.

Para Ag, al igual que para el Fe no se encuentran factores de emisión en los sectores productivos de la Localidad de Puente Aranda lo cual dificulta realizar una asociación a fuentes fijas.

Las emisiones de Ag por fuentes móviles son bajas en comparación a otros metales, por esto, se puede justificar la ausencia del metal en la mayoría de días para los dos puntos de muestreo

7.3.2 Cadmio

Figura 34. Concentraciones de Cd en PM₁₀ ESTACIÓN INVIMA



La presencia de Cd es baja para la zona de la estación de INVIMA. Su máximo valor se aproxima a 3 ng/m³ y presenta valores por debajo al límite de detección en 5 oportunidades; estos valores no muestran una tendencia significativa a lo largo del periodo de muestreo. La presencia de este metal puede estar asociada al sector de Químicos derivados del Petróleo que según análisis con factores de emisión (Figura 22.), aportan Cd en un porcentaje considerable.

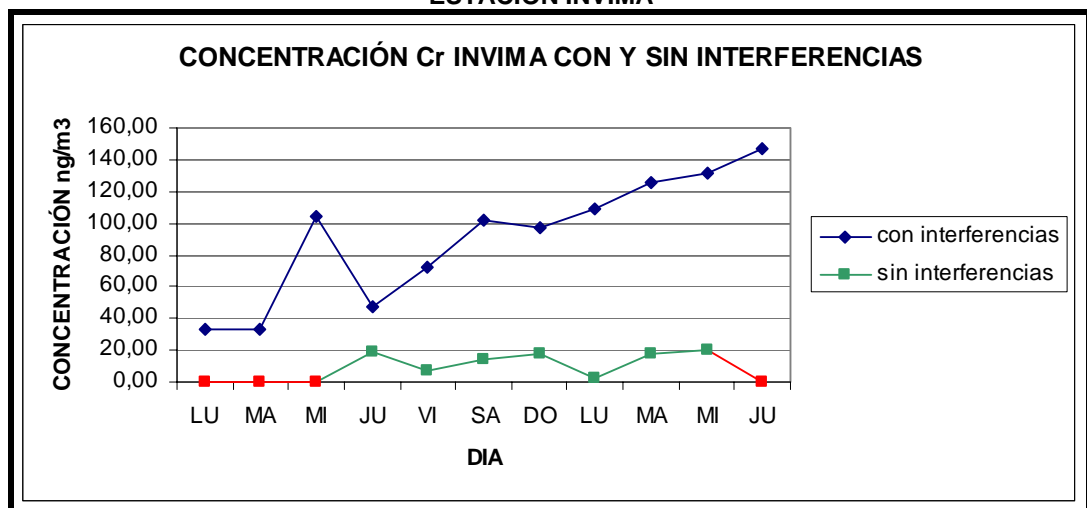
Para la estación de LA MERCED, durante el muestreo no se obtienen registros de concentraciones, lo que demuestra que la presencia de Cd en esta zona es muy baja.

En cuanto a fuentes móviles, el Cd junto con Ag muestran las menores emisiones de metales para la localidad, lo cual concuerda con los resultados obtenidos para INVIMA y LA MERCED.

7.3.3 Cromo

El Cr presenta interferencias por Hierro y Níquel, por esto se le adicionaron a las muestras una solución de NH_4Cl al 2%. Para Cr se presenta una disminución en las concentraciones con la eliminación de interferencias, este fenómeno se produce debido a que la interferencia es positiva, provocando que se registren concentraciones mayores a las reales.

Figura 35. Concentraciones de Cr en PM_{10} Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA



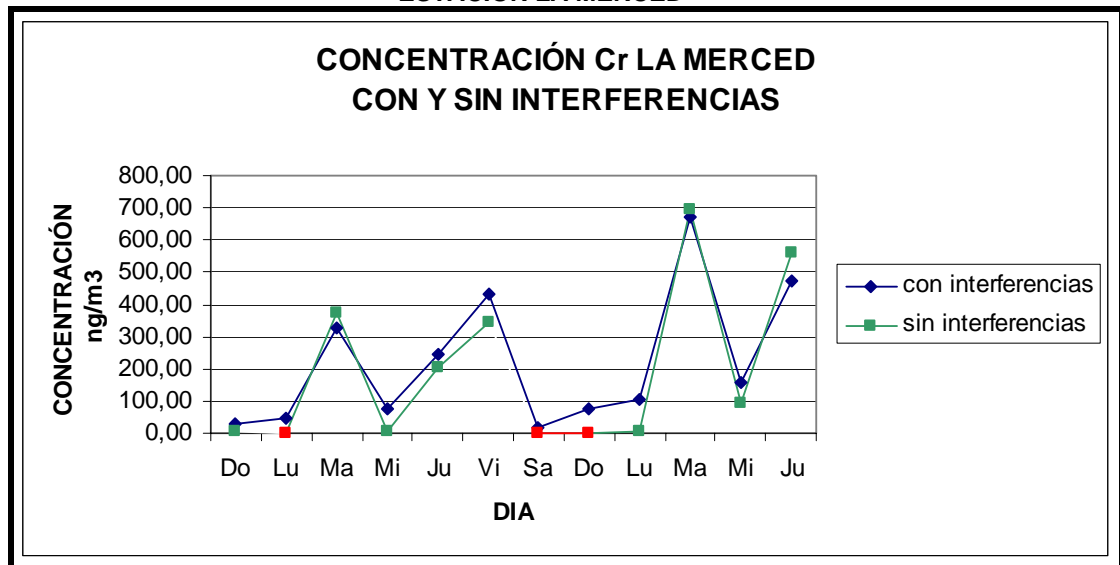
■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

En la figura 35 se observa una tendencia ascendente en las concentraciones con un leve pico el día miércoles, dichas concentraciones oscilan entre 32.83 y 146.43 ng/m^3 .

Al aplicar NH_4Cl se reducen las concentraciones significativamente, se pierde la tendencia y se dejan de registrar cuatro concentraciones, los valores oscilan entre 2.23 y 19.72 ng/m^3 .

La Presencia de Cr en la estación INVIMA puede estar asociada al sector de Químicos derivados del Petróleo, y en un segundo lugar al sector de la industria Textil (Figura 29).

**Figura 36. Concentraciones de Cr en PM₁₀ Con y Sin interferencias
ESTACIÓN LA MERCED**



■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

Para LA MERCED, se presentan concentraciones considerables con picos los días martes y viernes, los valores oscilan entre 17.79 y 673.98 ng/m³.

Con la aplicación de NH₄Cl, se dejaron de registrar tres valores. Las concentraciones no varían mucho ya que se presenta una tendencia parecida a cuando no se estaban eliminando interferencias.

Para la estación de LA MERCED se asocia la presencia de Cr al sector de Alimentos en primer lugar y en un segundo lugar se encuentra la industria dedicada a Metales, Maquinaria y Equipos.

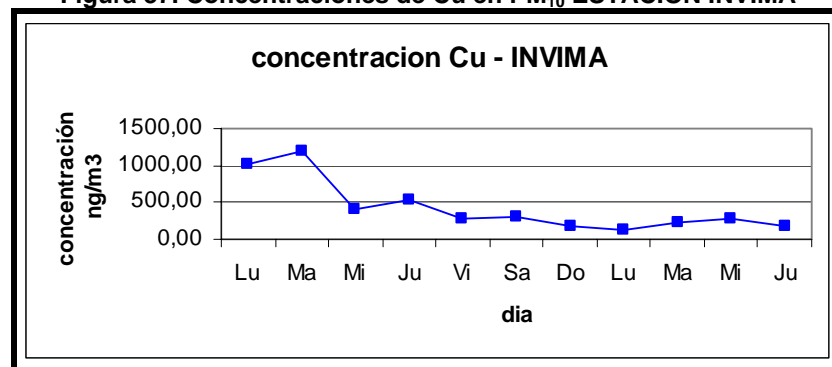
Las bajas concentraciones registradas durante los fines de semana permiten asociar gran parte de las emisiones de Cr a fuentes móviles debido a la disminución en el flujo vehicular durante los días en los que se registran las

menores concentraciones (fines de semana). Con la aplicación de factores de emisión se observa que el Cr es uno de los metales mas emitidos por fuentes móviles (Ver Figura 29).

7.3.4 Cobre

Este metal no presenta interferencias significativas, por lo que no se adicionó solución alguna ni se hicieron cambios en las condiciones de funcionamiento en el EAA.

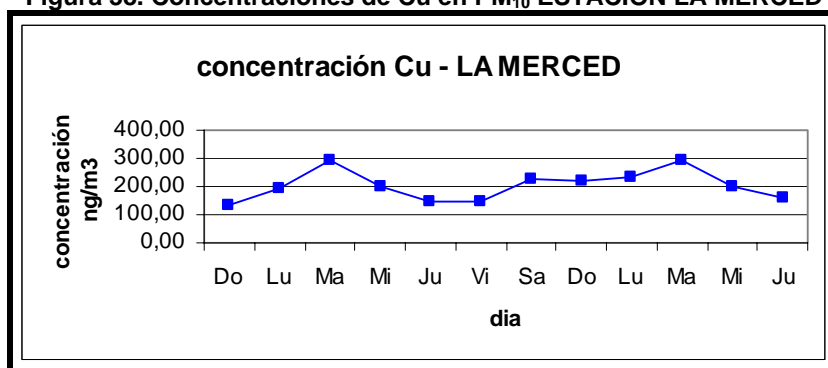
Figura 37. Concentraciones de Cu en PM₁₀ ESTACIÓN INVIMA



Fuente: Los Autores

Para la estación de INVIMA se presenta una tendencia descendente en las concentraciones de Cu con un valor máximo de 1192.14 ng/m³ y uno mínimo de 137.46 ng/m³. la presencia de Cu puede estar asociada a las industrias del sector de Químicos derivados del Petróleo ya que según el análisis con los factores de emisión pueden ser responsables de un 63% de las emisiones en la zona de influencia seguido del sector de textiles con un 23% en aporte de emisiones de este metal.

Figura 38. Concentraciones de Cu en PM₁₀ ESTACIÓN LA MERCED



Fuente: Los Autores

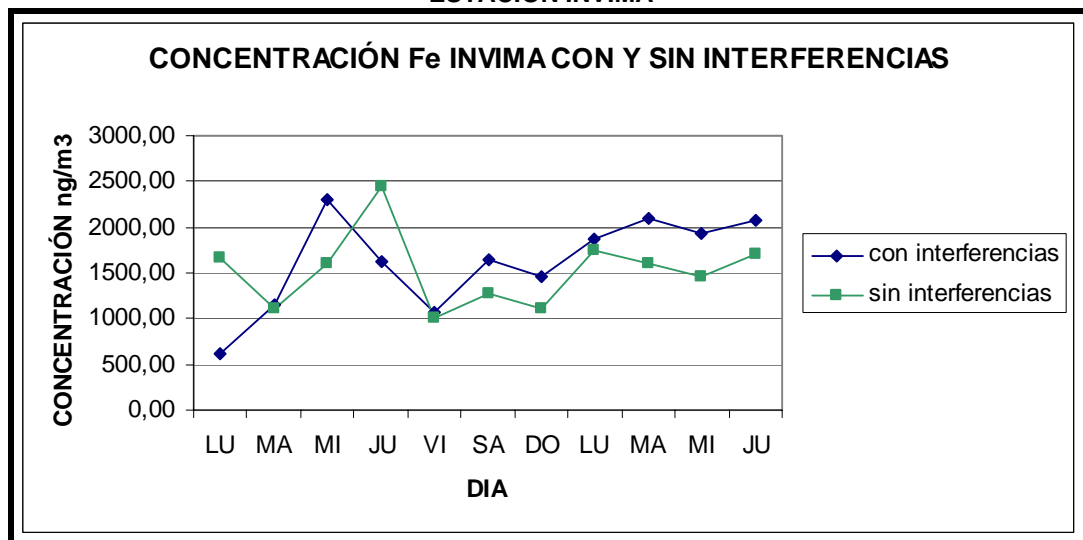
Las concentraciones de Cu en la estación de LA MERCED se muestran menores a las de la estación INVIMA con valores entre los 133.46 y los 290.87 ng/m³; sus máximos valores se registran los días martes y su menor valor el día domingo (primer día de muestreo). La responsabilidad de las emisiones no se asocia a un sector productivo en especial ya que los porcentajes de emisión para dos de los sectores se muestran similares, estos son: Alimentos y Metales Maquinaria y Equipos.

El aporte de Cu por parte de fuentes móviles se puede asociar debido a la disminución en las concentraciones durante los fines de semana, comportamiento que esta acorde al trafico de Bogota D.C.

7.3.5 Hierro

El Fe presenta interferencias por Cobalto, Cobre y Níquel para lo cual se realizo la adición de CaCl₂ al 0.2 %, Este metal presenta interferencias positivas las cuales registran concentraciones mayores a las reales.

**Figura 39. Concentraciones de Fe en PM₁₀ Con y Sin interferencias
ESTACIÓN INVIMA**

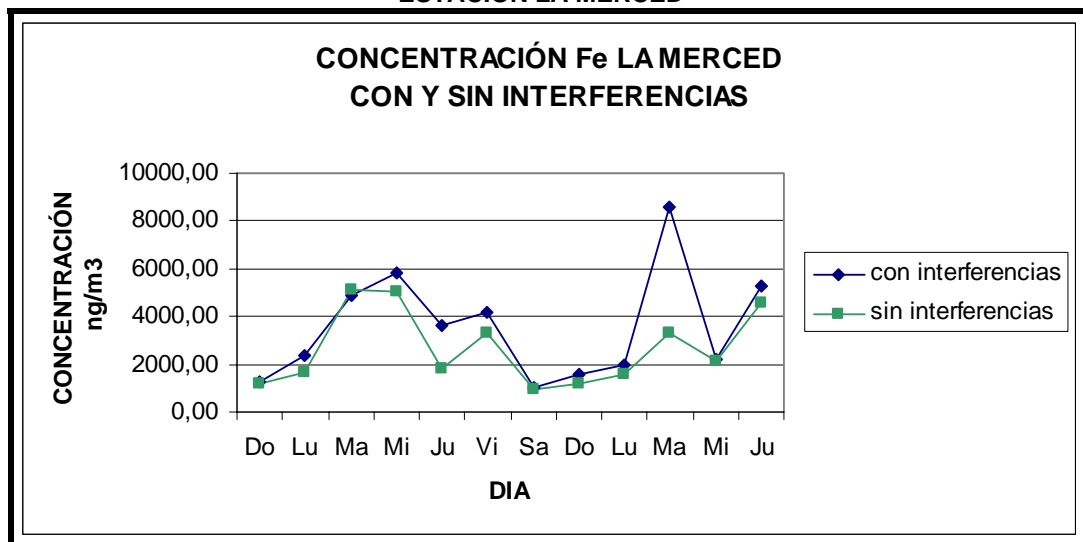


Fuente: Los Autores

Para la estación de INVIMA sin eliminar interferencias, se observa un comportamiento levemente ascendente que va desde los 611.55 hasta los 2308.28 ng/m³ con un leve pico el día martes (Figura 39).

Al aplicar CaCl₂ para las muestras recolectadas de la estación INVIMA, no se observan cambios significativos en las concentraciones de Fe ni en la tendencia ni en el rango de valores. El pico del día martes se muestra un poco mas pronunciado.

**Figura 40. Concentraciones de Fe en PM₁₀ Con y Sin interferencias
ESTACIÓN LA MERCED**



Fuente: Los Autores

Para la estación de LA MERCED sin eliminar interferencias, se observa un rango de valores mayores a los de la estación del INVIMA, estos valores oscilan entre los 1042.48 y los 8572.70 ng/m³, se presentan altas concentraciones para los días martes y bajas en el fin de semana.

Al eliminar interferencias se observa una tendencia mas variada pero con menores concentraciones que antes, se presentan valores entre los 939.06 y los 5119.65 ng/m³, los mayores valores se dan los días martes y miércoles.

Para el Fe no se cuenta con factores de emisión que asocian la concentración del metal con sectores o procesos productivos, por lo cual no se realizan asociaciones directas para estas emisiones. En cuanto a fuentes móviles, según los factores de emisión implementados, el Fe es el metal que mas se emite por los vehículos con motor Diesel por lo cual se podría asociar a estas fuentes (Figura 29).

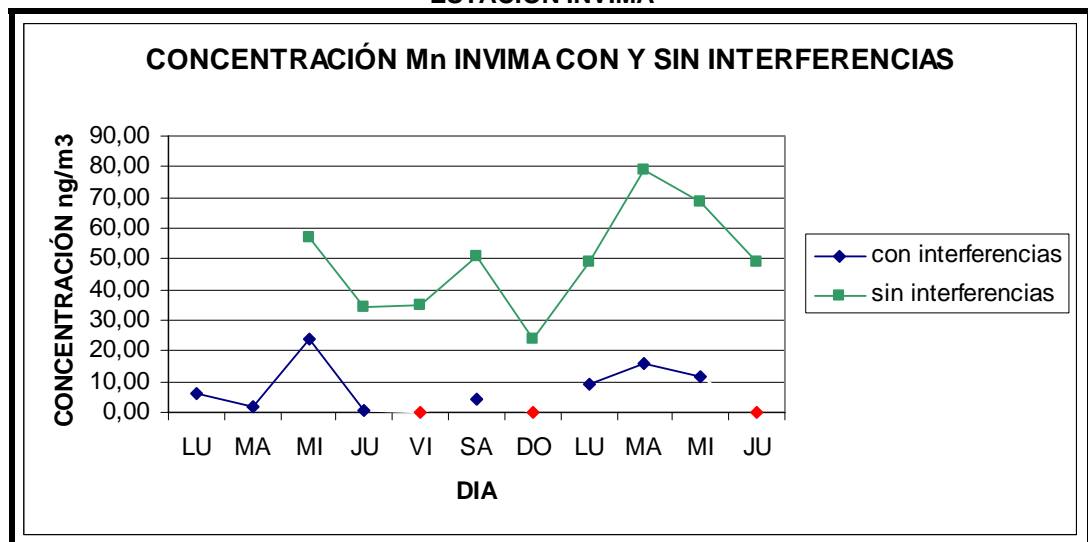
Las altas concentraciones de Fe pueden estar asociadas también a polvo resuspendido del suelo debido a factores como calles destapadas y los

procesos industriales realizados en la localidad, se debe tener en cuenta que el Fe esta presente de forma natural en la corteza terrestre.

7.3.6 Manganeso

El Mn presenta interferencias por Silicatos, es por esto que se le adicionó una solución de CaCl_2 al 0.2% con el fin de lograr una lectura de la verdadera concentración del metal en las muestras.

Figura 41. Concentraciones de Mn en PM_{10} Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA



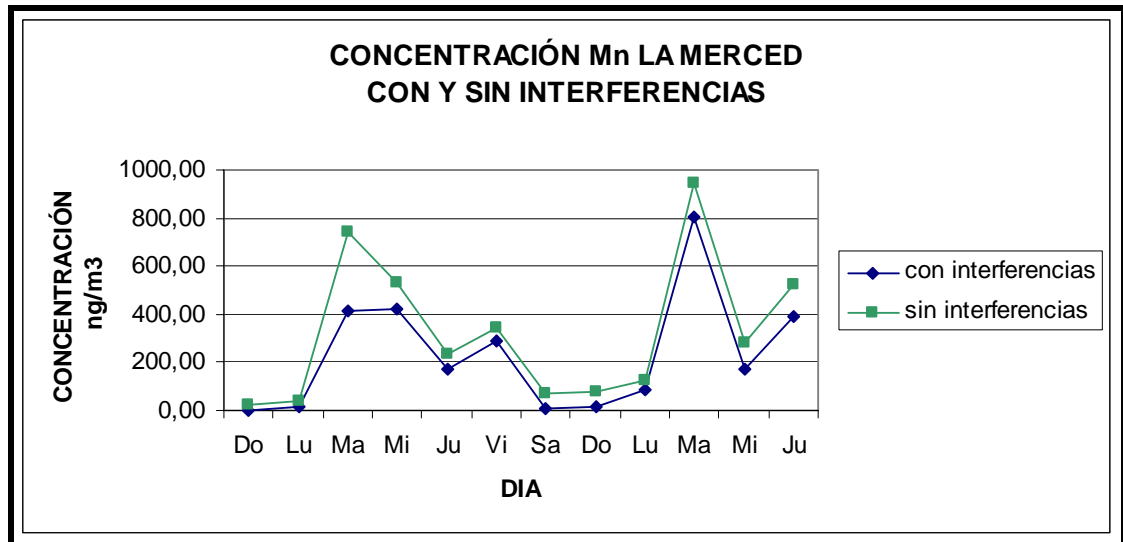
■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

En la grafica se observa un valor máximo de 24.14 ng/m^3 , además en tres oportunidades no se registran concentraciones, el máximo valor se presenta el día miércoles.

Al aplicar CaCl_2 asciende la escala de concentración en la grafica. Existe una tendencia homogénea con un leve ascenso de valores los días martes.

La presencia de Mn puede estar asociada en primer lugar al sector de Químicos derivados del Petróleo seguido por la industria Textil y en menor proporción está la industria de Alimentos (Figura 22).

**Figura 42. Concentraciones de Mn en PM₁₀ Con y Sin interferencias
ESTACIÓN LA MERCED**



Fuente: Los Autores

Para la estación de LA MERCED sin eliminar interferencias se observan mayores valores que en INVIMA con concentraciones entre 0.42 y 804.58 ng/m³, las mayores concentraciones se registran los días martes y miércoles.

Al eliminar interferencias no se presentan mayores diferencias en las concentraciones ni tendencias de la grafica, su máximo valor es de 946.13 ng/m³ con los dos mismos picos para los días martes y miércoles.

La presencia de Mn puede estar asociada inicialmente a las industrias del sector alimentos en un 48% seguido del sector Metales, Maquinaria y Equipos y Textiles con un 20 y 17% respectivamente (Figura 24).

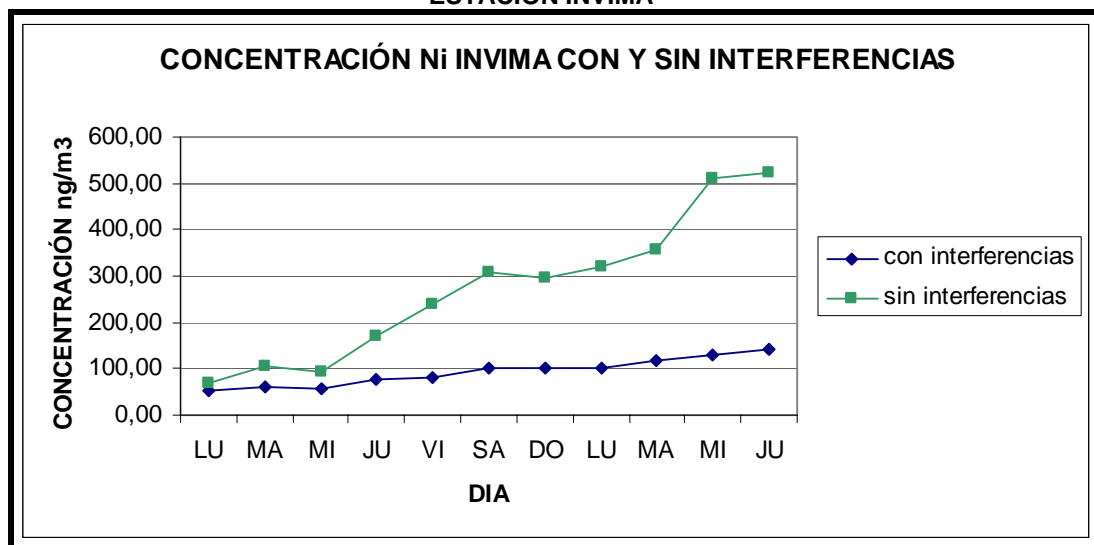
Existe una relación directa entre la presencia de Mn en la atmósfera y las fuentes móviles debido a que durante los fines de semana se registran las

menores concentraciones y es justamente aquí cuando el flujo vehicular disminuye en toda la ciudad (Figura 29).

7.3.7 Niquel

El Ni presenta interferencias por Hierro y Cromo, la manera de eliminar las interferencias para este metal no fue con la adición de soluciones sino modificando las condiciones de la llama, para esto se cambió el suministro de aire por el de Oxido Nitroso.

Figura 43. Concentraciones de Ni en PM₁₀ Con y Sin interferencias ESTACIÓN INVIMA



Fuente: Los Autores

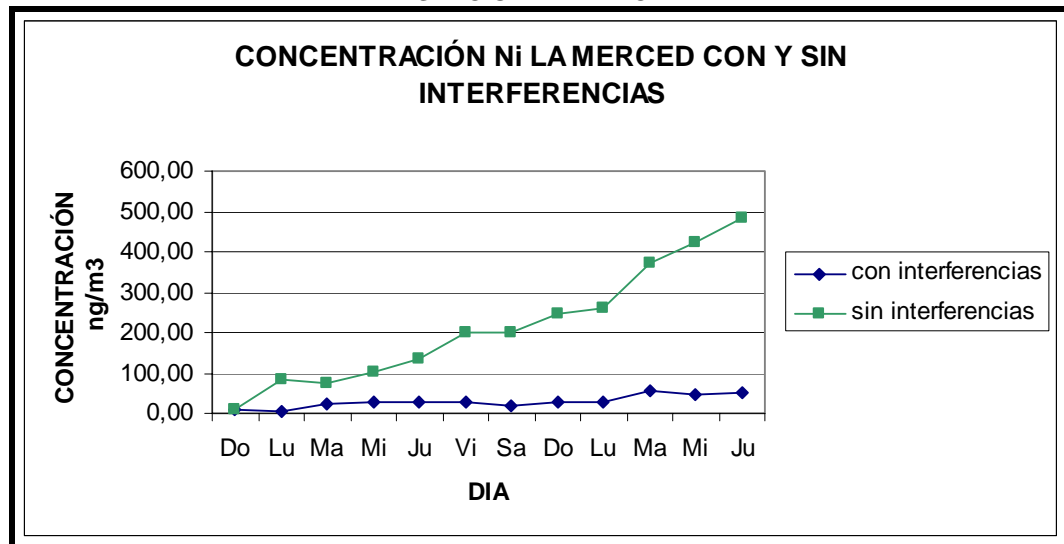
Sin cambiar las condiciones para eliminar interferencias, se presenta una tendencia ascendente, con valores entre 51.07 y 141.62 ng/m³.

Al eliminar interferencias mediante el cambio de aire por Oxido Nitroso se observa una tendencia similar a la de la mezcla Aire/Acetileno pero en una escala de concentración mayor, los valores oscilan entre 67.11 y 523.55 ng/m³.

La presencia de Ni en la zona puede ser causada en primer lugar por las industrias del sector de Químicos derivados del Petróleo ya que según factores

de emisión aportan un 65% de este metal seguido del sector de Textiles con un 23%.

**Figura 44. Concentraciones de Ni en PM₁₀ Con y Sin interferencias
ESTACIÓN LA MERCED**



Fuente: Los Autores

Para la estación de LA MERCED sin eliminar interferencias también se observa una tendencia ascendente con valores entre 6.60 y 56.17 ng/m³, el máximo valor se presenta el día martes.

Al eliminar interferencias se observa la misma tendencia pero con un rango mucho mas alto en la escala de concentraciones.

Las emisiones de Ni presentes en la zona de la estación LA MERCED pueden estar asociadas inicialmente al sector Alimentos que según factores de emisión, pueden aportar un 52% del metal que se emite a la atmosfera, seguido de los sectores de Químicos derivados del Petroleo y Textiles con un aporte de Níquel del 25 y 23% respectivamente (Figura 24).

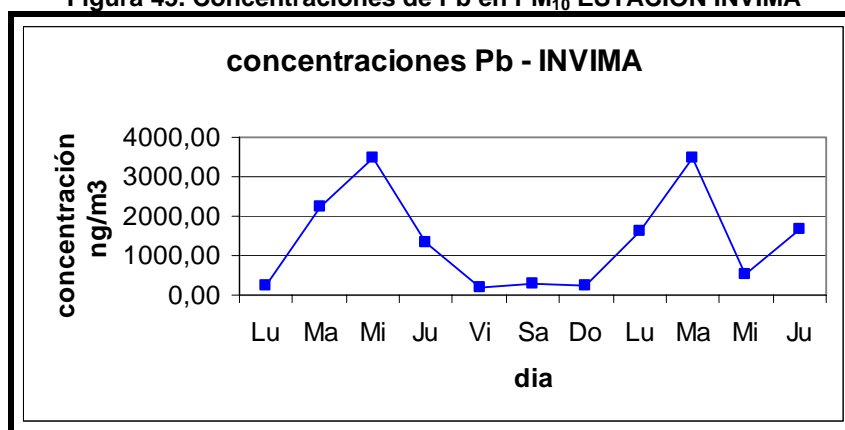
Según la aplicación de factores de emisión para fuentes móviles, El Ni puede ser emitido en un porcentaje considerable por vehículos con motor Diesel, sin

embargo la tendencia a lo largo de los días de muestreo no permite asociar directamente las concentraciones obtenidas a fuentes móviles.

7.3.8 Plomo

El Pb no presenta interferencias significativas, los datos obtenidos muestran altas concentraciones en las dos estaciones de muestreo y con tendencias similares

Figura 45. Concentraciones de Pb en PM₁₀ ESTACIÓN INVIMA

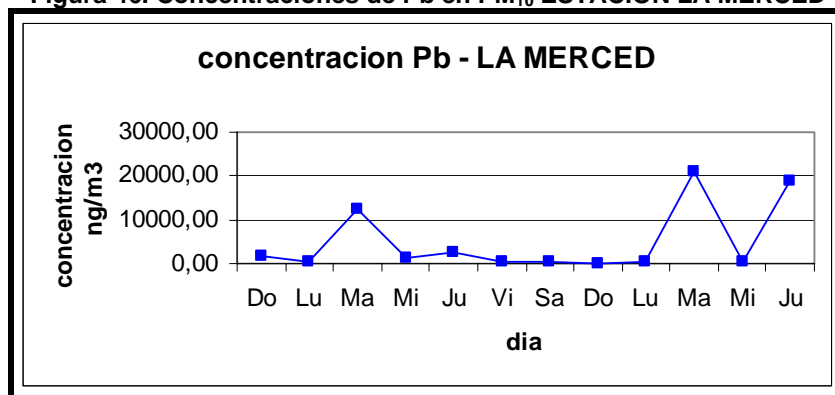


Fuente: Los Autores

En la zona de la estación INVIMA se registraron concentraciones entre 175.65 y 3494.81 ng/m³ con altas concentraciones los días martes, miércoles y jueves; las bajas concentraciones se observan los fines de semana.

Según factores de emisión las altas concentraciones de Pb en INVIMA pueden estar asociadas inicialmente a las industrias del sector de Químicos derivados del Petróleo que componen el 66% del total de emisiones industriales para este metal; en segundo lugar se encuentra el sector Textil con un 22% de aporte en Plomo (Figura 22).

Figura 46. Concentraciones de Pb en PM₁₀ ESTACIÓN LA MERCED



Fuente: Los Autores

Para la estación de LA MERCED se encuentran registros con mayor concentración que INVIMA que oscilan entre 199.36 y 21104.81 ng/m³, las altas concentraciones se presentan hacia los días martes; los fines de semana se observan concentraciones relativamente bajas.

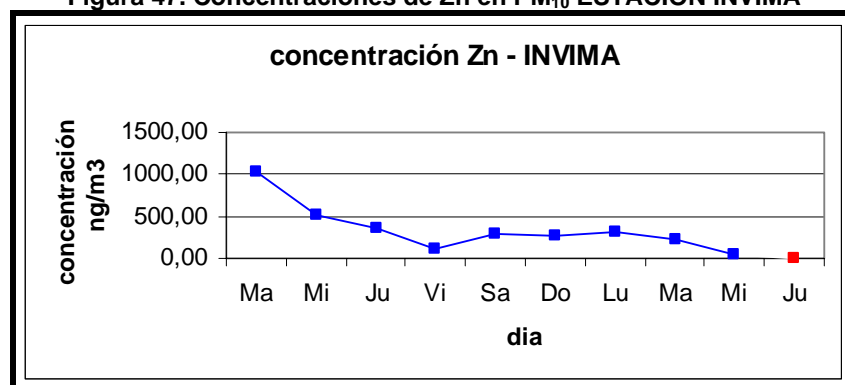
Las emisiones en LA MERCED pueden estar asociadas a tres sectores principalmente: Alimentos (con un aporte del 48%), Metales, Maquinaria y Equipos (con un aporte del 26%) y Químicos derivados del Petróleo (con un aporte del 14%) (Figura 24).

Las altas concentraciones registradas por Pb en las dos zonas de muestreo están asociadas también a la emisión por parte de fuentes móviles, debido a las altas concentraciones durante la semana y las bajas los días sábado y domingo, comportamiento similar al del flujo vehicular en la ciudad (Figura 29).

7.3.9 Zinc

Para el Zn no se presentan interferencias significativas, por esto no se realizó cambio en las condiciones de funcionamiento del EAA ni se adicionó solución alguna en las muestras.

Figura 47. Concentraciones de Zn en PM₁₀ ESTACIÓN INVIMA

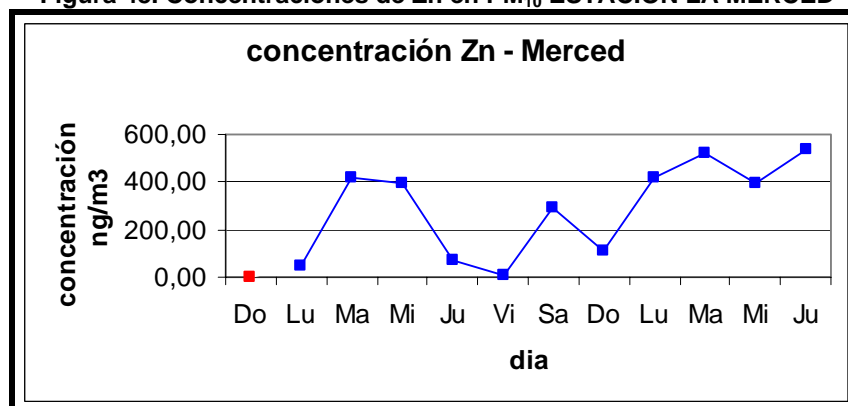


■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

En la estación INVIMA se presenta una tendencia descendente con la concentración más alta en 1036.39 ng/m³ el día martes de la primera semana de muestreo y la más baja en 34.42 ng/m³ que ocurrió el día miércoles de la segunda semana.

Las emisiones de este metal pueden estar asociadas en primer lugar al sector de textiles los cuales según factores de emisión pueden aportar un 61% en Zn; en segundo lugar se encuentran las industrias del sector de Químicos derivados del Petróleo con un aporte del 32% y en menor cantidad está el sector de Alimentos (Figura 22).

Figura 48. Concentraciones de Zn en PM₁₀ ESTACIÓN LA MERCED



■ ILD (Inferior al Límite de Detección)
Fuente: Los Autores

Para la estación de LA MERCED se observa una tendencia ascendente con valores entre los 4.22 y los 533.31 ng/m³ con concentraciones altas los días martes, día en el cual la mayoría de metales mostraron altos niveles.

Por el gran número de industrias dedicadas a la producción de Alimentos presentes en la zona de la estación LA MERCED las emisiones de Zn se adjudican en primer lugar a este sector productivo puede aportar un 45% del metal, en segundo lugar se encuentra el sector de Químicos derivados del Petróleo que aportan un 28% seguido de el sector Textiles con un aporte del 21% en Zn (Figura 24).

Según factores de emisión, los vehículos con motor Diesel pueden emitir Zn en altas proporciones, por lo cual se pueden relacionar las fuentes móviles a la presencia del metal en la atmósfera, además en la estación LA MERCED se observan menores concentraciones durante los fines de semana, factor que asocia directamente las concentraciones de Zn a esta fuente de emisión.

7.4 ANALISIS DE CORELACIÓN ENTRE METALES

Se realizó análisis de correlación con el fin de observar que elementos podrían estar asociados a una fuente en común, los resultados se muestran en las tablas 34 y 35 para las dos estaciones de muestreo respectivamente.

Debido a que el numero de muestras fue pequeño para los dos puntos de muestreo (n=11 para INVIMA y n=12 para la MERCED) no se realizaron mas análisis estadísticos ya que no serían confiables.

Tabla 34. Correlación entre metales estación INVIMA

INVIMA									
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ag	Pb	Zn
Cd	1,000	-0,676	0,710	-0,241	-0,498	-0,665	-0,374	0,139	0,382
Cr		1,000	-0,418	0,108	0,431	0,373	-0,257	-0,233	-0,238
Cu			1,000	-0,033	-0,763	-0,697	-0,447	0,019	0,517
Fe				1,000	0,186	-0,029	0,272	0,266	-0,161
Mn					1,000	0,641	0,397	0,385	-0,345
Ni						1,000	0,551	-0,123	-0,523
Ag							1,000	0,364	-0,250
Pb								1,000	0,442
Zn									1,000

Fuente: Los Autores

El mayor valor para la estación INVIMA se observa para la relación Cd - Cu ($r=0.710$), indicando la misma fuente de emisión para estos metales, en el trabajo realizado por Pachón en el año 2004, obtiene el mayor coeficiente ($r=0.99$) para la relación Cd – Cu, adjudicando también una misma fuente de emisión, el sector industrial al cual están asociadas estas concentraciones es el de Químicos derivados del Petróleo. Las bajas concentraciones demuestran que no es representativa la relación entre fuentes como en el caso del Zn con la mayoría de elementos (excepto el Cu con el que se da una correlación considerable).

Tabla 35. Correlación entre metales, estación LA MERCED

LA MERCED									
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ag	Pb	Zn
Cd	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr		1,000	0,262	0,581	0,829	0,500	0,360	0,902	0,476
Cu			1,000	0,238	0,546	0,146	0,080	0,402	0,615
Fe				1,000	0,807	0,125	0,072	0,578	0,537
Mn					1,000	0,313	0,270	0,818	0,667
Ni						1,000	0,768	0,459	0,622
Ag							1,000	0,384	0,513
Pb								1,000	0,647
Zn									1,000

Fuente: Los Autores

Para la estación LA MERCED, todos los resultados fueron positivos con correlaciones más altas en comparación con la estación INVIMA. La relación Pb – Cr muestra el mayor valor ($r=0.902$), se registran otras buenas correlaciones entre otros elementos como Mn – Cr ($r=0.829$), Mn – Pb

($r=0.818$) y Mn – Fe ($r=0.807$). Los valores mas bajos se observan para los metales Cu y Ag.

7.5 PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN

Para la estimación de la cantidad de cada elemento que se pierde en las etapas de extracción y análisis en el laboratorio, se determinó el porcentaje de recuperación, este consistió en hacer la extracción a un filtro blanco para después adicionarle una alícuota de solución con concentración conocida de cada uno de los metales en estudio para luego de la lectura por AA verificar que porcentaje del contenido real de metales se está registrando. Para esto se cortaron tres tiras de filtro blanco (Blanco, Con interferencias y Sin interferencias); al primero no se le adicionó ningún tipo de solución mientras que al segundo y al tercero se les adicionaron alícuotas con concentraciones conocidas de cada uno de los metales en estudio; finalmente a la tercera tira se le adicionaron soluciones para eliminar interferencias (NH_4Cl , CaCl_2 y CH_3COOH).

Tabla 36. Concentraciones adicionadas a los filtros blancos

METAL	CONCENTRACIÓN (MG/L)
Ag	0.04
Cd	0.08
Cr	0.2
Cu	0.4
Fe	0.24
Mn	0.08
Ni	0.08
Pb	0.8
Zn	0.04

Fuente: Los Autores

Tabla 37. Porcentajes de recuperación de los metales analizados

METAL	MASA en el FILTRO (G)	MASA REGISTRADA (G)	% DE RECUPERACIÓN
Ag	0.002	0.002	100
Cd	0.004	0.004	100
Cr	0.01	0.009	90
Cu	0.02	0.02	100
Fe	0.012	0.011	92
Mn	0.004	-	-
Ni	0.004	0.004	100
Pb	0.04	0.04	100
Zn	0.002	-	-

Fuente: Los Autores

El porcentaje de recuperación se realizó teniendo en cuenta la masa de metal adicionada a los filtros, y la registrada por AA, con los datos registrados se obtuvieron resultados del 100% para los metales Ag, Cd, Cu, Mn, Ni y Pb; y de 90 y 92% para Cu y Fe respectivamente, lo cual demuestra la confiabilidad de los resultados obtenidos y de la fase de extracción de las muestras. Para Mn y Zn se obtuvieron resultados por encima del 100%, lo que puede estar asociado a que los filtros puedan contener algún contenido de estos elementos.

7.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS 1RA Y 2DA FASE DE MUESTREO DE METALES PESADOS

La primera fase de Metales Pesados del macroproyecto *“Estimación del riesgo en la salud humana a partir de la caracterización de aerosoles en la Localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá”* se enfocó en la determinación de metales pesados (Cr, Cu, Fe, Pb, Zn), en la fracción respirable del aire (PM₁₀) de dos puntos de muestreo en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Cada muestreo se realizó durante 10 días consecutivos en los meses de junio y julio del 2005. El primer muestreo se realizó en las instalaciones del INVIMA del 23 junio al 4 de julio, en este se utilizaron filtros de fibra de vidrio, el segundo muestreo se realizó en las instalaciones del colegio La MERCED del 9 de julio al 19 de julio y se utilizaron filtros de cuarzo, en ambas estaciones se utilizó un muestreador del alto volumen para la colección de las muestras.

La segunda fase de Metales Pesados (el presente estudio), se determinó los cinco metales pesados de la primera fase Cr, Cu, Fe, Pb, Zn y además se trabajo con Ag, Cd, Mn y Ni (al obtenerse estas lámparas para el EAA de el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle), en partículas respirables, en los mismos dos puntos de muestreo en la Localidad de Puente Aranda. Estos muestreos se llevaron a cabo durante 12 días en cada estación, iniciando en la estación INVIMA el 24 de Octubre al 3 de Noviembre del año

2005, luego en la estación LA MERCED del 13 al 24 de Noviembre del mismo año.

A continuación se muestran los rangos de concentraciones para cada metal pesado trabajado en común por las dos fases (ver Tabla 38).

Tabla 38. Consolidado, rangos de concentraciones para la 1ra y 2da fase

RANGOS CONCENTRACIONES METALES PESADOS ng/m ³ 1RA Y 2DA FASE										
INVIMA										
Fase	METAL									
	Cr		Cu		Fe		Pb		Zn	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
1	572.49	47.68	326.13	73.98	3245.36	1495.30	5395.52	198.55	9907.53	93.38
2	19.72	2.23	1192.14	137.46	2447.75	1000.27	3494.81	175.65	1036.39	34.42
MERCED										
Fase	METAL									
	Cr		Cu		Fe		Pb		Zn	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
1	1579.11	398.83	341.50	141.01	9837.01	1347.93	10782.97	221.47	5068.02	62.83
2	697.72	1.17	290.87	17.79	5118.24	937.40	21104.81	199.36	533.31	0

Fuente: Los Autores

Para Cromo, la estación INVIMA presentó en la primera fase un rango de concentraciones de 47.68 a 572.49 ng/m³ y en la segunda fase un rango de concentraciones de 2.23 a 19.72 ng/m³, en la primera fase se observa un rango muy elevado y diferente al de la segunda fase. La estación de LA MERCED presentó en la primera fase un rango de concentraciones entre 398.83 y 1579 ng/m³ y en la segunda fase un rango de concentraciones de 1.17 a 697.72 ng/m³, siendo mayor el rango de concentraciones en la primera fase considerablemente.

Para Cobre, en la estación INVIMA se encontró en la primera fase un rango de concentraciones de 73.98 a 326.13 ng/m³, en la segunda fase se presenta un rango de concentraciones de 137.46 a 1192.14 ng/m³, encontrando que la segunda fase presentó concentraciones más altas. La estación de LA MERCED presentó un rango de concentraciones en la primera fase de 141.01

a 341.50 ng/m³ y la segunda fase presento un rango de concentraciones de 17.79 a 290.87 ng/m³, observando que presento concentraciones más altas la primera fase, y estas dos fases no guardan una diferencia tan grande.

Para Hierro, en la estación INVIMA se observa en la primera fase un rango de concentraciones entre 1495.30 y 3245.36 ng/m³, la segunda fase presento un rango de concentraciones de 1000.27 a 2447.75 ng/m³, dándonos cuenta que la primera fase presentó mayores concentraciones, la diferencia de los rangos no es tan significativa. En la estación de LA MERCED en la primera fase se encontró un rango de concentraciones de 1347.93 a 9837.01 ng/m³, la segunda fase presenta un rango de concentraciones de 937.40 a 5118.24 ng/m³, se observa que la primera fase es la que presenta concentraciones mas altas.

Para Plomo, en la estación INVIMA en la primera fase se presentó un rango de concentraciones de 198.55 a 5395.52 ng/m³, en la segunda fase se encontró un rango de concentraciones de 175.65 a 3494.81 ng/m³, siendo estos rangos mas similares, el rango de concentraciones en común de las dos fases es de 198.55 a 3494.81 ng/m³. En estación de La MERCED en la primera fase se presentó un rango de concentraciones de 221.47 a 10782.97 ng/m³ y en la segunda fase se encontró un rango de concentraciones de 199.36 a 21104.81 ng/m³, la diferencia de el máximo de los rangos en las dos fases es del doble aproximadamente, superando la segunda fase a la primera.

Para Zinc, en la estación INVIMA en la primera fase se presentó un rango de concentraciones de 93.38 a 9907.53 ng/m³, en la segunda fase se encontró un rango de concentraciones de 34.42 a 1036.39 ng/m³, registrando concentraciones por el doble que la segunda fase. La estación de LA MERCED presentó un rango de concentraciones en la primera fase de 62.83 a 5068.02 ng/m³, en la segunda fase se observa un rango de concentraciones de 0 hasta 533.31 ng/m³, se observa que la primera fase registró unas concentraciones elevadas, con una diferencia significativa con respecto a la segunda fase.

7.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS RELACIONADOS CON METALES PESADOS

A continuación se comparan los resultados obtenidos para las concentraciones de metales pesados del presente estudio con trabajos realizados para la misma zona de muestreo y en ciudades con condiciones similares en Colombia y otros países (ver Tabla 39 y ANEXO 5).

Para la comparación se analizan los rangos de concentraciones ya que el número de muestras no se prestan para trabajar con promedios, solamente para los casos en los que los muestreos se realizaron durante largos periodos de tiempo se trabaja con estos valores.

Inicialmente se muestran los resultados obtenidos en el presente estudio para las dos zonas de muestreo, también se registran los resultados del primer muestreo realizado para los meses de junio y julio del año 2005 en los mismos puntos, cabe anotar que en la primera fase solo se realizó medición para Cr, Cu, Fe, Pb y Zn.

También se muestran los valores obtenidos para Puente Aranda en el año 1999 mediante diferentes técnicas de extracción y análisis de filtros y muestras. Se hace una comparación con trabajos realizados en Soacha y Sibate que son municipios cercanos a Bogotá los cuales presentan zonas industriales y por ende emisiones atmosféricas considerables, en estos dos estudios se obtienen resultados para los metales Cd, Cr, Cu, Mn y Pb

Finalmente se relacionan resultados internacionales, inicialmente para una zona industrial en East Saint Louis, Illinois (Estados Unidos, 1993), y luego para La Plata (Argentina, 2001) en donde se determinan metales pesados a partir de partículas suspendidas totales (TSP).

Tabla 39. Comparación de resultados con otros estudios

	CONCENTRACIÓN (NG/M ³)									Referencias*
	Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
INVIMA	0.79-1.11	1.11-2.95	2.23-19.72	137.46-1192.14	1602.96-2447.75	23.70-78.84	67.11-523.55	175.65 -3494.81	34.42-1036.39	Presente Estudio
LA MERCED	0.83-7.11	ILD	5.32-697.72	133.46-290.87	939.06-5119.65	19.96-946.13	7.07-484.51	199.36-21104.81	4.22-533.31	Presente Estudio
INVIMA ³² 1ra Fase	-	-	50-570	70-330	1500-3250	-	-	200-5400	90-9910	Pérez y Hernández (2005)
LA MERCED ³³ 1ra Fase	-	-	398.83-1579.11	141.01-341.50	1347.93-9837.01	-	-	221.47-10782.97	62.83-5068.02	Pérez y Hernández (2005)
Pte Aranda ³⁴ (Bogotá D.C.)	-	31	-	29.32	680	-	-	-	-	Páez (1998)
Soacha ³⁵ (Cund.)	-	0.87-3.56	0.58-8.21	85.75-164.27	-	4.27-28.98	-	153.26-1567.48	-	Pachón (2004)
Sibate ³⁶ (Cund.)	-	0.097-1.36	0.93-3.93	4.83-21.61	-	0.49-0.91	-	58.30-1825.76	-	Pachón (2004)
East St. Louis ³⁷ (Illinois, USA)	-	25	5.7	138	666	24.3	3.9	209	231	Sweet et al. (1993)
La Plata ³⁸ (Argentina)		0.16-2.0	3.5-12	8.9-73	747-5967	8.8-92	1.0-15	44-268	20-1049	Bilos, Colombo, Skorupka, Rodríguez Presa (2001)

Fuente: REFERENCIAS*

³² Rango de concentraciones obtenidas de 10 filtros en muestreos de 24 h para la primera fase de muestreos en la Localidad de Puente Aranda, Bogota D.C. (Junio – julio de 2005) Estación INVIMA

³³ Rango de concentraciones obtenidas de 10 filtros en muestreos de 24 h para la primera fase de muestreos en la Localidad de Puente Aranda, Bogota D.C. (Junio – julio de 2005) Estación La MERCED

³⁴ Concentraciones de filtros en muestreos de 24 h, localidad de Puente Aranda

³⁵ Rango de concentraciones obtenidas de los cuatro filtros con mayor contenido de metales pesados en PM₁₀ para el Municipio de Soacha (Cund.) durante los años 2000 y 2001

³⁶ Rango de concentraciones obtenidas de los tres filtros con mayor contenido de metales pesados en PM₁₀ para el Municipio de Sibate (Cund.) durante los años 2000 y 2001

³⁷ Promedio calculado para filtros de 12 y 24 h de muestreo en PM₁₀, filtros colectados en un periodo de dos años en un área industrial

³⁸ Rango de concentraciones para TSP durante el año 1993 en el centro de La Plata (Argentina)

Los valores obtenidos en el presente trabajo muestran altos rangos de concentraciones, esto debido a picos que se presentaron en algunos días (especialmente los martes), se registraron datos para todos los metales excepto para Cd en la estación de LA MERCED en donde los resultados en el EAA estaban por debajo del límite de detección del equipo. Para los metales Cd, Cu, Ni y Zn, la estación INVIMA presentó los mayores rangos de concentración mientras que para Ag, Cr, Fe, Mn y Pb la estación de LA MERCED contó con mayores registros.

En general se presentaron mayores valores en las concentraciones de LA MERCED, este comportamiento pudo ser debido a factores como la cercanía que tiene esta estación a la calle 13 que es una vía con alto flujo vehicular, en INVIMA se estaba en una vía con flujo de vehículos considerable pero en menor cantidad que en la otra estación. Otro aspecto a considerar es la altura de las estaciones, por efectos de logística y seguridad, los equipos se ubicaron en un segundo piso para LA MERCED mientras que para INVIMA se ubicaron en un cuarto nivel. Finalmente se debe tener en cuenta que la zona de influencia de la estación LA MERCED presenta mayor número de industrias en comparación a la zona de la estación INVIMA y por ende mayores emisiones por parte de fuentes fijas.

Al comparar los resultados con los de la primera fase para los mismos puntos de muestreo realizados entre junio y Julio de 2005 se observa una tendencia similar en cuanto a los amplios rangos de concentración de la estación LA MERCED en comparación a INVIMA. Para Cr, Fe y Zn las concentraciones en la primera fase son mayores que las del presente estudio, para Cu solamente son mayores en la primera fase de LA MERCED y para Pb son mayores en la primera fase de INVIMA.

Las fechas de muestreo se establecieron con el fin de realizar la primera fase en temporada de lluvias y la segunda (Presente estudio) en temporada seca, durante los muestreos se tuvo un comportamiento completamente opuesto, ya

que durante la segunda fase se presentaron lluvias mientras que para la primera campaña no se registraron precipitaciones considerables. Esta variable pudo haber influido en la diferencia existente entre los rangos de los resultados obtenidos con los resultantes de la primera fase.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta tiene que ver con el tipo de filtro utilizado en los muestreos ya que en la primera fase para la estación INVIMA se trabajó con filtros de fibra de vidrio mientras que para la segunda se utilizaron filtros de cuarzo exclusivamente; esto pudo incrementar considerablemente la concentración de algunos metales como Fe y Zn.

Los resultados encontrados por Páez en el año 1998 para la localidad de Puente Aranda no muestran ninguna relación con los rangos obtenidos, solamente con Fe el promedio de sus concentraciones entra en el rango para este metal en el presente estudio. La EPA publicó el Método para la Selección, Preparación y Extracción de material filtrado en el año 1999 (Método IO-3.1 EPA), el presente estudio trabajó bajo los lineamientos propuestos en este documento durante la fase de laboratorio, mientras que Páez se vio en la necesidad de realizar ensayos preliminares (Decomatación, granulometrías y digestión) en filtros de fibra de vidrio con el fin de validar la mejor técnica para la determinación del contenido de metales en el aire. Lo anterior puede justificar la diferencia de resultados.

Al confrontar con los resultados obtenidos en Cundinamarca (Pachón, 2004) para los municipios de Soacha y Sibaté (se determinó Cd, Cr, Cu, Mn y Pb) se observa un comportamiento similar en cuanto a proporcionalidad de un metal con respecto de otro; pero a una escala menor de concentración en comparación al presente estudio. Pachón determina la concentración de metales para los tres y cuatro filtros que presentaron mayor concentración de partículas (tres filtros en Sibaté y cuatro en Soacha) entre los años 2001 y 2002.

Puente Aranda posee una de las más importantes zonas industriales de Bogotá en la que es razonable encontrar mayores concentraciones de metales pesados que en municipios como Soacha y Sibaté que también representan zonas de gran actividad industrial pero en menor proporción que la zona en estudio.

Un trabajo realizado en el año 1993 para East Saint Louis en Illinois (Estados Unidos) considerado como zona industrial muestra concentraciones para los metales Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn por el mismo orden de los obtenidos para la localidad de Puente Aranda, lo que demuestra la magnitud industrial de esta zona. Los Promedios de Cr, Cu, Mn, Pb y Zn en el estudio para East Saint Louis se encuentran dentro de los rangos registrados en Puente Aranda. Dos de los metales (Fe y Ni) muestran concentraciones menores a las del presente estudio. El único caso en el que la concentración es mayor es para Cd.

En general se observan concentraciones y proporciones similares en la concentración de los metales de Puente Aranda con respecto de East Saint Louis. Es necesario tener en cuenta que el estudio para esta ciudad estadounidense se realizó en el año 1993 y se debe suponer que con las reglamentaciones de las autoridades ambientales y la legislación de este país las concentraciones de metales se deben haber reducido.

Finalmente se hace una comparación con un estudio realizado en la ciudad de La Plata en Argentina durante nueve meses del año 1993 en donde se determinó la concentración para los mismos metales que los del estudio en Puente Aranda excepto Ag. En La Plata se obtienen rangos de concentraciones menores a los del estudio en La Localidad de Puente Aranda para los metales Pb, Ni, Cd y Cu mientras que para Fe las concentraciones son considerablemente mayores, Cr, Mn y Zn mantienen concordancia en sus resultados. Un aspecto relevante del trabajo en La Plata es que las lecturas de metales se hacen a partir de TSP y no de PM₁₀ con lo cual se podría observar la variabilidad de la relación metal – Tamaño de partícula.

8. ESTIMACION DEL RIESGO A LA SALUD POR METALES PESADOS EN LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA

Se realizó el calculo de dosis de exposición para cada metal y en cada día de muestreo para niños, adultos mujeres y adultos hombres, los cuales representan unas especificaciones propias de peso corporal, estimativo de tiempo de vida y tiempos de exposición, todas de acuerdo a aproximaciones de la realidad actual de la localidad (ver Tabla 40).

A continuación se presentan las variables empleadas:

Tabla 40. Características población de Puente Aranda

POBLACIÓN	CANTIDAD (hAB L.P.A.)	TASA DE INHALACIÓN (M ³ /D) ⁽⁴⁾	Longitud de exposición (H/D) LE	PESO CORPORAL (KG) ⁽⁵⁾	TÍPICA VIDA MEDIA DE LA PERSONA (años) ⁽⁶⁾ TL
Niños	⁽¹⁾ 97.488	15	6	35	N.A.
Adultos mujeres	⁽²⁾ 100.200	21	6	60	76.73
Adultos hombres	⁽³⁾ 84.804	23	6	70	70.03


Fuente:

(1), (2), (3), (6) Según Departamento Administrativo de Planeación Distrital, información para el plan local 2001, para vivir todos del mismo lado.
(4) y (5) Vallerio, 2004

En las tablas 41, 42 y 43 se muestran los consolidados de dosis de exposición para niños, adultos mujeres y adultos hombres. Y más adelante los resultados las dosis de exposición por metal

Tabla 41. Consolidado Dosis De Exposición Niños

FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN NIÑO mg/Kg-d - ESTACIÓN INVIMA								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
24 - X - 05	Lunes	NC	9,14E-09	NC	7,4E-06	1,1E-05	-	4,5E-07	1,61E-06	-
25 - X - 05	Martes	NC	1,48E-07	NC	6,0E-05	1,2E-05	-	1,2E-06	1,13E-04	5,2E-05
26 - X - 05	Miércoles	NC	4,52E-08	NC	6,5E-06	2,3E-05	8,06E-07	1,3E-06	5,60E-05	8,2E-06
27 - X - 05	Jueves	NC	NC	9,63E-08	4,3E-06	1,2E-05	1,76E-07	8,8E-07	1,11E-05	3,0E-06
28 - X - 05	Viernes	NC	1,13E-08	3,98E-08	1,9E-06	5,5E-06	1,92E-07	1,3E-06	1,17E-06	7,0E-07
29 - X - 05	Sábado	NC	NC	9,65E-08	2,2E-06	8,4E-06	3,35E-07	2,0E-06	1,96E-06	2,2E-06
30 - X - 05	Domingo	NC	NC	9,25E-08	8,4E-07	5,9E-06	1,27E-07	1,6E-06	1,10E-06	1,4E-06
31 - X - 05	Lunes	3,4E-06	1,17E-08	1,85E-08	1,4E-06	1,5E-05	4,08E-07	2,7E-06	1,68E-05	3,3E-06
1 - XI - 05	Martes	2,5E-06	NC	1,42E-07	2,1E-06	1,3E-05	6,30E-07	2,9E-06	3,28E-05	2,0E-06
2 - XI - 05	Miércoles	NC	7,82E-09	1,54E-07	1,9E-06	1,1E-05	5,36E-07	4,0E-06	3,48E-06	2,3E-07
3 - XI - 05	Jueves	3,8E-06	NC	NC	1,6E-06	1,3E-05	3,87E-07	4,1E-06	1,49E-05	NC
FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN NIÑO mg/Kg-d - ESTACIÓN MERCED								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
13 - XI - 05	Domingo	3,0E-09	NC	1,67E-08	6,5E-07	4,2E-06	9,74E-08	2,59E-08	9,0E-06	-1,4E-07
14 - XI - 05	Lunes	3,5E-08	NC	NC	1,8E-06	3,5E-05	1,16E-06	1,81E-06	4,2E-06	4,9E-07
15 - XI - 05	Martes	NC	NC	5,44E-06	4,2E-06	7,4E-05	1,43E-05	1,09E-06	1,8E-04	6,0E-06
16 - XI - 05	Miércoles	NC	NC	7,28E-08	2,1E-06	6,9E-05	9,66E-06	1,41E-06	1,4E-05	4,1E-06
17 - XI - 05	Jueves	NC	NC	1,97E-06	1,2E-06	1,8E-05	3,08E-06	1,31E-06	1,9E-05	6,2E-07
18 - XI - 05	Viernes	NC	NC	3,01E-06	8,2E-07	2,9E-05	3,99E-06	1,74E-06	1,6E-06	2,3E-08
19 - XI - 05	Sábado	NC	NC	NC	1,4E-06	8,0E-06	7,82E-07	1,69E-06	2,0E-06	1,8E-06
20 - XI - 05	Domingo	NC	NC	NC	1,7E-06	1,5E-05	1,25E-06	3,05E-06	1,5E-06	8,7E-07
21 - XI - 05	Lunes	1,8E-08	NC	8,49E-08	2,1E-06	2,5E-05	2,58E-06	4,14E-06	2,6E-06	3,7E-06
22 - XI - 05	Martes	9,6E-08	NC	1,63E-05	3,8E-06	7,6E-05	2,94E-05	8,69E-06	2,8E-04	6,9E-06
23 - XI - 05	Miércoles	6,1E-08	NC	7,91E-07	1,6E-06	1,8E-05	3,20E-06	3,62E-06	2,6E-06	3,1E-06
24 - XI - 05	Jueves	7,4E-08	NC	9,64E-06	2,4E-06	7,8E-05	1,20E-05	8,35E-06	2,8E-04	8,1E-06

 Dosis que supera la DRf.

NC: NO CALCULADO

Tabla 42. Consolidado Dosis De Exposición Población De Adultos Mujeres

FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN ADULTO MUJER mg/Kg-d – ESTACIÓN INVIMA								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
24 - X - 05	Lunes	NC	2,67E-13	NC	2,1E-10	3,2E-10	-	1,3E-11	4,71E-11	-
25 - X - 05	Martes	NC	NC	NC	1,8E-09	3,6E-10	-	3,4E-11	3,28E-09	1,5E-09
26 - X - 05	Miércoles	NC	NC	NC	1,9E-10	6,6E-10	2,35E-11	3,9E-11	1,63E-09	2,4E-10
27 - X - 05	Jueves	NC	NC	2,81E-12	1,3E-10	3,6E-10	5,13E-12	2,6E-11	3,24E-10	8,7E-11
28 - X - 05	Viernes	NC	NC	1,16E-12	5,6E-11	1,6E-10	5,60E-12	3,8E-11	3,42E-11	2,0E-11
29 - X - 05	Sábado	NC	NC	2,81E-12	6,3E-11	2,4E-10	9,77E-12	5,9E-11	5,71E-11	6,4E-11
30 - X - 05	Domingo	NC	NC	2,70E-12	2,5E-11	1,7E-10	3,70E-12	4,6E-11	3,21E-11	4,0E-11
31 - X - 05	Lunes	1,00E-10	3,41E-13	5,41E-13	4,2E-11	4,2E-10	1,19E-11	7,8E-11	4,90E-10	9,7E-11
1 - XI - 05	Martes	7,24E-11	NC	4,13E-12	6,0E-11	3,7E-10	1,84E-11	8,3E-11	9,58E-10	5,9E-11
2 - XI - 05	Miércoles	NC	2,28E-13	4,48E-12	5,6E-11	3,3E-10	1,56E-11	1,2E-10	1,01E-10	6,8E-12
3 - XI - 05	Jueves	1,11E-10	NC	NC	4,8E-11	3,9E-10	1,13E-11	1,2E-10	4,33E-10	NC
FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN ADULTO MUJER mg/Kg-d – ESTACIÓN MERCED								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
13 - XI - 05	Domingo	8,87E-14	NC	4,88E-13	1,9E-11	1,22E-10	2,84E-12	7,54E-13	2,6E-10	-4,0E-12
14 - XI - 05	Lunes	1,03E-12	NC	NC	5,4E-11	1,02E-09	3,39E-11	5,29E-11	1,2E-10	1,4E-11
15 - XI - 05	Martes	NC	NC	1,59E-10	1,2E-10	2,16E-09	4,18E-10	3,17E-11	5,3E-09	1,7E-10
16 - XI - 05	Miércoles	NC	NC	2,12E-12	6,2E-11	2,00E-09	2,82E-10	4,11E-11	4,0E-10	1,2E-10
17 - XI - 05	Jueves	NC	NC	5,74E-11	3,6E-11	5,21E-10	8,97E-11	3,82E-11	5,7E-10	1,8E-11
18 - XI - 05	Viernes	NC	NC	8,78E-11	2,4E-11	8,41E-10	1,16E-10	5,09E-11	4,5E-11	6,8E-13
19 - XI - 05	Sábado	NC	NC	NC	4,1E-11	2,34E-10	2,28E-11	4,92E-11	5,9E-11	5,3E-11
20 - XI - 05	Domingo	NC	NC	NC	4,9E-11	4,36E-10	3,64E-11	8,89E-11	4,5E-11	2,5E-11
21 - XI - 05	Lunes	5,30E-13	NC	2,47E-12	6,1E-11	7,19E-10	7,52E-11	1,21E-10	7,7E-11	1,1E-10
22 - XI - 05	Martes	2,80E-12	NC	4,75E-10	1,1E-10	2,22E-09	8,58E-10	2,53E-10	8,1E-09	2,0E-10
23 - XI - 05	Miércoles	1,77E-12	NC	2,31E-11	4,6E-11	5,26E-10	9,34E-11	1,06E-10	7,7E-11	8,9E-11
24 - XI - 05	Jueves	2,17E-12	NC	2,81E-10	7,0E-11	2,29E-09	3,49E-10	2,44E-10	8,3E-09	2,4E-10

NC: NO CALCULADO

Tabla 43. Consolidado Dosis De Exposición Adultos Hombres

FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN ADULTO HOMBRE mg/Kg-d – ESTACIÓN INVIMA								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
24 - X - 05	Lunes	NA	2,74E-13	NA	2,2E-10	3,3E-10	-	1,4E-11	4,84E-11	-
25 - X - 05	Martes	NA	4,45E-12	NA	1,8E-09	3,7E-10	-	3,5E-11	3,38E-09	1,6E-09
26 - X - 05	Miércoles	NA	1,35E-12	NA	1,9E-10	6,8E-10	2,42E-11	4,0E-11	1,68E-09	2,5E-10
27 - X - 05	Jueves	NA	NA	2,89E-12	1,3E-10	3,7E-10	5,27E-12	2,6E-11	3,33E-10	8,9E-11
28 - X - 05	Viernes	NA	3,38E-13	1,19E-12	5,7E-11	1,7E-10	5,76E-12	4,0E-11	3,52E-11	2,1E-11
29 - X - 05	Sábado	NA	NA	2,89E-12	6,5E-11	2,5E-10	1,00E-11	6,1E-11	5,88E-11	6,6E-11
30 - X - 05	Domingo	NA	NA	2,77E-12	2,5E-11	1,8E-10	3,81E-12	4,7E-11	3,30E-11	4,1E-11
31 - X - 05	Lunes	1,03E-10	3,51E-13	5,56E-13	4,3E-11	4,4E-10	1,22E-11	8,0E-11	5,04E-10	1,0E-10
1 - XI - 05	Martes	7,45E-11	NA	4,25E-12	6,2E-11	3,8E-10	1,89E-11	8,6E-11	9,85E-10	6,1E-11
2 - XI - 05	Miércoles	NA	2,35E-13	4,61E-12	5,8E-11	3,4E-10	1,61E-11	1,2E-10	1,04E-10	7,0E-12
3 - XI - 05	Jueves	1,14E-10	NC	NC	4,9E-11	4,0E-10	1,16E-11	1,2E-10	4,45E-10	NC
FECHA MUESTREO	DÍA	DOSIS DE EXPOSICIÓN ADULTO HOMBRE mg/Kg-d – ESTACIÓN MERCED								
		METAL PESADO								
		Ag	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
13 - XI - 05	Domingo	9,13E-14	NC	5,02E-13	1,9E-11	1,25E-10	2,92E-12	7,76E-13	2,7E-10	-4,2E-12
14 - XI - 05	Lunes	1,06E-12	NC	NC	5,5E-11	1,05E-09	3,49E-11	5,44E-11	1,3E-10	1,5E-11
15 - XI - 05	Martes	NC	NC	1,63E-10	1,3E-10	2,22E-09	4,30E-10	3,26E-11	5,5E-09	1,8E-10
16 - XI - 05	Miércoles	NC	NC	2,18E-12	6,3E-11	2,06E-09	2,90E-10	4,22E-11	4,1E-10	1,2E-10
17 - XI - 05	Jueves	NC	NC	5,91E-11	3,7E-11	5,36E-10	9,23E-11	3,93E-11	5,8E-10	1,9E-11
18 - XI - 05	Viernes	NC	NC	9,04E-11	2,5E-11	8,65E-10	1,20E-10	5,23E-11	4,7E-11	7,0E-13
19 - XI - 05	Sábado	NC	NC	NC	4,2E-11	2,40E-10	2,34E-11	5,06E-11	6,0E-11	5,5E-11
20 - XI - 05	Domingo	NC	NC	NC	5,1E-11	4,49E-10	3,74E-11	9,15E-11	4,6E-11	2,6E-11
21 - XI - 05	Lunes	5,45E-13	NC	2,55E-12	6,3E-11	7,39E-10	7,73E-11	1,24E-10	7,9E-11	1,1E-10
22 - XI - 05	Martes	2,88E-12	NC	4,88E-10	1,2E-10	2,29E-09	8,83E-10	2,60E-10	8,4E-09	2,1E-10
23 - XI - 05	Miércoles	1,83E-12	NC	2,37E-11	4,7E-11	5,41E-10	9,61E-11	1,09E-10	7,9E-11	9,2E-11
24 - XI - 05	Jueves	2,23E-12	NC	2,89E-10	7,2E-11	2,35E-09	3,59E-10	2,50E-10	8,5E-09	2,4E-10

NC: NO CALCULADO

8.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR METAL

Al estimar las dosis de exposición para cada metal se observaron que los valores más altos se encontraron en la población de niños, seguida de adultos hombres y finalmente adultos mujeres, las cuales conservan una misma tendencia. Hallando los siguientes resultados:

8.1.1 Dosis Por Ag

De la estación invima se registran tres dosis de exposición, ya que los días restantes presentaron valores de concentración de plata inferiores al límite de detección (ILD). La dosis de exposición más alta, de $3.8\text{E-}06$ mg/kg-d en niños, $1.14\text{E-}10$ mg/Kg-d en adultos hombres y $1.11\text{E-}10$ mg/Kg-d en adultos mujeres, se presentó el día 3 de octubre (ver figuras 49 y 50). EPA no ha establecido una dosis de referencia para Plata, con la cual se lograra relacionar esta dosis de este metal del estudio.

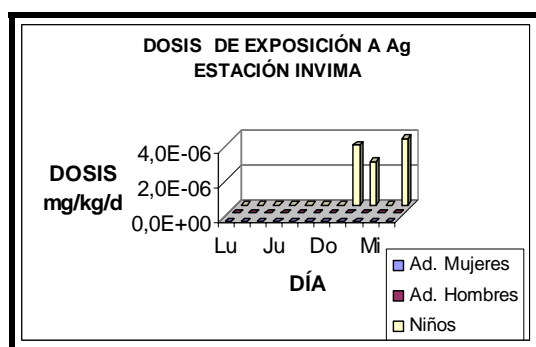


Figura 49. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

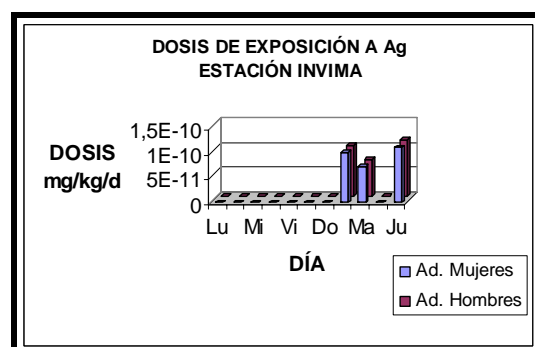


Figura 50. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED presenta seis dosis, ya que los días restantes presentaron valores de concentración de plata inferiores al límite de detección (ILD), la dosis más alta se encontró en la población de niños, $9.6\text{E-}08$ mg/Kg-d, seguida de $2.88\text{E-}12$ mg/Kg-d en los adultos hombre y $2.80\text{E-}12$ mg/Kg-d en los adultos mujeres, el día 22 de Noviembre (ver figuras 51 y 52).

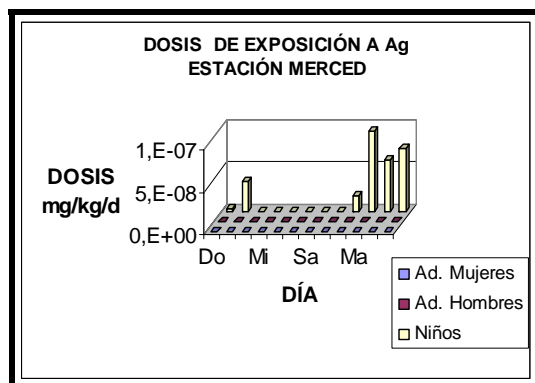


Figura 51. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

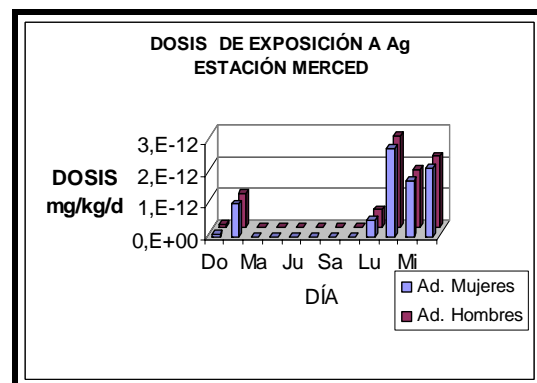


Figura 52. Dosis de exposición a Ag ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.2 Dosis Por Cd

La estación Invima presenta seis valores de dosis de exposición ya que los días restantes la concentración de Cadmio es inferior al límite de detección (ILD), la dosis de exposición más alta se registra en niños con $1.48E-07$ mg/Kg-d, seguida por los adultos hombres con $4.45E-12$ mg/Kg-d y $4.33E-12$ mg/kg-d por los adultos mujeres, el día 25 de Octubre. (ver figuras 53 y 54) EPA no ha establecido una dosis de referencia para Cadmio, con la cual se pueda relacionar esta dosis de este metal del estudio.

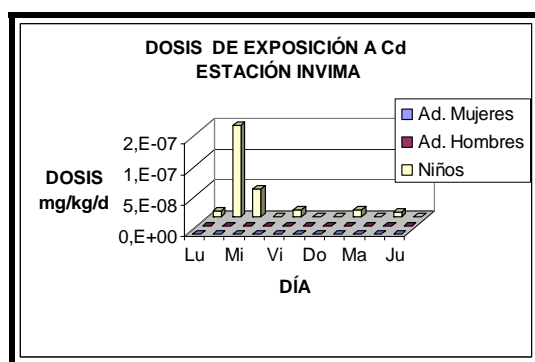


Figura 53. Dosis de exposición a Cd ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

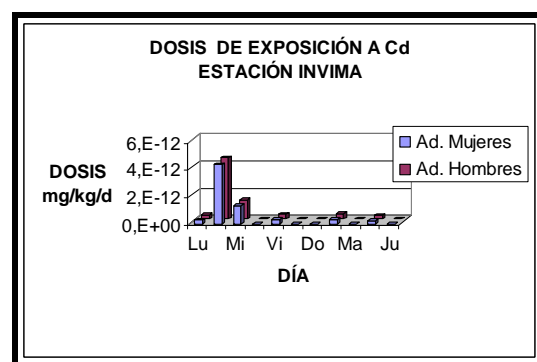


Figura 54. Dosis de exposición a Cd ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED no presenta ninguna dosis por Cd ya que las concentraciones del metal fueron inferiores al límite de detección (ILD).

8.1.3 Dosis Por Cr

La estación INVIMA presenta siete valores de dosis de exposición, ya que los restantes fueron los días en que la concentración de Cr fue inferior al límite de detección (ILD), la dosis de exposición más alta se registro en los niños con $1.54\text{E-}07$ mg/Kg-d, seguida de $4.61\text{E-}12$ mg/Kg-d por los adultos hombres y $4.48\text{E-}12$ mg/Kg-d por los adultos mujeres, el día 2 de noviembre (ver figuras 55 y 56). EPA ha establecido una concentración de referencia para el Cr de 0.0001 mg/m³, a partir de esta se estimo la dosis de referencia para niños de $4.29\text{E-}05$ mg/kg-d, para adultos mujeres de $3.50\text{E-}05$ y para los adultos hombres de $3.29\text{E-}05$, las cuales no son superadas en las dosis de exposición de esta estación.

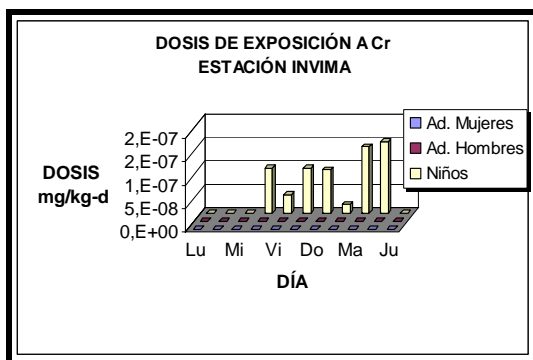


Figura 55. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

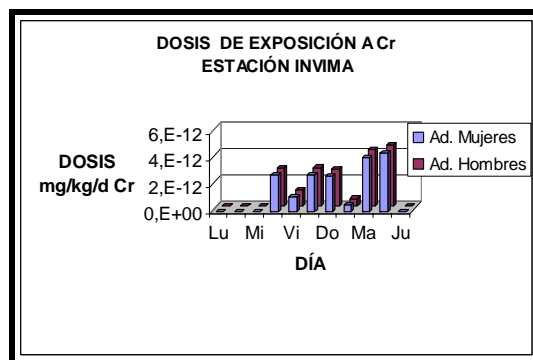


Figura 56. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombre

Las nueve dosis de exposición a Cr, ya que las restantes son días en que las concentraciones del metal son inferiores al límite de detección (ILD), la dosis de exposición más alta registrada por la población de niños es de $1.63\text{E-}05$ mg/Kg-d, estación La MERCED presenta seguida de $4.88\text{E-}10$ mg/Kg-d por los adultos hombres y $4.75\text{E-}10$ mg/Kg-d por los adultos mujeres (ver figuras 57 y 58) el día 22 de Noviembre. La dosis de referencia en esta estación no es superada por las dosis de exposición estimadas para Cr.

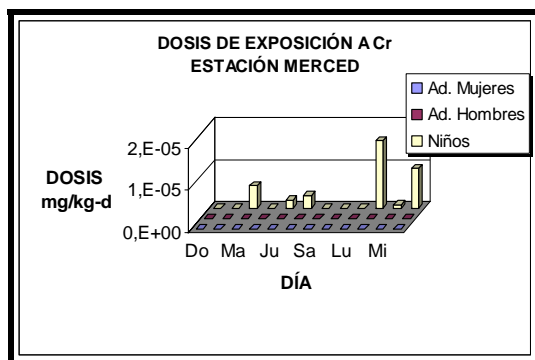


Figura 57. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

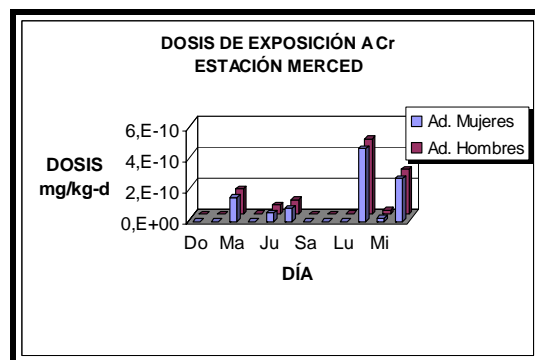


Figura 58. Dosis de exposición a Cr ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.4 Dosis Por Cu

La dosis de exposición mas alta fue de $6.0E-05$ mg/Kg-d en los niños, seguida de $1.80E-09$ mg/Kg-d por los adultos hombres y $1.75E-09$ mg/Kg-d por los adultos mujeres (ver figura 59 y 60) el día 25 de Octubre. EPA no ha establecido una dosis de referencia (DRf) para Cobre con la cual se pueda relacionar los datos obtenidos del metal del estudio.

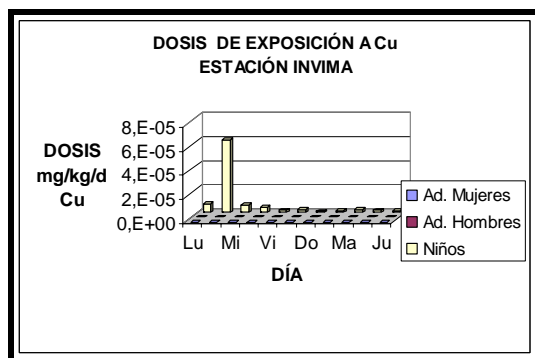


Figura 59. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

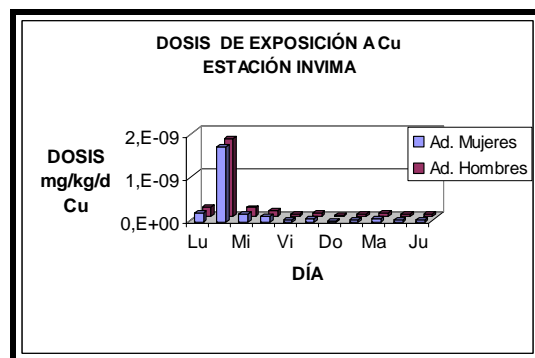


Figura 60. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED presenta como más alta dosis de exposición a Cu para los niños de $4.2E-06$ mg/Kg-d, seguida de $1.3E-10$ mg/Kg-d por los adultos hombres y $1.2E-10$ mg/Kg-d por los adultos mujeres (ver figuras 61 y 62), otro pico importante es de $3.8E-06$ mg/Kg-d para los niños, $1.2E-10$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $1.1E-10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres,

el día 22 de Noviembre. Se observa la tendencia clara en que los picos son días laborales (día martes y miércoles) y las dosis de exposición son más bajas en el fin de semana (día sábado y domingo).

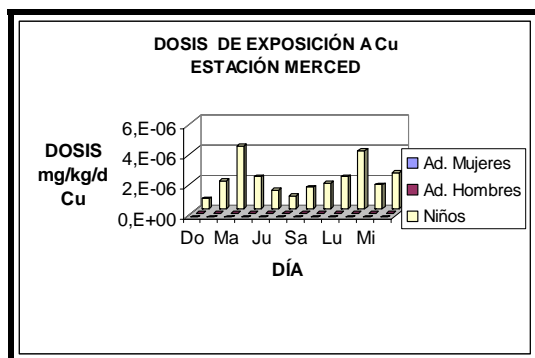


Figura 61. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

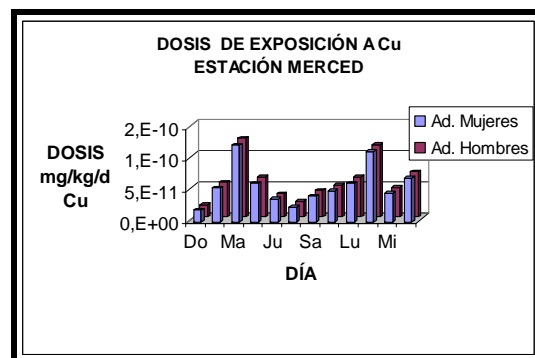


Figura 62. Dosis de exposición a Cu ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.5 Dosis Para Fe

La dosis más alta presentada fue de 2.3×10^{-5} mg/Kg-d para los niños, luego con 6.8×10^{-10} mg/Kg-d para los adultos hombres y 6.6×10^{-10} mg/Kg-d para los adultos mujeres (ver figuras 63 y 64). EPA no ha establecido una dosis de referencia (DRf) para el Fe con la cual se logre comparar los resultados del metal de estudio.

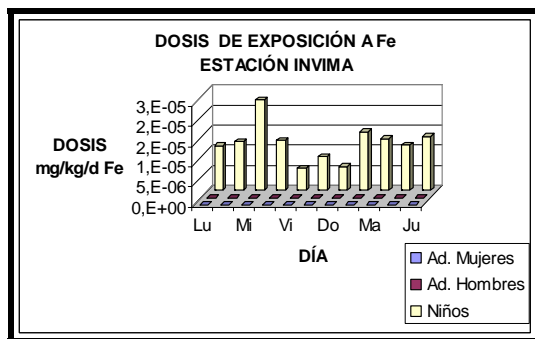


Figura 63. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

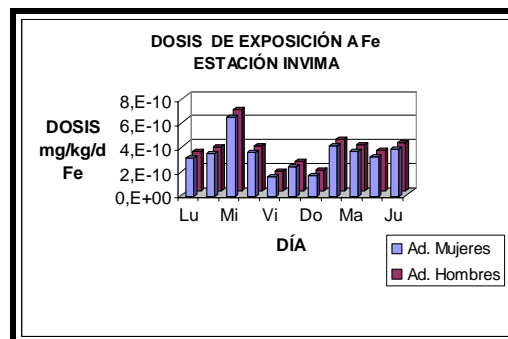


Figura 64. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

Se registra como dosis más alta $7.8E-05$ mg/Kg-d para los niños, $2.35E-09$ mg/Kg-d para adultos hombres y $2.29E-09$ por adultos mujeres, (ver figuras 65 y 66) el día 24 de Noviembre. Otro pico significativo es las dosis de $7.4E-05$ mg/Kg-d para niños, seguida de $2.22E-09$ mg/Kg-d para adultos hombres y $2.16E-09$ mg/Kg-d para los adultos mujeres, el día 15 de Noviembre, cabe destacar que estos picos se presentan en días laborales (martes y jueves) y las menores dosis de exposición son los fines de semana (día sábado y domingo).

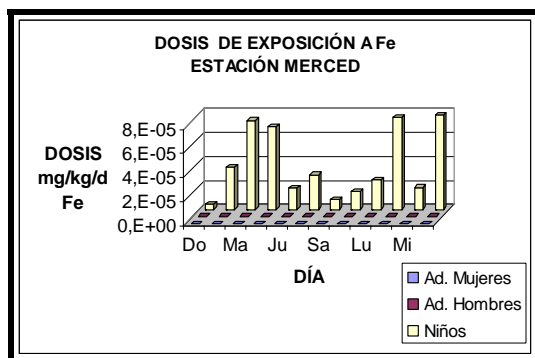


Figura 65. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

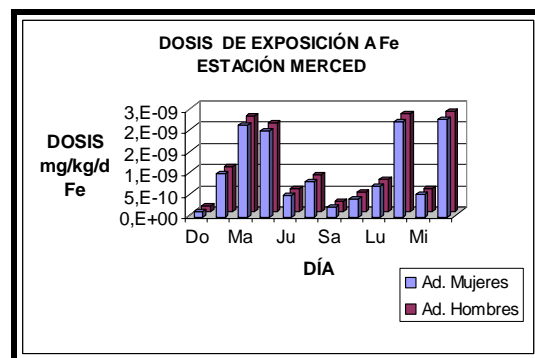


Figura 66. Dosis de exposición a Fe ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.6 Dosis Por Mn

En la estación INVIMA la dosis de exposición más alta de Mn que se registra es de $8.06E-07$ mg/Kg-d para los niños, luego con $2.42E-11$ mg/Kg-d por los adultos hombres y $2.35E-11$ mg/Kg-d por los adultos mujeres, (ver figuras 67 y 68) el día 26 de Octubre. Otro pico significativo es el de $6.30E-07$ mg/Kg-d para los niños, $1.89E-11$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $1.84E-11$ mg/Kg-d para los adultos mujeres, el día 1 de Noviembre. Se observa que los picos son en días laborales (miércoles y martes). Las menores dosis de exposición se presentan el fin de semana (día domingo).

EPA estableció como Concentración Crónica de Referencia por Inhalación (CRf) para el Mn de $5.0E-05$ mg/m³ basado en el debilitamiento de la función neurovegetativa en seres humanos. A partir de esta se estimo la dosis de

referencia (DRf) para niños de $2.14\text{E-}05$ mg/kg-d, para los adultos mujeres de $1.75\text{E-}05$ mg/kg-d y para los adultos hombres de $1.64\text{E-}05$ mg/kg-d, encontrando que esta no es superada por las dosis de exposición estimadas en esta estación.

Los días 24 y 25 de Octubre no se presenta dosis para Mn, ya que estas muestras se dañaron durante la práctica en laboratorio para su análisis.

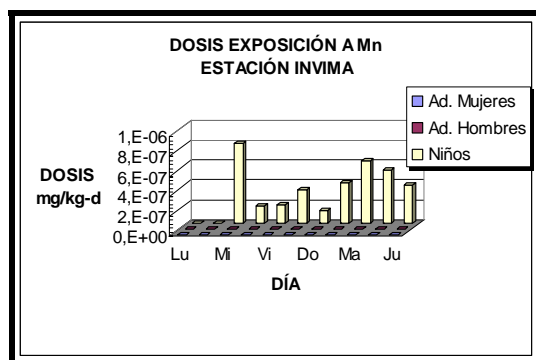


Figura 67. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

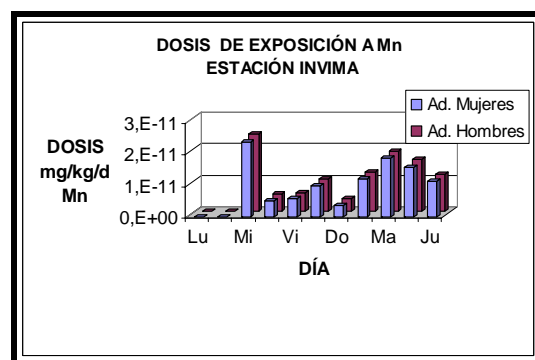


Figura 68. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED presenta como dosis de exposición más alta $2.94\text{E-}05$ mg/Kg-d para los niños, a continuación se encuentra $8.83\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos hombre y $8.58\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres (ver figuras 69 y 70), el día 22 de Noviembre. La siguiente dosis de exposición significativa fue de $1.43\text{E-}05$ mg/Kg-d para los niños, $4.30\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $4.18\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres, el día 15 de Noviembre. Los picos se presentan en días laborales (días martes), las dosis mas bajas se presentan los días de fin de semana (sábado y domingo). Al observar la dosis de referencia estimada para cromo, esta es superada por la dosis de exposición del día 22 de Noviembre por la población de niños.

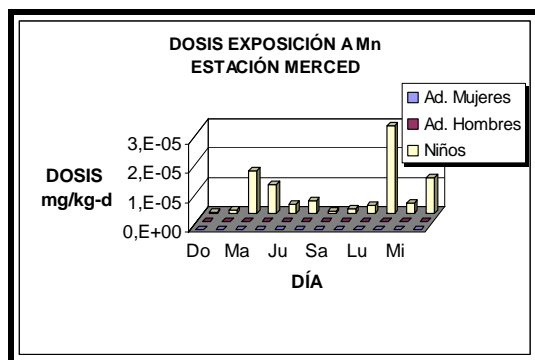


Figura 69. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

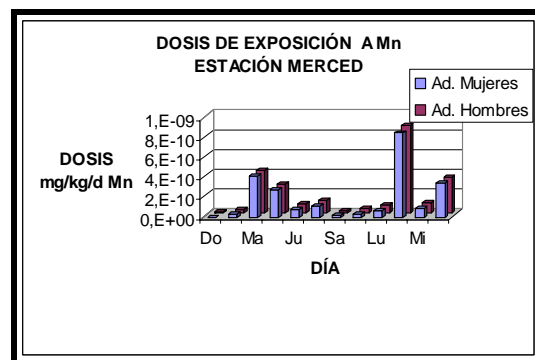


Figura 70. Dosis de exposición a Mn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.7 Dosis Por Ni

La dosis de exposición más alta por Ni fue de $4.13\text{E}-06$ mg/Kg-d para los niños, a la que le continua $1.24\text{E}-10$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $1.21\text{E}-10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres (ver Figuras 71 y 72), el día 3 de Noviembre. Se puede observar que la tendencia de las dosis de exposición en esta estación es ascendente iniciando desde el primer día del muestreo llegando al pico máximo el último día del muestreo en un día laboral (jueves).

EPA ha establecido una concentración de referencia (CRf) para al Ni de $5\text{E}-05$ mg/m³, de la cual se estimo la dosis de referencia para niños de $2.14\text{E}-05$ mg/kg-d, para los adultos mujeres de $1.75\text{E}-05$ mg/kg-d y para los adultos hombres de $1.64\text{E}-05$ mg/kg-d. las cuales no son superadas por las dosis de exposición estimadas en esta estación del estudio.

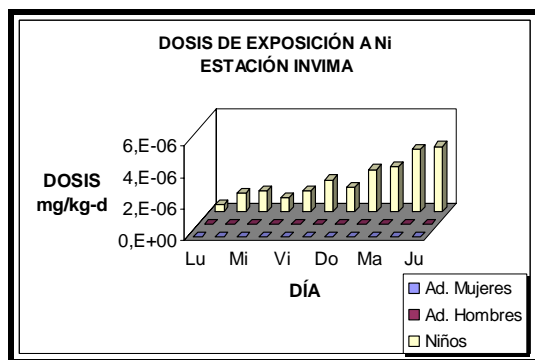


Figura 71. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

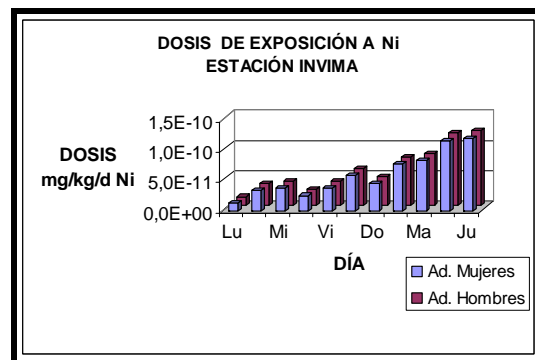


Figura 72. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED presenta dos picos significativos, la dosis de exposición mayor es de $4.69\text{E-}06$ mg/Kg-d para los niños, seguida de $2.60\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $2.53\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres (ver Figuras 73 y 74), el día 22 de Noviembre. El otro pico significativo es de $8.35\text{E-}06$ mg/Kg-d para los niños, $2.50\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $2.44\text{E-}10$ mg/Kg-d para los adultos mujeres, el día 24 de Noviembre. Estos picos se encuentran entre los días laborales (martes y jueves) guardando la misma tendencia ascendente desde el primer día del muestreo hasta el ultimo día del muestreo de la estación. Según las dosis de referencia (DRf) para Ni, no son superadas por las dosis de exposición calculadas en la estación.

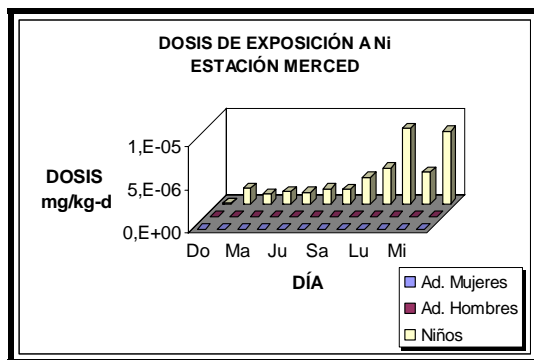


Figura 73. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

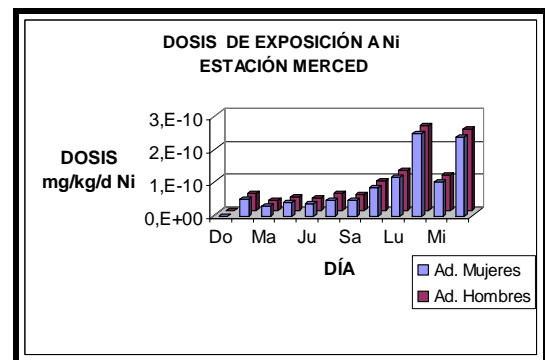


Figura 74. Dosis de exposición a Ni ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.18 Dosis Por Pb

La dosis de exposición más alta por Pb en la estación INVIMA es de $1.13\text{E-}04$ mg/Kg-d para los niños, luego se encuentra $338\text{E-}09$ mg/Kg-d para los adultos hombres y $3.28\text{E-}09$ mg/Kg-d para los adultos mujeres (ver figuras 75 y 76), el día 15 de Octubre. EPA estableció una dosis de referencia (DRf) para Pb de $1.0\text{E-}07$ mg/Kg-d basado en efectos en el hígado de ratas, valor el cual es superado en las dosis de exposición halladas en la población de los niños en todos los días del muestreo en esta estación.

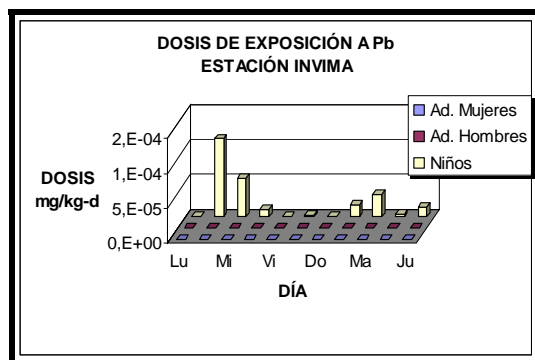


Figura 75. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

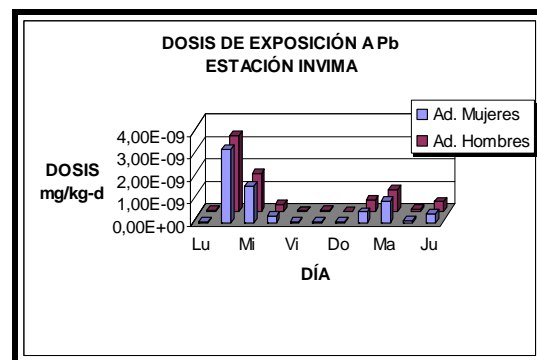


Figura 76. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación LA MERCED presenta como dosis de exposición más alta en Pb 2.84E-04 mg/Kg-d en niños, seguida de 8.53E-09mg/Kg-d en adultos hombres y 8.29E-09 mg/Kg-d en adultos mujeres (ver figuras 77 y 78), el día 24 de Noviembre. Otros picos significativos son de 2.79E-04 mg/Kg-d en niños, 8.36E-09 mg/Kg-d en adultos hombres y 8.13E-09 mg/Kg-d en adultos mujeres, el día 22 de Noviembre, y de 1.82E-06 mg/Kg-d en niños, 5.46E-09 mg/Kg-d en adultos hombres y 5.30E-09 mg/Kg-d en adultos mujeres, el día 15 de Noviembre. Estas dosis de exposición más significativas se presentan en días laborales (martes y jueves). Las dosis de exposición a Pb registradas superan la dosis de referencia establecida por la EPA, para la población de los niños todos lo días de muestreo en esta estación.

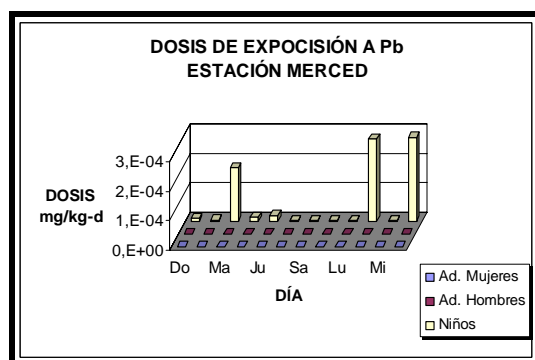


Figura 77. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

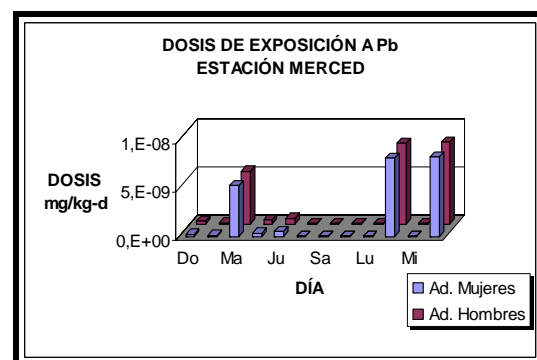


Figura 78. Dosis de exposición a Pb ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.1.9 Dosis Por Zn

La dosis más alta por Zn fue de 5.2×10^{-5} mg/Kg-d en niños, luego encontrando 1.6×10^{-6} mg/Kg-d en adultos hombres y 1.5×10^{-9} mg/Kg-d en adultos mujeres (ver figuras 79 y 80), el día 25 de Octubre. EPA no ha establecido una dosis de referencia (DRf) para Zn, para relacionar con las dosis de exposición del estudio.

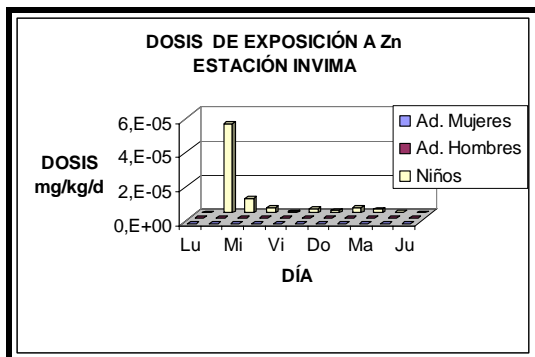


Figura 79. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN INVIMA para mujeres, hombres y niños

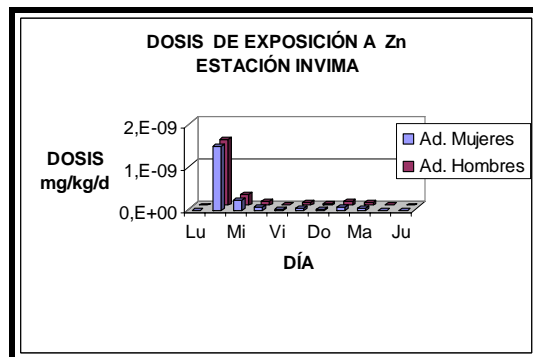


Figura 80. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN INVIMA para mujeres y hombres

La estación La MERCED presenta como dosis de exposición más alta 8.06×10^{-6} mg/Kg-d en niños, luego le sigue 2.5×10^{-10} mg/Kg-d en adultos hombres y 2.42×10^{-10} mg/Kg-d en adultos mujeres (ver figuras 81 y 82), el día 24 de noviembre. Otro pico significativo es de 1.6×10^{-6} mg/kg-d para los niños, 1.8×10^{-10} para los adultos hombres y 1.75×10^{-10} para los adultos mujeres, el día 15 de Noviembre. Estos picos se presentan en días laborales (martes y jueves).

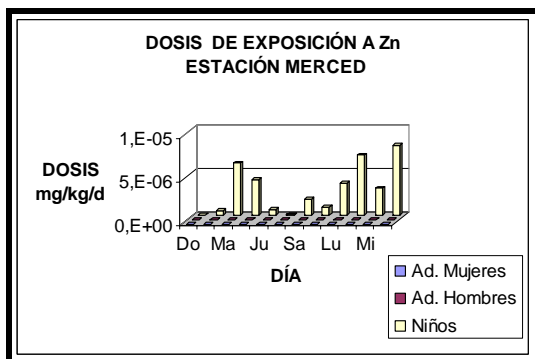


Figura 81. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres, hombres y niños

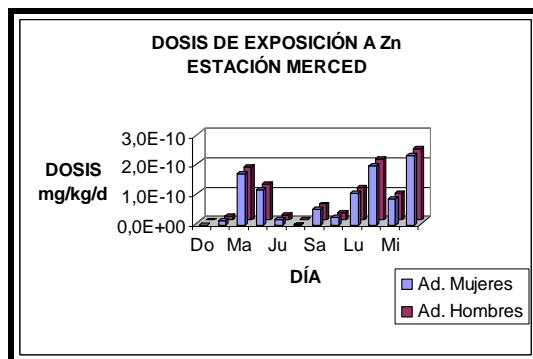


Figura 82. Dosis de exposición a Zn ESTACIÓN LA MERCED para mujeres y hombres

8.2 RESULTADOS INDICE DE PELIGROSIDAD

A partir de las concentraciones de referencia (CRf) y las dosis de referencia (DRf) establecidas por la EPA o estimadas a partir de las concentraciones de referencia (ver tabla 44) y las dosis de exposición para cada metal pesado se estimo el Índice de Peligrosidad (IP), encontrando los siguientes valores (ver tablas 45, 46, 47 y 48):

Tabla 44. Concentraciones y dosis de referencia para sustancias tóxicas

Metal	CRf (mg/m ³)	DRf (mg/kg-d)	
Cromo	1.0E-04 (1)	Niños	4,29E-05
		Ad. Mujeres	3,50E-05
		Ad. Hombres	3,29E-05
Manganeso	5.0E-05 (2)	Niños	2,14E-05
		Ad. Mujeres	1,75E-05
		Ad. Hombres	1,64E-05
Níquel	5.0E-05 (3)	Niños	2,14E-05
		Ad. Mujeres	1,75E-05
		Ad. Hombres	1,64E-05
Plomo		1.0E-07 (4)	

Fuentes:

(1) EPA – Air toxics website – Chromium compounds

<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/chromium.html>

(2) EPA – Air toxics website – Manganese compounds

<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/manganese.html>

(3) EPA – Air toxics website – Nickel compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/nickel.html>

(4) EPA – Air toxics website – Lead compounds <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/lead.html#ref6>

Tabla 45. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN INVIMA para Cr VI y Mn

INDICE DE PELIGROSIDAD – ESTACIÓN INVIMA							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cr VI			Mn		
		Niño	Adulto mujer	Adulto hombre	Niño	Adulto mujer	Adulto hombre
24 - X - 05	Lunes	NC	NC	NC	-	-	-
25 - X - 05	Martes	NC	NC	NC	-	-	-
26 - X - 05	Miércoles	NC	NC	NC	0,04	1,3E-06	1,5E-06
27 - X - 05	Jueves	2,2E-03	8,02E-08	8,79E-08	8,2E-03	2,9E-07	3,2E-07
28 - X - 05	Viernes	9,3E-04	3,32E-08	3,63E-08	9,0E-03	3,2E-07	3,5E-07
29 - X - 05	Sábado	2,3E-03	8,04E-08	8,81E-08	0,02	5,6E-07	6,1E-07
30 - X - 05	Domingo	2,2E-03	7,70E-08	8,44E-08	5,9E-03	2,1E-07	2,3E-07
31 - X - 05	Lunes	4,3E-04	1,55E-08	1,69E-08	0,02	6,8E-07	7,4E-07
1 - XI - 05	Martes	3,3E-03	1,18E-07	1,29E-07	0,03	1,0E-06	1,2E-06
2 - XI - 05	Miércoles	3,6E-03	1,28E-07	1,40E-07	0,03	8,9E-07	9,8E-07
3 - XI - 05	Jueves	NC	NC	NC	0,02	6,4E-07	7,1E-07

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 46. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN LA MERCED para Cr VI y Mn

INDICE DE PELIGROSIDAD – ESTACIÓN MERCED							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cr VI			Mn		
		Niño	Adulto mujer	Adulto hombre	Niño	Adulto mujer	Adulto hombre
13 - XI - 05	Domingo	3,9E-04	1,39E-08	1,53E-08	4,5E-03	1,6E-07	1,8E-07
14 - XI - 05	Lunes	NC	NC	NC	0,05	1,9E-06	2,1E-06
15 - XI - 05	Martes	0,13	4,53E-06	4,96E-06	0,67	2,4E-05	2,6E-05
16 - XI - 05	Miércoles	1,7E-03	6,07E-08	6,65E-08	0,45	1,6E-05	1,8E-05
17 - XI - 05	Jueves	0,05	1,64E-06	1,80E-06	0,14	5,1E-06	5,6E-06
18 - XI - 05	Viernes	0,07	2,51E-06	2,75E-06	0,19	6,6E-06	7,3E-06
19 - XI - 05	Sábado	NC	NC	NC	0,04	1,3E-06	1,4E-06
20 - XI - 05	Domingo	NC	NC	NC	0,06	2,1E-06	2,3E-06
21 - XI - 05	Lunes	2,0E-03	7,07E-08	7,75E-08	0,12	4,3E-06	4,7E-06
22 - XI - 05	Martes	0,38	1,36E-05	1,49E-05	1,37	4,9E-05	5,4E-05
23 - XI - 05	Miércoles	0,02	6,59E-07	7,22E-07	0,15	5,3E-06	5,8E-06
24 - XI - 05	Jueves	0,22	8,03E-06	8,80E-06	0,56	2,0E-05	2,2E-05

IP >1

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 47. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN INVIMA para Ni y Pb

INDICE DE PELIGROSIDAD – ESTACIÓN INVIMA							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Ni			Pb		
		Niño	Adulto mujer	Adulto hombre	Niño	Adulto mujer	Adulto hombre
24 - X - 05	Lunes	0,02	7,51E-07	8,23E-07	16,1	4,7E-04	4,8E-04
25 - X - 05	Martes	0,05	1,95E-06	2,14E-06	1126,0	0,03	3,4E-02
26 - X - 05	Miércoles	0,06	2,21E-06	2,42E-06	560,3	0,02	1,7E-02
27 - X - 05	Jueves	0,04	1,46E-06	1,60E-06	111,1	3,2E-03	3,3E-03
28 - X - 05	Viernes	0,06	2,20E-06	2,41E-06	11,7	3,4E-04	3,5E-04
29 - X - 05	Sábado	0,09	3,38E-06	3,70E-06	19,6	5,7E-04	5,9E-04
30 - X - 05	Domingo	0,07	2,62E-06	2,87E-06	11,0	3,2E-04	3,3E-04
31 - X - 05	Lunes	0,12	4,45E-06	4,88E-06	168,0	4,9E-03	5,0E-03
1 - XI - 05	Martes	0,13	4,75E-06	5,21E-06	328,4	9,6E-03	9,9E-03
2 - XI - 05	Miércoles	0,19	6,62E-06	7,26E-06	34,8	1,0E-03	1,0E-03
3 - XI - 05	Jueves	0,19	6,89E-06	7,55E-06	148,5	4,3E-03	4,5E-03

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 48. Consolidado índices de peligrosidad ESTACIÓN LA MERCED para Ni y Pb

INDICE DE PELIGROSIDAD –ESTACIÓN MERCED							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Ni			Pb		
		Niño	Adulto mujer	Adulto hombre	Niño	Adulto mujer	Adulto hombre
13 - XI - 05	Domingo	0,001	4,31E-08	4,72E-08	90,5	2,6E-03	2,7E-03
14 - XI - 05	Lunes	0,08	3,02E-06	3,31E-06	42,4	1,2E-03	1,3E-03
15 - XI - 05	Martes	0,05	1,81E-06	1,99E-06	1818,9	0,1	0,1
16 - XI - 05	Miércoles	0,07	2,35E-06	2,57E-06	135,6	4,0E-03	4,1E-03
17 - XI - 05	Jueves	0,06	2,18E-06	2,39E-06	194,8	5,7E-03	5,8E-03
18 - XI - 05	Viernes	0,08	2,91E-06	3,19E-06	15,5	4,5E-04	4,7E-04
19 - XI - 05	Sábado	0,08	2,81E-06	3,08E-06	20,1	5,9E-04	6,0E-04
20 - XI - 05	Domingo	0,14	5,08E-06	5,57E-06	15,3	4,5E-04	4,6E-04
21 - XI - 05	Lunes	0,19	6,90E-06	7,56E-06	26,3	7,7E-04	7,9E-04
22 - XI - 05	Martes	0,41	1,45E-05	1,59E-05	2787,3	0,1	0,1
23 - XI - 05	Miércoles	0,17	6,04E-06	6,62E-06	26,3	7,7E-04	7,9E-04
24 - XI - 05	Jueves	0,39	1,39E-05	1,52E-05	2842,4	0,1	0,1

IP >1

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Las dosis de exposición del estudio que superaron la dosis de referencia (DRf) fueron Pb en la estación INVIMA y Mn y Pb en la estación LA MERCED, los cuales presentan un Índice de Peligrosidad (IP) mayor a 1, siendo muy significativos, ya que la exposición a estas dosis representan un aumento en el riesgo a presentar efectos adversos en la salud de la población local.

El Cromo VI en la estación INVIMA y LA MERCED presenta un $IP < 1$ todos los días del muestreo, dando un nivel de seguridad a partir de las concentraciones encontradas, de no presentar un riesgo a la salud de la población (ver figuras 83 y 84). En la estación INVIMA se encontró el IP más alto el día 2 de Noviembre con $3.6E-03$ y en la estación LA MERCED se observó un IP de 0.38 en la población de niños, el día 22 de Noviembre para la estación en estudio.

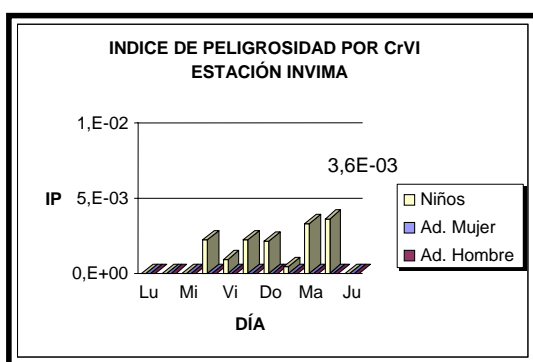
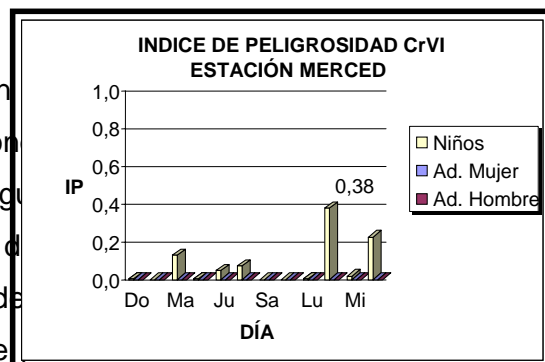


Figura 83. Índice de peligrosidad por Cr VI ESTACIÓN INVIMA

Figura 84. Índice de peligrosidad por Cr VI ESTACIÓN LA MERCED



En la estación INVIMA para Mn los IP son de seguridad a partir de las concentraciones encontradas, de no presentar un riesgo a la salud de la población (ver figura 85). En la estación INVIMA se presentó el IP más alto de 0.04 el día 26 de Noviembre. En la estación de LA MERCED el día 22 de Noviembre se presentó un IP de 1.4 cual se le atribuye una posibilidad de efectos adversos en la salud de la población de niños expuesta a una dosis de Mn como la que se presentó en este día (ver figura 86).

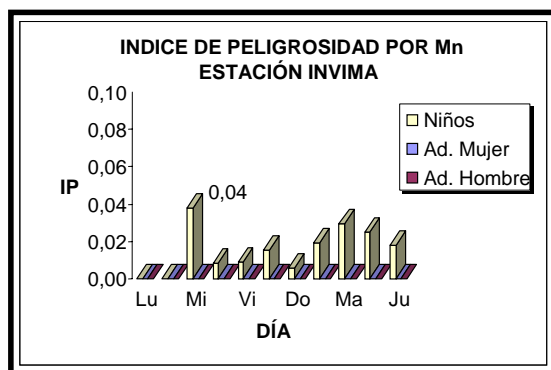


Figura 85. Índice de peligrosidad por Mn ESTACIÓN INVIMA

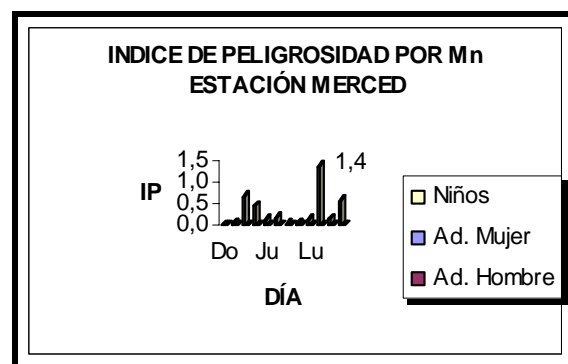


Figura 86. Índice de peligrosidad por Mn ESTACIÓN LA MERCED

En Níquel para la estación INVIMA y LA MERCED se presenta un $IP < 1$ todos los días del muestreo, dando un nivel de seguridad a partir de las concentraciones encontradas, de no presentar un riesgo en la salud de la población (ver figuras 87 Y 88). En la estación INVIMA se encontró como IP más alto, el día 3 de Noviembre con 0.2 y en la estación LA MERCED el IP es de 0.4 el día 22 de Noviembre para la población de niños.

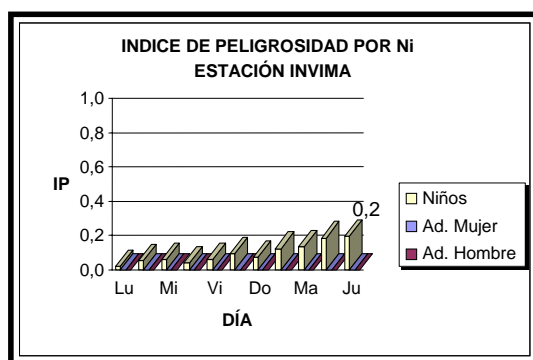
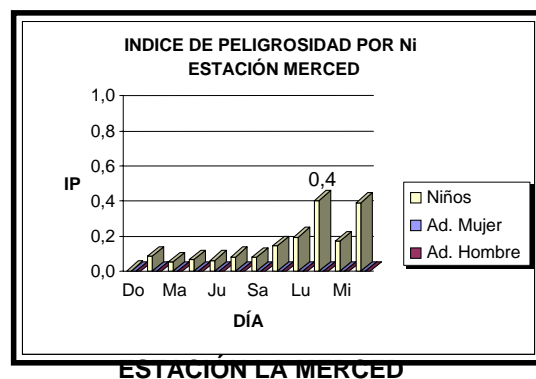


Figura 87. Índice de peligrosidad por Ni ESTACIÓN INVIMA



El Pb en la estación INVIMA presenta un $IP > 1$ todos los días de muestreo, del 24 de Octubre al 3 de Noviembre, (ver figura 89) para la población de niños. El IP más alto fue de 1126 el día 25 de Octubre, por lo cual la población de niños expuestos a una concentración como la que se encontró en ese día se le atribuye una gran posibilidad de presentar efectos adversos en la salud. El menor IP de 15.3 el día 30 de noviembre, muestra que existe una considerable posibilidad de presentar efectos adversos en la salud de los niños.

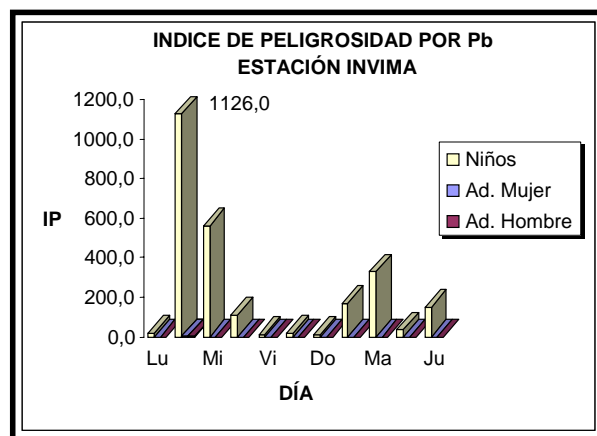


Figura 89. Índice de peligrosidad por Pb ESTACIÓN INVIMA

El Pb en la estación LA MERCED presenta un $IP > 1$ todos los días de muestreo, del 13 al 24 de Noviembre, (ver figura 90) para la población de niños. El IP más alto fue de 2842,4 el día 24 de Noviembre, por lo cual la población de niños expuestos a una concentración como la hallada en ese día, se le atribuye una posibilidad muy alta de presentar efectos adversos a la salud. El menor IP de 15,3 el día 20 de Noviembre, indica que existe un aumento en la posibilidad para la población de niños de presentar efectos adversos en la salud.

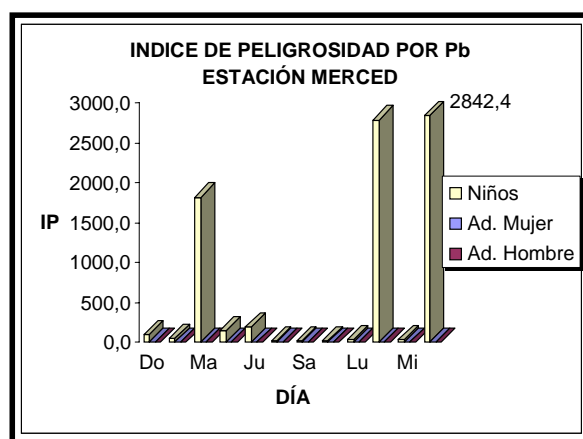


Figura 90. Índice de peligrosidad por Pb ESTACIÓN LA MERCED

8.3 RESULTADOS RIESGO POBLACIONAL

EPA ha establecido para determinadas sustancias una unidad de riesgo (UR), en el caso de los metales pesados del estudio hay UR para Cadmio, Cromo y Níquel, a partir de las cuales se halló el Factor de Potencial Carcinogénico (ver tabla 49), para posteriormente estimar el riesgo individual y poblacional (ver tabla 50), encontrando:

Tabla 49. Unidades de riesgo, Factores de potencia carcinogénica

METAL	UR (MG/M³)³⁹	FPC NIÑOS (MG/KG-D)	FPC AD. MUJERES (MG/KG-D)	FPC AD. HOMBRES (MG/KG-D)
Cd	1.8	4.2	5,143	5,478
Cr	12	28	34,28	36,52
Ni	0.24	0.56	0.68	0.73

Fuente: Los Autores

Tabla 50. Riesgo en la población niños ESTACIÓN INVIMA

RIESGO POBLACIÓN NIÑOS – ESTACIÓN INVIMA							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
24 - X - 05	Lunes	4,E-08	4,E-03	NC	NC	3,E-07	0,02
25 - X - 05	Martes	6,E-07	0,06	NC	NC	7,E-07	0,06
26 - X - 05	Miércoles	2,E-07	0,02	NC	NC	7,E-07	0,07
27 - X - 05	Jueves	NC	NC	3,E-06	0,26	5,E-07	0,05
28 - X - 05	Viernes	5,E-08	5,E-03	1,E-06	0,11	7,E-07	0,07
29 - X - 05	Sábado	NC	NC	3,E-06	0,26	1,E-06	0,11
30 - X - 05	Domingo	NC	NC	3,E-06	0,25	9,E-07	0,09
31 - X - 05	Lunes	5,E-08	5,E-03	5,E-07	0,05	1,E-06	0,15
1 - XI - 05	Martes	NC	NC	4,E-06	0,39	2,E-06	0,16
2 - XI - 05	Miércoles	3,E-08	3,E-03	4,E-06	0,42	2,E-06	0,22
3 - XI - 05	Jueves	NC	NC	NC	NC	2,E-06	0,23

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 51. Riesgo en la población niños ESTACIÓN LA MERCED

³⁹ EPA – Air toxics website

RIESGO POBLACIÓN NIÑOS – ESTACIÓN MERCED							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
13-XI-05	Domingo	NC	NC	5,E-07	0,05	1,E-08	1,E-03
14-XI-05	Lunes	NC	NC	NC	NC	1,E-06	0,10
15-XI-05	Martes	NC	NC	2,E-04	14,84	6,E-07	0,06
16-XI-05	Miércoles	NC	NC	2,E-06	0,20	8,E-07	0,08
17-XI-05	Jueves	NC	NC	6,E-05	5,38	7,E-07	0,07
18-XI-05	Viernes	NC	NC	8,E-05	8,22	1,E-06	0,10
19-XI-05	Sábado	NC	NC	NC	NC	9,E-07	0,09
20-XI-05	Domingo	NC	NC	NC	NC	2,E-06	0,17
21-XI-05	Lunes	NC	NC	2,E-06	0,23	2,E-06	0,23
22-XI-05	Martes	ILD	ILD	5,E-04	44,45	5,E-06	0,47
23-XI-05	Miércoles	ILD	ILD	2,E-05	2,16	2,E-06	0,20
24-XI-05	Jueves	ILD	ILD	8,E-04	75,53	5,E-06	0,46

Presentan una probabilidad de veces

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 52. Riesgo en la población adultos mujeres ESTACIÓN INVIMA

RIESGO POBLACIÓN ADULTOS MUJERES – ESTACIÓN INVIMA							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
24-X-05	Lunes	1,E-12	1,E-07	NC	NC	9,E-12	9,E-07
25-X-05	Martes	2,E-11	2,E-06	NC	NC	2,E-11	2,E-06
26-X-05	Miércoles	7,E-12	7,E-07	NC	NC	3,E-11	3,E-06
27-X-05	Jueves	NC	NC	1,E-10	1,E-05	2,E-11	2,E-06
28-X-05	Viernes	2,E-12	2,E-07	4,E-11	4,E-06	3,E-11	3,E-06
29-X-05	Sábado	NC	NC	1,E-10	1,E-05	4,E-11	4,E-06
30-X-05	Domingo	NC	NC	9,E-11	9,E-06	3,E-11	3,E-06
31-X-05	Lunes	2,E-12	2,E-07	2,E-11	2,E-06	5,E-11	5,E-06
01-XI-05	Martes	NC	NC	1,E-10	1,E-05	6,E-11	6,E-06
02-XI-05	Miércoles	1,E-12	1,E-07	2,E-10	2,E-05	8,E-11	8,E-06
03-XI-05	Jueves	NC	NC	NC	NC	8,E-11	8,E-06

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 53. Riesgo en la población adultos mujeres ESTACIÓN LA MERCED

RIESGO POBLACIÓN ADULTOS MUJERES – ESTACIÓN MERCED							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
13-XI-05	Domingo	NC	NC	2,E-11	2,E-06	5,E-13	5,E-08
14-XI-05	Lunes	NC	NC	NC	NC	4,E-11	4,E-06
15-XI-05	Martes	NC	NC	5,E-09	5,E-04	2,E-11	2,E-06
16-XI-05	Miércoles	NC	NC	7,E-11	7,E-06	3,E-11	3,E-06
17-XI-05	Jueves	NC	NC	2,E-09	2,E-04	3,E-11	3,E-06
18-XI-05	Viernes	NC	NC	3,E-09	3,E-04	3,E-11	3,E-06
19-XI-05	Sábado	NC	NC	NC	NC	3,E-11	3,E-06
20-XI-05	Domingo	NC	NC	NC	NC	6,E-11	6,E-06
21-XI-05	Lunes	NC	NC	8,E-11	9,E-06	8,E-11	8,E-06
22-XI-05	Martes	NC	NC	2,E-08	2,E-03	2,E-10	2,E-05
23-XI-05	Miércoles	NC	NC	8,E-10	8,E-05	7,E-11	7,E-06
24-XI-05	Jueves	NC	NC	3,E-08	3,E-03	2,E-10	2,E-05

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 54. Riesgo en la población adultos hombres ESTACIÓN INVIMA

RIESGO POBLACIÓN ADULTOS HOMBRES – ESTACIÓN INVIMA							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
24-X-05	Lunes	2,E-12	1,E-07	NC	NC	1,E-11	8,E-07
25-X-05	Martes	2,E-11	2,E-06	NC	NC	3,E-11	2,E-06
26-X-05	Miércoles	7,E-12	6,E-07	NC	NC	3,E-11	2,E-06
27-X-05	Jueves	NC	NC	1,E-10	9,E-06	2,E-11	2,E-06
28-X-05	Viernes	2,E-12	2,E-07	4,E-11	4,E-06	3,E-11	2,E-06
29-X-05	Sábado	NC	NC	1,E-10	9,E-06	4,E-11	4,E-06
30-X-05	Domingo	NC	NC	1,E-10	9,E-06	3,E-11	3,E-06
31-X-05	Lunes	2,E-12	2,E-07	2,E-11	2,E-06	6,E-11	5,E-06
01-XI-05	Martes	NC	NC	2,E-10	1,E-05	6,E-11	5,E-06
02-XI-05	Miércoles	1,E-12	1,E-07	2,E-10	1,E-05	9,E-11	7,E-06
03-XI-05	Jueves	NC	NC	NC	NC	9,E-11	8,E-06

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

Tabla 55. Riesgo en la población adultos hombres ESTACIÓN LA MERCED

RIESGO POBLACIÓN ADULTOS HOMBRES – ESTACIÓN MERCED							
FECHA MUESTREO	DÍA	METAL					
		Cd		Cr		Ni	
		Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional	Riesgo Individual	Riesgo Poblacional
13-XI-05	Domingo	NC	NC	2,E-11	2,E-06	6,E-13	5,E-08
14-XI-05	Lunes	NC	NC	NC	NC	4,E-11	3,E-06
15-XI-05	Martes	NC	NC	6,E-09	5,E-04	2,E-11	2,E-06
16-XI-05	Miércoles	NC	NC	8,E-11	7,E-06	3,E-11	3,E-06
17-XI-05	Jueves	NC	NC	2,E-09	2,E-04	3,E-11	2,E-06
18-XI-05	Viernes	NC	NC	3,E-09	3,E-04	4,E-11	3,E-06
19-XI-05	Sábado	NC	NC	NC	NC	4,E-11	3,E-06
20-XI-05	Domingo	NC	NC	NC	NC	7,E-11	6,E-06
21-XI-05	Lunes	NC	NC	9,E-11	8,E-06	9,E-11	8,E-06
22-XI-05	Martes	NC	NC	2,E-08	2,E-03	2,E-10	2,E-05
23-XI-05	Miércoles	NC	NC	9,E-10	7,E-05	8,E-11	7,E-06
24-XI-05	Jueves	NC	NC	3,E-08	3,E-03	2,E-10	2,E-05

Fuente: Los Autores

NC: NO CALCULADO

En Cd, Cr y Ni en la estación INVIMA y LA MERCED se encontró alta probabilidad de presentar casos de cáncer en la población de niños, seguida de la de adultos hombres y finalmente la de adultos mujeres en comparación una población de niños, adultos mujeres y adultos hombres que no estén expuestos a las concentraciones registradas en el estudio.

Para Cd en la estación INVIMA se observa un valor de 6E-07 para un niño expuesto a las concentraciones encontradas en la estación y un valor de 0.06

en la población de niños expuestos a las concentraciones encontradas en la estación (ver figuras 91 y 92) el día 25 de Octubre. Mientras que para la estación LA MERCED al registrarse concentraciones inferiores al límite de detección (ILD) del equipo de laboratorio, no se estimó el riesgo poblacional.

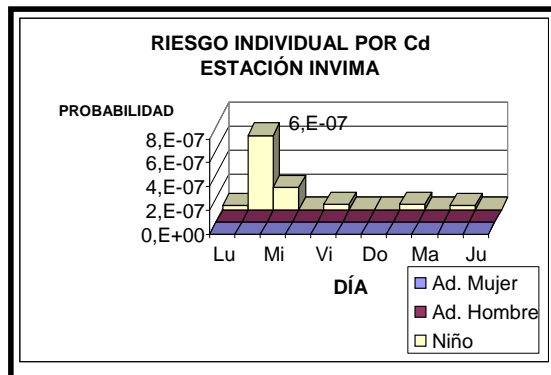


Figura 91. Riesgo individual por Cd ESTACIÓN INVIMA

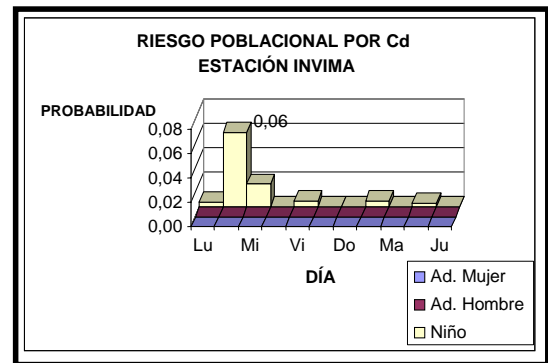


Figura 92. Riesgo poblacional por Cd ESTACIÓN INVIMA

Para Cr en la estación INVIMA se encontró un valor de $4.3E-06$ para un niño expuesto a las concentraciones encontradas en la estación y un valor de 0.42 en la población de niños expuestos a las concentraciones halladas en la estación (ver figuras 93 y 94) el día 2 de Noviembre. En la estación LA MERCED se registró un valor de $5E-04$ en un niño expuesto a las concentraciones encontradas en la estación y una probabilidad de 44.45 veces de presentar casos de cáncer en la población de niños expuestos a las concentraciones encontradas en la estación (ver figuras 95 y 96) el día 24 de Noviembre.

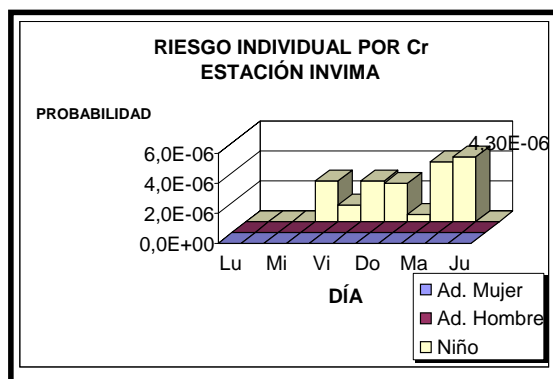


Figura 93. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN INVIMA

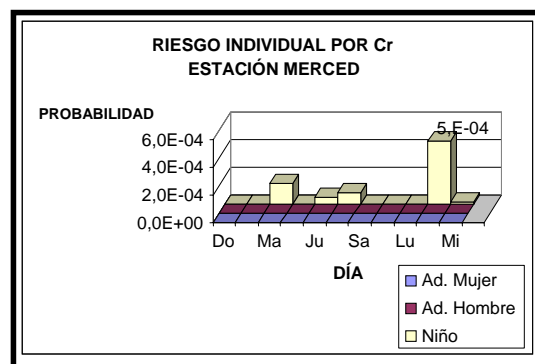


Figura 94. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN LA MERCED

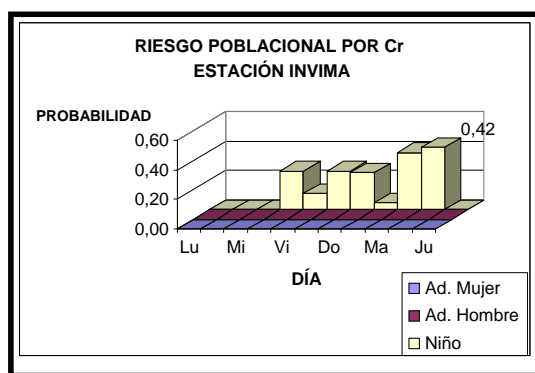
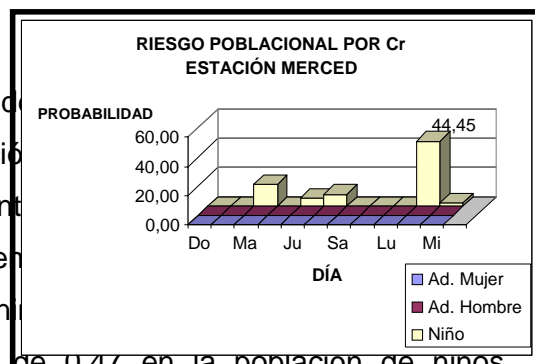
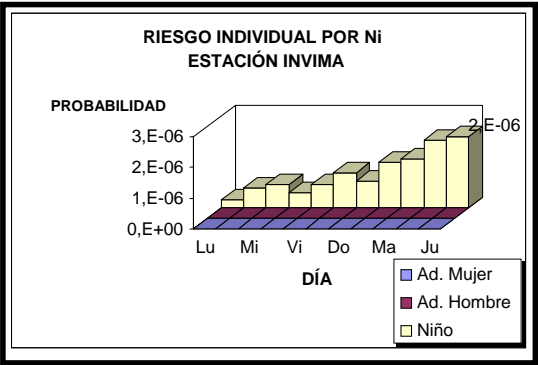


Figura 95. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN INVIMA

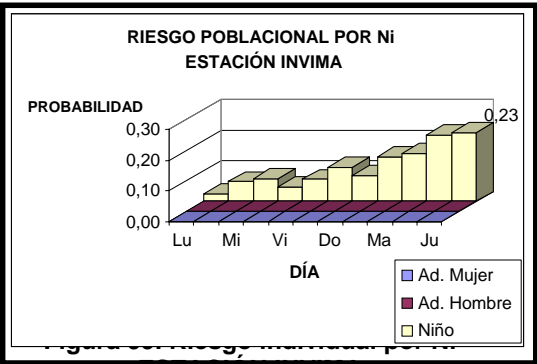
Figura 96. Riesgo individual por Cr ESTACIÓN LA MERCED



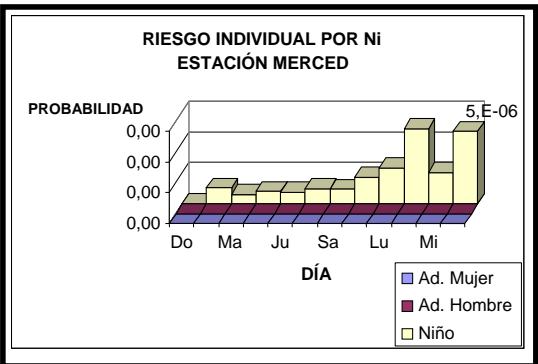
Finalmente para Ni se observa un valor de 0,42 en la población de niños expuestos a las concentraciones encontradas en la estación y un valor de 0,47 en la población de niños expuestos a las concentraciones encontradas en la estación (ver figuras 97 y 98) el día 3 de Noviembre observamos un valor de 5E-06 en un niño expuesto a las concentraciones encontradas en la estación y un valor de 0,47 en la población de niños expuestos a las concentraciones encontradas en la estación (ver figura 99 y 100) el día 24 de Noviembre.



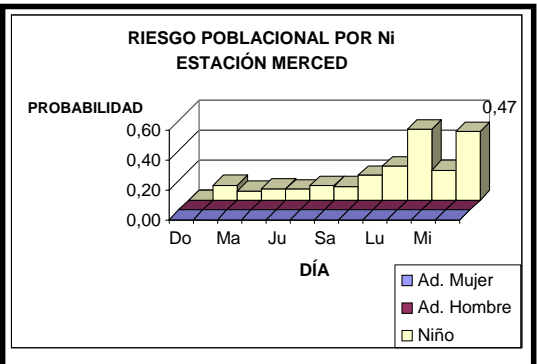
**Figura 97. Riesgo individual por Ni
ESTACIÓN INVIMA**



**Figura 99. Riesgo individual por Ni
ESTACIÓN INVIMA**



**Figura 98. Riesgo individual por Ni
ESTACIÓN LA MERCED**



**Figura 100. Riesgo individual por Ni
ESTACIÓN LA MERCED**

9. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE EMISIONES

Una vez analizados los niveles de contaminación por metales pesados en la Localidad de Puente Aranda, los efectos que pueden tener para la salud humana y la identificación de posibles fuentes de emisión, se pueden plantear instrumentos y medidas en pro del mejoramiento de la calidad del aire.

Inicialmente se presentan actividades de control con las cuales puedan reducir sustancialmente las emisiones presentes en la localidad de Puente Aranda teniendo en cuenta específicamente las industrias que aportan altas cantidades de emisiones de partículas y metales pesados para los sectores de Alimentos y Químicos y derivados del petróleo los cuales se encuentran en mayor proporción.

Luego se proponen estrategias y programas de forma mas general para fuentes fijas y móviles teniendo en cuenta medidas implementadas en otros países como Chile, México, Estados Unidos y la Comunidad europea.

9.1 SISTEMAS DE CONTROL

Para las emisiones derivadas de los procesos y actividades industriales se han establecido sistemas los cuales pueda reducir significativamente el problema de contaminación; estos sistemas dependen del tipo de emisión que se produzca y de las características propias de cada contaminante.

A continuación se proponen medidas para emisiones de vapores inorgánicos y partículas suspendidas.

9.1.1 Control de emisiones inorgánicas

Los vapores inorgánicos son una pequeña porción del total de contaminantes atmosféricos peligrosos emitidos entre los cuales se encuentran los

compuestos de metales pesados (hidruros de metales). Algunas de estas emisiones inorgánicas en fase vapor se condensan y forman partículas. Los métodos de control más comúnmente usados para este tipo de emisiones son las torres absorbedoras y los absorbedores. Algunas veces se utiliza la combustión para algunos compuestos como el carbonilo de Níquel⁴⁰.

9.1.2 Control de partículas

Para el control de partículas se utilizan principalmente tres tipos de mecanismos de control, estos son: Filtros de mangas, Precipitadores electrostáticos (PES) y Torres lavadoras Venturi. En la Tabla 56 se relacionan cada uno de los sistemas de control con su eficiencia y condiciones de funcionamiento.

Tabla 56. Características de los sistemas de control de partículas

SISTEMA DE CONTROL	INTERVALO DE EFICIENCIA	LÍMITE TAMAÑO DE PARTICULA	TEMPERATURA	CORROSIVIDAD/ RESISTIBILIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
Filtros de mangas	Mayor al 99%	Menor eficiencia con tamaños de 0.1 a 0.3 μm de diámetro	Dependiendo del tipo de fibra, pero que no exceda los 287 °C	Se necesitan fibras especiales para resistir la corrosión	Pobre eficiencia con altos contenidos de humedad
Precipitadores Electrostáticos (PES)	Mayor al 99%	Menor eficiencia con partículas de 1 μm	Generalmente mayor a 538°C	Se requiere de materiales resistentes a la corrosión	Se pueden controlar corrientes con relativa alta humedad
Torre lavadora Venturi	Mayor al 99%	Opera mejor con partículas de tamaño mayor a 0.5 μm de diámetro	No hay limitaciones	Se requiere una construcción especial para emisiones corrosivas especialmente en la garganta	No hay afectación con los cambios de humedad en la corriente de salida.

Fuente: EPA, 1991

La EPA reconoce nueve grupos para ubicar los sectores industriales generadores de contaminantes atmosféricos; además propone algunos

⁴⁰ Pachón J. 2004. *Estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables de cuatro municipios de Cundinamarca*, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

sistemas para el control de emisiones. En la Tabla 57 se muestran los mecanismos para emisiones de partículas, vapores y emisiones fugitivas en cada uno de los grupos designados por la EPA.

Tabla 57. Opciones de control para las emisiones de partículas y vapores en la zona de estudio

GRUPO	EMISIONES	MECANISMOS DE CONTROL
1. Operaciones con uso de solventes	Vapores	- Incineradores térmicos - Teas y quemadores - Absorbedores - Torres absorbedoras
2. Industrias metalúrgicas	Partículas	- Filtros de mangas - PES - Torres lavadores Venturi
3. Industrias de manufactura de compuestos orgánicos	Partículas	- Filtros de mangas - PES - Torres lavadores Venturi
	Emisiones fugitivas	- Captura y encerramiento
4. Industria de síntesis inorgánica	Emisiones fugitivas	- Captura y encerramiento
5. Industria química básica	Emisiones diversas en partículas y fase vapor	- Recuperación en torres absorbedoras
6. Industria de productos minerales no metálicos	Partículas	- Filtros de mangas - PES - Torres lavadores Venturi
7. Industria de la madera	Vapores	- Incineradores térmicos - Teas y quemadores - Absorbedores - Torres absorbedoras
8. Industria del petróleo	Vapores	- Incineradores térmicos - Teas y quemadores - Absorbedores - Torres absorbedoras
	Emisiones fugitivas	- Captura y encerramiento
9. fuentes de combustión	Emisiones inorgánicas en partículas principalmente	- Filtros de mangas - PES - Torres lavadores Venturi

Fuente: EPA, 1991

En la localidad de puente Aranda el mayor número de industrias se ubican en los grupos 5 y 9 (industria química básica y actividades relacionadas con fuentes de emisión respectivamente). Es por esto que se hace viable la recuperación de residuos (como solventes) en torres absorbedoras para la industria química y la recolección de partículas mediante alguno de los sistemas de control planteados (Filtros de mangas, PES ó Torres lavadoras Venturi) dependiendo de las condiciones planteadas en la tabla 56, factores locales y viabilidad económica.

9.2 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

A continuación se presentan estrategias que se pueden aplicar en la Localidad de Puente Aranda con el fin de reducir emisiones en fuentes fijas y móviles para así disminuir las concentraciones de metales pesados en el aire de la localidad.

Si bien las estrategias son generales, son la base para su implementación específica en la Localidad de Puente Aranda.

9.2.1 Fuentes Fijas

Aplicación de técnicas de control: medidas primarias tales como la sustitución de materias primas y/o combustibles y el uso de tecnologías industriales de baja emisión. Implementar medidas secundarias tales como el control de emisiones fugitivas y reducción de gases de chimenea mediante la implementación de equipos de control tales como filtros, ciclones, lavadores, etc.

Se deben mantener actualizados los inventarios de emisiones debido a que son una herramienta estratégica de prevención y teniendo conocimiento de las emisiones provenientes del sector industrial, se pueden evitar y/o mitigar los efectos de la contaminación.

Otorgar incentivos financieros para las industrias que realicen inversión en tecnologías limpias. Realizar programas para el fomento de la producción mas limpia bajo la responsabilidad de la(s) autoridad(es) competente(s).

Una relocalización de industrias para la Localidad de Puente Aranda puede ser una solución viable a largo plazo pues el cambio de ubicación no solo disminuirá las emisiones en esta zona sino que también provocará que la población cambie de lugar de residencia promoviendo la descentralización.

También se debe prohibir el crecimiento de zonas residenciales cerca de las industrias, o que estas últimas no cumplan con el equipo anticontaminante necesario para asegurar una excelente calidad del aire, del agua y del suelo de los lugares donde se ubiquen (Castillejos, 1999).

9.2.1.1 Reducción emisiones por sector

Según la Decisión Del Consejo de 4 de abril de 2001 relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo al Convenio de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia en materia de metales pesados, se tomaron las siguientes estrategias para cada sector relevante indicándose las principales fuentes de emisión, las medidas de control basadas en las mejores técnicas disponibles (BTA), su eficiencia de reducción específica y los costes asociados, si se conocen. Salvo indicación contraria, las eficiencias de reducción indicadas en las tablas se refieren a emisiones directas de gases de escape.⁴¹

9.2.1.1.1 Combustión de combustibles fósiles en calderas industriales y calderas de compañías de suministros públicos

La combustión de carbón en calderas industriales y de compañías de suministros públicos es una fuente importante de emisiones con contenido de metales pesados en varios órdenes de magnitud superior en el carbón que en el petróleo o el gas natural.

La mejora de la eficiencia en la conversión de energía y las medidas de conservación de la energía provocará una disminución de las emisiones de metales pesados gracias a la reducción del consumo de combustible. La combustión de gas natural o combustibles alternativos con un bajo contenido

⁴¹ Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 134/40, 2001

de metales pesados en lugar del carbón también daría lugar a una reducción significativa de las emisiones de metales pesados.

La tecnología de ciclo combinado de gasificación integral (*integrated gasification combined cycle*, IGCC) es una nueva tecnología para centrales energéticas con un bajo potencial de emisiones.

Los metales pesados se emiten en estado sólido, asociados con partículas de cenizas volantes. Las diferentes tecnologías de combustión de carbón presentan diferentes magnitudes de generación de cenizas volantes: las calderas de parrilla, un 20-40 %; la combustión en lecho fluidizado, un 15 %; las calderas de fondo seco (combustión de carbón pulverizado), un 70-100 % de ceniza total. Se ha confirmado que el contenido de metales pesados es superior en la fracción de pequeñas partículas de las cenizas volantes.

El beneficio (por ejemplo «lavado» o «biotratamiento») del carbón reduce el contenido de metales pesados asociado a la materia inorgánica del carbón. Sin embargo, el grado de eliminación de metales pesados varía mucho con esta tecnología.

Puede obtenerse una eliminación total de polvo superior al 99,5 % con precipitadores electrostáticos (*electrostatic precipitators*, ESP) o filtros textiles (*fabric filters*, FF), consiguiéndose en muchos casos concentraciones de polvo en torno a 20 mg/m³. Las emisiones de metales pesados pueden reducirse al menos un 90-99 %, correspondiendo la cifra inferior a los elementos más fácilmente volatilizados.

La aplicación de técnicas de reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas de los gases de combustión también puede eliminar los metales pesados. Deberá evitarse el posible impacto entre los distintos medios con un tratamiento apropiado de las aguas residuales.

Utilizando las técnicas mencionadas, las eficiencias de eliminación del Cadmio y Plomo varían mucho de una planta a otra, como puede verse en la tabla 58.

Tabla 58. Medidas de control, eficiencias y costes de reducción de emisiones de combustibles fósiles

Fuente de emisión	Medida(s) de control	Eficiencia de reducción (%)	Costes de supresión
Combustión de gasóleo	Cambio de gasóleo a gas	Cd, Pb: 100	Muy específicos
Combustión de carbón	Cambio de carbón a combustibles con menores emisiones de metales pesados	Polvo: 70-100	Muy específicos
	ESP (lado frío)	Cd, Pb: > 90	Inversión específica de: 5-10 USD/m ³ de gas residual por hora (> 200 000 m ³ /h)
	Desulfuración de gases de combustión húmedos (flue gas desulphurization, FGD)	Cd, Pb: > 90 (a)	...
	Filtros textiles (FF)	Cd: > 95 Pb: > 99	Inversión específica: de 8-15 USD/m ³ de gas residual por hora (> 200 000 m ³ /h)
(a) Esto se refiere principalmente a la reducción de SO₂. La reducción de las emisiones de metales pesados es un beneficio colateral (inversión específica de 60-250 USD/kWel.).			

9.2.1.1.2 Industria primaria del hierro y el acero

las emisiones procedentes de plantas de sinterización, plantas de granulado, altos hornos y acerías con horno de oxígeno básico (*basic oxygen furnace*, BOF). Las emisiones de cadmio y plomo están sociadas a partículas. El contenido de metales pesados nocivos presentes en el polvo emitido depende de la composición de las materias primas y de los tipos de metales de aleación añadidos en la fabricación de acero. La tabla 59 indica las medidas de reducción de emisiones más relevantes. Siempre que sea posible deberán utilizarse filtros textiles; si las condiciones lo impiden, pueden utilizarse precipitadores electrostáticos y/o lavadores de alta eficiencia.

Si se utilizan las mejores técnicas disponibles (BAT) en la industria primaria del hierro y el acero, la emisión total específica de polvo directamente relacionado con el proceso puede reducirse hasta los niveles siguientes:

plantas de sinterización	40 a 120 g/Mg,
plantas de granulado	40 g/Mg,
alto horno	35 a 50 g/Mg,
horno de oxígeno básico (BOF)	35 a 70 g/Mg.

La depuración de gases a base de filtros textiles reducirá el contenido de polvo a menos de 20 mg/m³, mientras que los precipitadores electrostáticos y los lavadores reducirán el contenido de polvo a 50 mg/m³ (en promedio por hora). Sin embargo, existen muchas aplicaciones de los filtros textiles en la industria primaria del hierro y el acero que pueden conseguir valores muy inferiores.

Tabla 59: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria primaria del hierro y el acero

Fuente de emisión	Medida(s) de control		Eficiencia de reducción de polvo (%)	Costos de supresión (coste total en USD)	
Plantas de sinterización	Sinterización con optimizadas Lavadores y ESP Filtros textiles	emisiones	aprox. 50 > 90 > 99	— — —	
Plantas de granulado	ESP + reactor del cal + filtros textiles Lavadores		> 99 > 95	— —	
Altos hornos Depuración de gases en altos hornos	FF/ESP Lavadores húmedos ESP húmedos		> 99 > 99 > 99	ESP: 0,24-l/Mg de hierro — —	
Emisiones fugitivas	Cintas transportadoras cerradas, encapsulado, humectación del material almacenado, limpieza de carreteras		80-99	—	

La reducción directa y la fundición directa están en fase de desarrollo y pueden reducir la necesidad de plantas de sinterización y altos hornos en el futuro. La aplicación de estas tecnologías depende de las características del mineral y

exige procesar el producto resultante en un horno de arco eléctrico, equipado con controles apropiados.

9.2.1.1.3 Industria secundaria del hierro y el acero

Es muy importante capturar todas las emisiones eficientemente. Ello es posible instalando cámaras abovedadas o campanas móviles o mediante la evacuación total de la nave. Es preciso depurar las emisiones capturadas. En todos los procesos emisores de polvo en la industria secundaria del hierro y el acero, la extracción de polvo con filtros textiles, que reduce el contenido de polvo a menos de 20 mg/m³, se considerará una BAT (mejor técnica disponible). Si también se utiliza una BAT para minimizar las emisiones fugitivas, la emisión de polvo específica (incluidas las emisiones fugitivas directamente relacionadas con el proceso) no superará el rango de 0,1 a 0,35 kg/Mg de acero. Hay muchos ejemplos de contenido de polvo en gases limpios por debajo de 10 mg/m³ utilizando filtros textiles. La emisión de polvo específica suele ser en tales casos inferior a 0,1 kg/Mg.

Para la fundición de chatarra se utilizan dos tipos de horno diferentes: hornos de reverbero y hornos de arco eléctrico (*electric arc furnace*, EAF) en los casos en que los hornos de reverbero están a punto de quedar desfasados.

El contenido de los metales pesados nocivos presentes en el polvo emitido depende de la composición de la chatarra de hierro y acero y de los tipos de metales de aleación añadidos en la fabricación de acero.

Las mediciones realizadas en EAF han demostrado que el 95 % del mercurio emitido y el 25 % de las emisiones de cadmio toman la forma de vapor. La tabla 60 indica las medidas de reducción de las emisiones de polvo más relevantes.

Tabla 60: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria secundaria del hierro y el acero

Fuente de emisión	Medida(s) de control	Eficiencia de reducción de polvo (%)	Costes de supresión (coste total en USD)
EAF	ESP FF	> 99 > 99,5	— FT: 24/Mg de acero

9.2.1.1.4 Fundición de hierro

En las funderías de hierro se trabaja con hornos de cubilote, hornos de arco eléctrico y hornos de inducción. Las emisiones directas de metales pesados en estado gaseoso y en partículas están especialmente asociadas a la fundición y, en algunos casos y en menor medida, al moldeo. Las emisiones fugitivas proceden de la manipulación de materias primas, de la fundición, del moldeo y del desbarbado. La tabla 61 indica las medidas de reducción de emisiones más relevantes con sus datos de eficiencia alcanzable y costes de reducción, si se conocen. Estas medidas pueden reducir las concentraciones de polvo a 20 mg/m³ o menos.

Tabla 61: Fuentes de emisión, medidas de control, eficientes y costes de reducción de polvo en funderías de hierro

Fuente de emisión	Medida(s) de control	Eficiencia de reducción de polvo (%)	Costes de supresión (coste total en USD)
EAF	ESP FF	> 99 > 99,5	— FT: 24/Mg de hierro
Horno de inducción	FF/absorción seca + FF	> 99	—
Cubilote de tiro frío	Extracción bajo la puerta: FF Extracción sobre la puerta: FF + preextracc. de polvo FF + quimiodsorción	> 98 > 97 > 99	— 8-12/Mg de hierro 45/Mg de hierro
Cubilote de tiro caliente	FF + preextracción Desintegrador/lavador Venturi	> 99 > 97	23/Mg de hierro

La industria de fundición del hierro comprende una gran diversidad de establecimientos de proceso. En las instalaciones existentes más pequeñas, las medidas indicadas pueden no ser BAT si no son económicamente viables.

9.2.1.1.5 Industria primaria y secundaria de metales no férreos

Esta sección trata de las emisiones y del control de emisiones de cadmio y plomo en la producción primaria y secundaria de metales no férreos como el plomo, el cobre, el zinc, el estaño y el níquel. Debido a la gran cantidad de materias primas diferentes utilizadas y a los diversos procesos aplicados, en este sector pueden emitirse casi todo tipo de metales pesados y sus compuestos. Dados los metales pesados nocivos contemplados, la producción de cobre, plomo y zinc es particularmente relevante.

Con las técnicas siguientes puede recuperarse los *metales pesados* eficientemente:

- medidas de reducción de la generación de polvo durante las operaciones de extracción minera y apilamiento, incluida la minimización del tamaño de las pilas de almacenaje,
- calentamiento indirecto del horno,
- mantener el mineral lo más seco posible,
- situar el gas introducido en el condensador a una temperatura de sólo 10 a 20 °C por encima del punto de rocío,
- mantener la temperatura de salida lo más baja posible, y
- pasar los gases de reacción a través de un lavador postcondensación y/o un filtro de selenio.

La formación de polvo puede mantenerse baja mediante calentamiento indirecto, proceso separado de clases de mineral de grano fino, y control del contenido de agua del mineral. El polvo debe eliminarse del gas de reacción caliente antes de que entre en la unidad de condensación con ciclones y/o precipitadores electrostáticos.

Los metales no férreos se producen principalmente a partir de minerales sulfúricos. Por razones técnicas y de calidad del producto, el gas de escape debe someterse a una minuciosa extracción de polvo ($< 3 \text{ mg/m}^3$) y también podría ser necesaria una eliminación adicional del mercurio antes de introducirlo en una planta de contacto de SO_3 , minimizando también de este modo las emisiones de metales pesados.

Deberán utilizarse filtros textiles cuando sea apropiado. Permiten obtener un contenido de polvo inferior a 10 mg/m^3 . El polvo de toda la producción pirometalúrgica se reciclará dentro o fuera de la fábrica, siempre que se proteja la salud de los trabajadores.

Para la producción primaria de plomo, las primeras experiencias indican que existen nuevas e interesantes tecnologías de reducción en fundición directa sin sinterización de los concentrados. Estos procesos son ejemplos de una nueva generación de tecnologías de fundición directa autógena de plomo que contaminan menos y consumen menos energía.

El plomo secundario se produce principalmente a partir de baterías usadas de coches y camiones, que se desmantelan antes de cargarse en el horno de fundición. Esta BAT debe incluir una operación de fundición en un horno giratorio corto u horno de cuba. Los quemadores de oxcombustible pueden reducir el volumen de gases residuales y la producción de polvo de combustión en un 60 %. La depuración de los gases de combustión con filtros textiles permite conseguir niveles de concentración de polvo de 5 mg/m^3 .

La producción primaria de zinc se realiza por medio de la tecnología de electroextracción por tostación-lixiviación. La lixiviación a presión puede ser una alternativa a la tostación y puede considerarse una BAT para nuevas plantas en función de las características del concentrado. Las emisiones de la producción pirometalúrgica de zinc en hornos de fundición imperial (*imperial*

smelting, IS) puede minimizarse utilizando un tragante de horno de doble cono y depurando con lavadores de alta eficiencia, una evacuación y depuración eficiente de gases procedentes de coladas de plomo y escoria, y una depuración minuciosa ($< 10 \text{ mg/m}^3$) de los gases de escape del horno ricos en CO.

Para recuperar el zinc de los residuos oxidados se procesan éstos en un horno IS. Primero se tratan los residuos de muy bajo contenido y el polvo de combustión (por ejemplo, de la industria del acero) en hornos giratorios (hornos Waelz) en los que se fabrica un óxido con un alto contenido de zinc. Los materiales metálicos se reciclan por fundición en hornos de inducción o en hornos con calentamiento directo o indirecto por gas natural o combustibles líquidos o en retortas verticales New Jersey, en las que pueden reciclarse muy diversos materiales secundarios oxídicos o metálicos. También puede recuperarse zinc de la escoria de los hornos de plomo con un proceso de reducción de escorias.

En general, los procesos deberán combinarse con un recogedor de polvo eficaz para gases primarios y emisiones fugitivas. Las tablas 62 y 63 indican las medidas de reducción de emisiones más relevantes. En algunos casos se han conseguido concentraciones de polvo inferiores a 5 mg/m^3 utilizando filtros textiles.

Tabla 62: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria primaria de metales no féreos

Fuente de emisión	Medida(s) de control	Eficiencia de reducción de polvo (%)	Costes de supresión (coste total en USD)
Emisiones fugitivas	Campanas de aspiración, encapsulado, etc., depuración de gases de escape por FF	> 99	—
Tostación/sinterización	Sinterización de tiro ascendente: ESP + lavadores (antes de la planta de ácido sulfúrico de doble contacto) + FF para gases de cola	—	7-10/Mg H ₂ SO ₄
Fundición convencional (reducción en alto horno)	Horno de cuba: tragante cerrado/evacuación eficiente de piqueras + FF, regueras cubiertas, tragante de horno de doble cono	—	—
Fundición imperial (IS)	Lavado de alta eficiencia Lavadores Venturi Tragante de horno de doble cono	> 95 — —	— — 4/Mg de metal producido
Lixiviación a presión	La aplicación depende de las características de lixiviación de los concentrados	> 99	Específicos de la fábrica
Procesos de reducción por fundición directa	Fusión rápida, por ejemplo procesos de Kivcet, Outokumpu y Mitsubishi	—	—
	Fusión en baño, por ejemplo convertidor giratorio con soplado por tragante, procesos de Ausmelt, Isas-melt, QSL y Noranda	Ausmelt: Pb 77, Cd 97 QSL: Pb 92, Cd 93	QSL: costes de explotación de 60/Mg Pb

Tabla 63: Fuentes de emisión, medidas de control, eficiencias y costes de reducción de polvo en la industria secundaria de metales no féreos

Fuente de emisión	Medida(s) de control	Eficiencia de reducción de polvo (%)	Costes de supresión (coste total en USD)
Producción de plomo	Horno giratorio corto: campanas de aspiración para piqueras + FF; condensador tubular, quemador de oxigás	99,9	45/Mg de Pb
Producción de zinc	Fundición imperial (IS)	> 95	14/Mg de Zn

9.2.1.2 Valores límite para controlar las emisiones de las principales fuentes estacionarias

1. Con miras a controlar las emisiones de metales pesados son importantes dos tipos de valores límite:

- valores para determinados metales pesados o grupos de ellos, y
- valores para emisiones de partículas en general.

2. En principio, los valores límite para partículas no pueden reemplazar a los valores límite específicos del cadmio y el plomo, porque la cantidad de los metales asociados a las emisiones de partículas varía de un proceso a otro. Sin embargo, el cumplimiento de estos límites contribuye significativamente a la reducción de las emisiones de metales pesados en general. Más aún, el control de las emisiones de partículas suele ser menos costoso que el control de especies individuales y el control continuo de metales pesados individuales no es factible en general. Por consiguiente, los valores límite de partículas son de gran importancia práctica y se indican también en este anexo en la mayoría de los casos para complementar o sustituir a los valores límite específicos del cadmio y el plomo.

3. Los valores límite, expresados en mg/m^3 , se refieren a condiciones estándar (volumen a 273,15 K, 101,3 kPa, gas seco) y se calculan como valor medio de mediciones de una hora, que comprenden varias horas de funcionamiento

(veinticuatro horas por regla general). Deberán excluirse los períodos de arranque y parada. Puede ampliarse el tiempo de base si es necesario para obtener resultados de control suficientemente precisos.

Con respecto al contenido de oxígeno de los gases residuales, se aplicarán los valores indicados para las principales fuentes estacionarias seleccionadas. Se prohíbe toda dilución a fin de disminuir las concentraciones de contaminantes en los gases residuales. En la indicación de valores límite para metales pesados, por «metal» se entiende el estado sólido, gaseoso y vaporizado del metal y sus compuestos. Siempre que se indican valores límite para emisiones totales, expresadas en g/unidad de producción o capacidad, respectivamente, se refieren a la suma de emisiones de chimenea y fugitivas, calculada como valor anual.

4. En aquellos casos en los que no pueda excluirse la superación de los valores límite dados, se vigilarán las emisiones o un parámetro de comportamiento que indique si se está manejando y manteniendo correctamente un dispositivo de control. La vigilancia de las emisiones o de los indicadores de rendimiento deberá realizarse de modo continuo si el flujo másico de las partículas emitidas supera los 10 kg/h. Si se vigilan las emisiones, deberán medirse las concentraciones de materias contaminantes atmosféricas en los conductos portadores de gas de manera representativa. Si se vigilan las partículas intermitentemente, deberán medirse las concentraciones en intervalos regulares, realizando al menos tres mediciones independientes por comprobación.

Se realizarán muestreos y análisis de todos los contaminantes y se aplicarán métodos de medida de referencia para calibrar los sistemas automáticos de medida, de acuerdo con las normas establecidas por el Comité Europeo de Normalización (CEN) o la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO). Mientras se elaboran las

normas CEN o ISO se aplicarán las normas nacionales, que también podrán utilizarse si consiguen resultados equivalentes a las normas CEN o ISO.

5. En caso de vigilancia continua, se considera que se cumplen los valores límite si ninguna de las concentraciones de emisión calculadas como promedio de veinticuatro horas supera el valor límite o si el promedio de veinticuatro horas del parámetro vigilado no supera el valor correlativo de ese parámetro que se haya establecido durante una prueba de rendimiento en la que el manejo y mantenimiento del dispositivo de control fuera correcto. En caso de vigilancia intermitente de las emisiones, se considera que cumplen si la lectura media por comprobación no supera el valor límite. Se considera cumplido de cada uno de los valores límites expresados en emisiones totales por unidad de producción o emisiones totales anuales si no se supera el valor vigilado, tal como se ha descrito anteriormente.

9.2.1.3 Valores límite específicos para las principales fuentes estacionarias seleccionadas

9.2.1.3.1 Combustión de combustibles fósiles

Los valores límite se refieren a un 6 % de O₂ en los gases de combustión en el caso de los combustibles sólidos, y a un 3% de O₂ en el caso de los combustibles líquidos.

Valor límite de las emisiones de partículas de combustibles líquidos y sólidos: 50 mg/m³.

9.2.1.3.2 Plantas de sinterización

Valor límite de las emisiones de partículas: 50 mg/m³.

9.2.1.3.3 Plantas de granulado

Valor límite de las emisiones de partículas:

- a) amolado, secado: 25 mg/m³, y
- b) granulado: 25 mg/m³; o

Valor límite de las emisiones totales de partículas: 40 g/Mg de gránulos producidos.

9.2.1.3.4 Altos hornos

Valor límite de las emisiones de partículas: 50 mg/m³.

9.2.2 Fuentes Móviles

La Alcaldía del distrito ha propuesto medidas pertinentes para la reducción de emisiones, una de estas es la implementación del programa de restricción vehicular “Pico y Placa” la cual es aplicada durante las horas de mayor flujo vehicular para transporte público, transporte de carga y particular.

Algunas medidas propuestas para fuentes fijas son:

Es de vital importancia mantener actualizados los inventarios de fuentes fijas, en donde se reverencien aspectos de los vehículos tales como el modelo, tipo de combustible, kilometraje, etc. A partir de estos inventarios se pueden implementar medidas en busca de una reducción en las emisiones por fuentes móviles.

Verificación continúa por parte de la policía de carreteras, de emisiones contaminantes de los vehículos que circulan en el Distrito.

Fin de estacionamientos de superficie, aplicar restricciones para estacionar en calles de gran flujo vehicular a efecto de otorgar mayores condiciones de desplazamiento a las personas que decidan utilizar su vehículo.

Revisión de normatividad con el fin de lograr una evaluación mas precisa de la emisión de los vehículos en circulación.

10. CONCLUSIONES

Se encontró que la estación de LA MERCED es donde se presentan las mayores concentraciones de metales pesados en partículas respirables lo cual se explica por el gran número de industrias circundantes en esta zona de la localidad. Las mayores concentraciones se presentan para los metales Hierro y Plomo que se asocian principalmente a las actividades relacionadas con el sector de Alimentos y el alto tráfico vehicular.

La estación INVIMA presenta concentraciones en menor escala comparado con la estación de LA MERCED, las mayores concentraciones se presentan también para los metales Hierro y Plomo. La situación presente en esta zona se explica por la considerable presencia de industrias dedicadas al sector de Químicos derivados del petróleo y vehículos con motor a Diesel.

Los metales que fueron más representativos en el presente estudio para la asociación a fuentes de emisión, fueron Cromo, Hierro y Plomo a los cuales es importante realizar seguimientos continuos, debido a las emisiones intermitentes y no continuas que se encontraron en las muestras analizadas. La correlación de estos metales con otros como el Manganeso permite inferir nuevas fuentes de emisión.

Durante los muestreos se presenta una disminución en las concentraciones de los metales Cr, Cu, Mn y Pb durante los fines de semana, lo cual permite asociar gran parte de estas emisiones a fuentes móviles debido la reducción considerable del flujo vehicular que generalmente se presenta durante los días sábados y domingos.

Las concentraciones de metales pesados halladas en la estación LA MERCED al ser más altas con respecto a las de la estación INVIMA, presentan mayor probabilidad de generar riesgos en la salud de los habitantes expuestos a estas

en la localidad. Condiciones que de mantenerse constantes pueden provocar altas tasas de morbilidad y mortalidad atribuibles a la contaminación atmosférica por metales pesados presente en la Localidad de Puente Aranda.

La población infantil presenta un mayor riesgo a padecer efectos adversos en la salud, ya que en esta población se presentaron los valores más altos y significativos en la estimación del riesgo a la salud con respecto a las poblaciones de adultos mujeres y adultos hombres, al estar expuesta a material particulado con contenido de metales pesados.

Al estimar el Índice de Peligrosidad para Cromo y Níquel la población conserva un nivel de seguridad, de no presentar efectos adversos en la salud al estar expuestos a las concentraciones de los metales halladas en el estudio. Los metales Manganeseo y Plomo presentan en la población de niños, una exposición local en incremento a niveles peligrosos en los cuales se puedan presentar efectos adversos.

Según el estudio, los niños podrían presentar una probabilidad considerable de presentar casos de cáncer en una población de 97.488 niños expuestos a las concentraciones halladas para Cromo en la estación LA MERCED.

Una estrategia de control viable y rápida para su aplicación a corto plazo puede ser la implementación de un mejor inventario de fuentes fijas y fuentes móviles por parte de las autoridades ambientales para la localidad y el Distrito debido a que son muy limitados para aplicar medidas de prevención y control. Estos inventarios deben contar con registros de equipos de combustión utilizados y caracterización de los vehículos para fuentes móviles.

11. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de calidad del aire en metales pesados de mas duración, mayor constancia y en puntos adicionales de la Localidad y la ciudad, con el fin de obtener mayor numero de registros en el año y con esto mayor representatividad de los datos.

Se recomienda hacer extracción a dos tiras por día muestreado, ya que el volumen de muestra resultante de una tira de filtro (50 ml) no es suficiente para realizar la lectura a los nueve metales que se van a analizar.

Es de vital importancia mantener las condiciones del equipo durante el trabajo en el EAA, esto con el fin de evitar que el equipo se descalibre y realice una lectura errónea. Una vez realizada la curva de calibración se debe correr una solución con concentración conocida con el fin de verificar el ajuste del equipo, en caso contrario se debe volver a correr la curva de calibración, si se realiza este procedimiento se evitan muchos errores e las lecturas por Absorción Atómica.

Para futuros estudios se hace necesario tener un día de muestreo en una zona que no se encuentre influenciada por fuentes de emisión de metales pesados, con el fin de tener la concentración de fondo.

Se deben realizar estudios e inventarios de emisiones por fuentes móviles en la ciudad, contando la caracterización de emisiones por combustible, especialmente Diesel.

Implementar por parte de las Autoridades competentes, programas en Fuentes Fijas para la conversión a corto plazo de combustibles como el Carbón y ACPM a combustibles amigables con el ambiente en sus procesos y actividades.

Buscar mejoras en la calidad de los combustibles para fuentes móviles, en especial para vehículos con motor Diesel, ya que es el responsable de la mayoría de emisiones de metales pesados por parte del parque automotor en Distrito.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. 2004. *Recorriendo Puente Aranda, Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogota D.C.*

C. Bilos, J.C. Colombo, C.N. Skorupka, M.J. Rodríguez Presa, Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina, Universidad Nacional De La Plata, Buenos Aires, Argentina 1999

Castillejos M. 1999. *Caracterización de las circunstancias clínicas y epidemiológicas que rodean las muertes en días de alta y baja concentración de partículas (PM10 y PM2.5) y otros contaminantes atmosféricos en la zona suroeste del área metropolitana de la ciudad de México.* Universidad Autónoma Metropolitana de México. México.

DAMA 1996. *Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de los Valles de Aburra y San Nicolás.* Boletín 5. Ed especial, Medellín, Colombia.

DAMA. 2001. Inventario de fuentes fijas de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, Colombia.

DAMA. 2001. Inventario de fuentes móviles de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, Colombia.

DAMA. 2001. Resolución 391. Bogotá, Colombia.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital, información para el plan local 2001, para vivir todos del mismo lado.

Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 134/40, 2001

EPA. 1992. Air toxics website, ver sitio web <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/chromium.html>

EPA. 1999. *Method IO-3.1, Selection, preparation and extraction of filter material.* EEUU.

EPA. 1999. *Method IO-3.2, Determination of metals in ambient particulate matter using atomic absorption (AA) spectroscopy.* EEUU

EPA. 2002. *Compilation of Air Pollutants Emission Factors*, AP-42, 5th ed., Volume I: Stationary Point and Area Sources. EEUU.

Evaluación de riesgo para contaminantes tóxicos del aire, http://www.epa.gov/ttn/atw/3_90_024sp.html

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del aire, CEPIS/OPS. Lima, 2004, p. 6, 19, 26.

Pachón J. 2004. *Estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables de cuatro municipios de Cundinamarca*, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Páez García. 1998. *Determinación de metales pesados en las partículas del aire*. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil), Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia.

Perkn Elmer, Instrument. 2000. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. Singapore

Roa Ovalle M. 1999. *Medición de metales en las partículas del aire*. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil), Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

Sweet, C.W., Vermette, S.J., Landsberg, S., 1993. Sources of toxic trace elements in urban air in Illinois. *Environmental Science and Technology* 27, 2502-2510.

TORO M. Victoria; RAMÍREZ John J.; QUICENO Raúl A. G.; ZULUAGA César A. CÁLCULO DE LA EMISIÓN VEHICULAR DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN MEDIANTE FACTORES DE EMISIÓN CORINAIR*, Medellín – Colombia, 2001

Vallero, Daniel. 2004. *Environmental contaminants: assessment and control*. Elsevier Academic Press. USA

Ya-Fen Wanga, Kuo-Lin Huangb, Chun-Teh Lic, Hsiao-Hsuan Mia, Jih-Haur Luoc, Perng-Jy Tsaid. *Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine*. Taiwan, 2003

ANEXOS

ANEXO 1

INVENTARIO DE EMISIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN INVIMA

SECTOR INDUSTRIAL	Nº	LA EMPRESA	NOMBRE COMERCIAL	ACTIVIDAD DE LA EMPRESA	CODIGO CIU	DIRECCIÓN	PROCESO INDUSTRIAL	COMBUSTIBLE	CONSUMO	UNIDADES	PERMISO	E. C.	% E	F. E.	UNIDADES	[] DE MP	UNIDADES
PRODUCTOS ALIMENTICIOS, DEBIDAS Y TABACO	1	160019	PANIFICADORA DIONEIDA	PANIFICADORA	D155100	CL 6 # 63 - 47	HORNEADO	GAS NATURAL	214,26	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0009	Kg/día
	2	160067	PANADERIA ESMERALDA	PANIFICADORA	D155100	CL 7 A # 63 - 33	HORNEADO	GAS NATURAL	1,6	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0047	Kg/día
	3	160068	PANADERIA FONTANA	PANIFICADORA	D155100	CL 8 # 60 - 05	HORNEADO	GAS PROPANO	1,4	Ton/día	N T	N T	N T	0,20	Kg/Ton	0,0030	Kg/día
	4	160295	PAN NUESTRO	VENTA DE PAN	D155100	CR 53 A # 8 - 00	HORNEADO	GAS NATURAL	1,3	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0038	Kg/día
	5	160296	PANADERIA LA IBAGUEREÑA	FABRICACION DE PAN Y VENTA	D155100	CR 58 # 8 - 03	HORNEADO	GAS NATURAL	129,27	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0005	Kg/día
	6	160313	PAN DEL CAMPO	VENTA DE PAN Y VIVERES	D155100	CR 56 # 8 - 90	HORNEADO	GAS PROPANO	300	Ton/día	N T	N T	N T	0,20	Kg/Ton	0,0000	Kg/día
	7	160318	SURTIDORES DE AVES	ASADERO-RESTAURANTE	H552100	AV 68 # 17 - 64 SUR	ASADO	CARBON	2	Ton/día	N T	N T	N T	12	Kg/Ton	0,5760	Kg/día
							ASADO	GAS NATURAL	1,07	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0031	Kg/día
	8	160320	PANADERIA TIO SAM	PANIFICADORA	D155100	AV 68 # 17 - 70	HORNEADO	GAS NATURAL	2,2	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0064	Kg/día
	9	160326	ASADERO SUMINISTRABES 22	ASADERO	H552100	CL 6 # 65 A - 38	ASADO	GAS PROPANO	300	Ton/día	N T	N T	N T	0,20	Kg/Ton	0,0000	Kg/día
	10	160070	LA FAMILIA DEL SAZON	POLLO FRITO	H552100	CR 68 # 13 - 28	ASADO	GAS PROPANO	100	Ton/día	N T	N T	N T	0,20	Kg/Ton	0,0000	Kg/día
	11	160159	PPC LTDA	PROCESO Y COMERCIALIZACION DE ALIMENTOS	D158900	CR 53 A # 10 - 92	VAPOR	ACPM	480	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0351	Kg/día
	12	160400	CAFÉ COLONIAL CAFESA LTDA	TOSTADORA DE CAFÉ	D156300	CR 65 B # 12 A - 35	VAPOR	GAS NATURAL	18	m³/día	N T	CICLON	0,8	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0001	Kg/día
	13	160485	TORTAS Y PASTELES ARCORIS	FABRICA DE TORTAS	D155100	CR 66 A # 12 A - 37	HORNEADO	ACPM	200	m³/día	N T	N T	N T	1,2	Kg/m³	0,0302	Kg/día
	14	160492	FRESCO INDUSTRIAL LTDA	DESP. FRUTAS	D158900	CR 65 B # 10 A	VAPOR	ACPM	20	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0002	Kg/día
	15	160635	ALIMENTOS NUTRIAN S.A	FABRICACION DE ALIMENTOS PARA MASCOTAS	NO TIENE	Cr 60 # 16 - 89	VAPOR	GAS NATURAL	10000	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0405	Kg/día
FABRICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS Y PRODUCTOS QUIMICOS DERIVADOS DEL PETROLEO	16	160668	COMPANIA NACIONAL DE CHOCOLATES	FABRICACION Y DISTRIBUCION DE ALIMENTOS	D151800	Cr 65 # 12 - 60	ENERGIA	ACPM	7,9	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,4157	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	300	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0365	Kg/día
	17	160673	CENTRAL DE CAFICULTORES DE	COMERCIALIZACION DE CAFÉ	D156100	Cr 63 A # 14 - 29	VAPOR	ACPM	40	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0877	Kg/día
							ASADO	CARBON	500	Ton/día	N T	N T	N T	12	Kg/Ton	0,8571	Kg/día
	18	160677	EL POLLO DE ORO	ASADERO	H552100	Av 63 # 10 - 06	VAPOR	ACPM	35	m³/día	N T	TAMPER	80%	1,2	Kg/m³	0,1588	Kg/día
							VAPOR	ACPM	250	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0183	Kg/día
	19	160013	PLEXACRYL LTDA	PRODUCCION DE ACRILICOS	D252000	CR 66 # 8 - 68	VAPOR	ACPM	120	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0088	Kg/día
	20	160398	ACQUADES LTDA	PROD. VENTA DESTILADO DE AGUA	E410002	CR 67 A # 10 - 61	VAPOR	ACPM	120	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	1,8386	Kg/día
	21	160590	FOSDERQUIMICO DE COLOMBIA LTDA	FABRICACION DE MATERIAS PRIMAS PARA	D242200	Cr 56 # 16 - 68	VAPOR	GAS NATURAL	200	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0008	Kg/día
							VAPOR	ACPM	25	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	1,3154	Kg/día
	22	160594	ROPSOHN THERAPEUTICS LTDA	FABRICA DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS	D242300	Cr 62 # 10 - 31	VAPOR	ACPM	55	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	2,8940	Kg/día
							ENERGIA	ACPM	85	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0005	Kg/día
	23	160618	ETERNO S.A	FABRICA DE PRODUCTOS DE CAUCHO	D251905	Cr 68 # 14 - 25	VAPOR	FUEL OIL	2000	m³/día	N T	CICLON	80	1,489	Kg/m³	0,3752	Kg/día
							VAPOR	COMBUSTOLEO	8000	m³/día	N T	N T	N T	4,6	Kg/m³	4,6368	Kg/día
	24	160647	CYQUIM DE COLOMBIA S.A	PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES	D242900	Cr 62 # 12 - 45	ENERGIA	ACPM	150	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0009	Kg/día
	25	160652	LABORATORIOS ALFRY LTDA	FABRICACION DE PRODUCTOS CAPILARES	D242400	Cr 68 # 8 - 50	VAPOR	ACPM	3,25	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,1710	Kg/día
							VAPOR	ACPM	30,3	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	1,5943	Kg/día
							VAPOR	ACPM	45,5	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	2,3941	Kg/día
	26	160664	SCHERING PLOUGH S.A.	LABORATORIO FARMACEUTICO	D242300	Av 68 # 19 - 20	ENERGIA	ACPM	9	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,4736	Kg/día
							ENERGIA	ACPM	22	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	1,1576	Kg/día
							ENERGIA	ACPM	31	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	1,6311	Kg/día
	27	160679	CO2 COLOMBINA LTDA	PRODUCCION DE DIOXIDO DE CARBONO	D241103	Cr 68 # 11 - 25	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	400	m³/día	N T	TORRE	95	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0016	Kg/día
							VAPOR	GAS NATURAL	28	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0817	Kg/día
	28	160688	HAARMANN Y REIMES DE COLOMBIA LTDA.	FABRICACION FRAGANCIAS Y SABORES	D242900	Cr 58 # 10 - 80	VAPOR	GAS NATURAL	28	m³/día	N T	N T	N T	121,6	Kg/10⁶ m³	0,0817	Kg/día
							ENERGIA	ACPM	120	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	6,3141	Kg/día
	29	160691	MERCK DE COLOMBIA S.A	ELABORACION DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS	D242300	Cr 65 # 10 - 95	CALENTAMIENTO	ACPM	10	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,5262	Kg/día
							CALENTAMIENTO	ACPM	45	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	2,3678	Kg/día
	30	160699	CAPILL FRANCE	ELABORACION COSMETICOS	D242400	Cr 62 # 19 - 19	VAPOR	ACPM	2	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,1052	Kg/día
							VAPOR	ACPM	25	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	1,3154	Kg/día
	31	160715	ROPSOHN LABORATORIOS LTDA	FABRICACION DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS	D242300	Cr 62 # 10 - 31	VAPOR	ACPM	8,5	m³/día	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,4472	Kg/día

SECTOR INDUSTRIAL	Nº	CODIGO DE LA EMPRESA	NOMBRE COMERCIAL	ACTIVIDAD DE LA EMPRESA	CODIGO CIU	DIRECCIÓN	PROCESO INDUSTRIAL	COMBUSTIBLE	CONSUMO	UNIDADES	PERMISO	E. C.	% E	F. E.	UNIDADES	[] DE MP	UNIDADES
FABRICACION DE PRODUCTOS METALICOS, MAQUINARIA Y EQUIPO	32	160138	METALFISCHER	METALMECANICA	D289100	CR 54 # 9 - 77	PINTURA	CARBON	100	Ton/dia	N T	N T	N T	8,34	Kg/Ton	0,0001	Kg/dia
	33	160389	EXHIBIDORES E.U	F. EXHIBIDORES METALICAS	D361300	CR 60 # 8 - 51	SOLDADURA	GAS PROPANO	600	m³/dia	N T	N T	N T	0,20	Kg/m³	0,0025	Kg/dia
	34	160395	MONTAJES SAVART	MONTAJES ELECTRICOS FABR.	D319000	CR 67A # 10 A - 56	HORNEADO	GAS NATURAL	139,26	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0006	Kg/dia
	35	160646	FABRITORNILLOS GUTEMBERTO S.A.	FABRICACION TORNILLOS	D289903	Cr 68 # 12 A - 13	HORNEADO	GAS NATURAL	21	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0001	Kg/dia
	36	160696	CORPORACION DE ACERO CORPACERO	GALVANIZACION PRODUCTO ACERO	D289201	Cr 68 # 23 - 52	TEMPLADO	GAS PROPANO	1800	m³/dia	N T	N T	N T	0,20	Kg/m³	0,0454	Kg/dia
							ENERGIA	ACPM	5	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,2631	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	50	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1459	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	50	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1459	Kg/dia
	37	160161	LAVASECO RENOVA EXPRESS	LAVANDERIA	O930100	CR 68 # 14 - 40	GALVANIZACION	GAS NATURAL	60	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1751	Kg/dia
							GALVANIZACION	GAS NATURAL	70	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,2043	Kg/dia
LAVANDERIA	37	160161	LAVASECO RENOVA EXPRESS	LAVANDERIA	O930100	CR 68 # 14 - 40	VAPOR	ACPM	1,58	m³/dia	N T	FILTRO	0,95	0,58	Kg/m³	0,0831	Kg/dia
	38	160018	LAVANDERIA MONACO	LAVASECO	O930100	CL 6 # 64 A - 10	VAPOR	ACPM	1	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0526	Kg/dia
	39	160069	LAVASECO SAN GABRIEL	LAVANDERIA	O930100	CR 57 # 8 - 09 202	VAPOR	ACPM	9	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0197	Kg/dia
	40	160327	LIMPIASECO LUJOMATICO	LAVANDERIA	O930100	CL 6 # 65 - 10	VAPOR	ACPM	290	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0212	Kg/dia
	41	160369	LAVASECO MILINTEX	LAVASECO	O930100	TR 63 # 17 - 03	VAPOR	ACPM	5	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0110	Kg/dia
	42	160371	LAVASECO LUJOEXPRESS	LAVASECO	930100	TR 63 # 18 - 11	VAPOR	GAS NATURAL	900	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0036	Kg/dia
	43	160480	LUJOTEX	LAVANDERIA ROPA	O930100	CR 60 A # 8 - 76	VAPOR	ACPM	4,5	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	2,0684	Kg/dia
	44	160591	LAVASECO LOS ANGELES	LAVANDERIA	O930100	Cr 54 # 15 - 32	VAPOR	ACPM	400	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,0292	Kg/dia
	45	160348	TINTORERIA HILOCOLOR LTDA	TIÑE TEXTILES	D172000	CR 67 A # 8 - 45	VAPOR	FUEL OIL	4000	m³/dia	N T	N T	N T	1,489	Kg/m³	0,7505	Kg/dia
	46	160516	TEXTURIZADORA WIN LON LTDA	ELABORACION DE HILZAS	D171000	CR 62 # 11 - 16	VAPOR	GAS NATURAL	16000	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0649	Kg/dia
TEXTIL, PRENDAS DE VESTIR E INDUSTRIA DEEL CUERO	47	160518	TINTORERIA ASITEX LTDA	TEÑIDO Y VENTA DE TEXTILES	D173000	CR 63 # 19 - 43	VAPOR	GAS NATURAL	146815,7	m³/dia	N T	CICLON	0,8	121,6	Kg/10*6 m3	0,5951	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	146815,7	m³/dia	N T	CICLON	0,8	121,6	Kg/10*6 m3	0,5951	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	146815,7	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,5951	Kg/dia
	48	160593	TINTORERIA POWER	TINTURA DE TEXTIL	O930104	Cr 57 # 14 - 25	VAPOR	ACPM	70	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,1535	Kg/dia
	49	160595	TINTURAS Y TEXTILES S.A	TINTURA DE TEXTIL	O930104	Cr 63 # 17 - 91	VAPOR	ACPM	8	m³/dia	N T	CICLON	80	0,58	Kg/m³	0,4209	Kg/dia
							VAPOR	ACPM	6	m³/dia	N T	CICLON	80	0,58	Kg/m³	0,3157	Kg/dia
							VAPOR	FUEL OIL	10	m³/dia	N T	N T	N T	1,489	Kg/m³	1,3508	Kg/dia
	50	160634	INU DURATEX	FABRICACION DE ALFOMBRAS	NO TIENE	Cr 63 # 17 - 07	VAPOR	ACPM	15	m³/dia	NO	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,7893	Kg/dia
	51	160661	TEXTILIA LTDA	FABRICACION DE TELAS Y PAÑOS	D172000	Cr 60 # 12 - 46	SECADO	GAS NATURAL	11	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0321	Kg/dia
	52	160670	TEXTILES CONCORD S.A.	FABRICACION DE TEXTILES DE HILAZAS	NO TIENE	CI 10 # 60 - 88	VAPOR	GAS NATURAL	2500	m³/dia	N T	CICLON	80	121,6	Kg/10*6 m3	0,3040	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	1500	m³/dia	N T	CICLON	80	121,6	Kg/10*6 m3	0,1824	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	1000	m³/dia	N T	CICLON	80	121,6	Kg/10*6 m3	0,1216	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	2153	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,2618	Kg/dia
							ENERGIA	ACPM	40	m³/dia	N T	FILTRO	N T	0,58	Kg/m³	0,0877	Kg/dia
							SECADO	GAS NATURAL	1000	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1216	Kg/dia
	53	160672	PATEL S.A.	CONFECCION DE PRENDAS DE VESTIR	D181000	CI 12 # 60 - 08	VAPOR	GAS NATURAL	1000	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1216	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	12,5	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0015	Kg/dia
	54	160693	BORDICOL LTDA.	TEXTIL	D174906	Cr 68 A # 22 - 16	VAPOR	GAS NATURAL	12,5	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0015	Kg/dia
	55	160695	COLORTEX LTDA.	ACABADOS TEXTILES	D172000	Cr 54 # 10 - 62	ENERGIA	ACPM	5	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,2631	Kg/dia
							VAPOR	FUEL OIL #6	47	m³/dia	N T	CICLON	99	1,489	Kg/m³	6,3489	Kg/dia
							VAPOR	FUEL OIL #6	28	m³/dia	N T	CICLON	99	1,489	Kg/m³	3,7823	Kg/dia
							VAPOR	FUEL OIL #6	22	m³/dia	N T	CICLON	99	1,489	Kg/m³	2,9718	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	88	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,2568	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	55	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1605	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	44	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1284	Kg/dia
							VAPOR	GAS NATURAL	35,2	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,1027	Kg/dia
OTRAS INDUSTRIAS	56	160667	HENKEL COLOMBIANA S.A	MANUFACTURAS/COMERCIALIZACION	D242400	CI 17 # 68 C - 61	VAPOR	GAS NATURAL	33	m³/dia	N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0963	Kg/dia
							INCINERACION	ACPM	12	m³/dia	N T	N T	N T	1,8	Kg/m³	1,9596	Kg/dia
							VAPOR	ACPM	8,25	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,4341	Kg/dia
							INCINERACION	ACPM	3,5	m³/dia	N T	N T	N T	1,8	Kg/m³	0,5715	Kg/dia
	57	160134	ALASKA INVERSIONES LTDA	FUNDICION	D272905	CR 53 # A 9 - 04	ENERGIA	ACPM	7,9	m³/dia	N T	N T	N T	0,58	Kg/m³	0,4157	Kg/dia
	58	160614	CORPORACION CLUB SOCIAL Y DEPORTES	CLUB SOCIAL	O919900	Cr 62 # 12 - 00	ASADO	GAS NATURAL	623	m³/dia	N T	FILTRO	0,95	1,2	Kg/m³	0,0015	Kg/dia
											N T	N T	N T	121,6	Kg/10*6 m3	0,0025	Kg/dia

Fuente: DAMA y Autores

ANEXO 2

INVENTARIO DE EMISIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN LA MERCED

SECTOR INDUSTRIAL	Nº	CODIGO DE LA EMPRESA	NOMBRE COMERCIAL	ACTIVIDAD DE LA EMPRESA	CODIGO CIU	DIRECCIÓN	PROCESO INDUSTRIAL	COMBUSTIBLE	CONSUMO	UNIDADES	PERMISO	E. C.	% E	F. E.	UNIDADES	[] DE MP	UNIDADES
PRODUCTOS ALIMENTICIOS, DEBIDAS Y TABACO	1	160001	MOLINOS LAS MERCEDES S.A.	PROCESAMIENTO DE CEREALES T	D154100	CI 16 # 32 - 76	ENERGIA	ACPM	3	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1579	Kg/día
	2	160037	PRODUCTOS CARNICOS WALTER LTDA	FABRICACION EMBUTIDOS	D151104	CR 34 A # 5 C - 27	VAPOR	ACPM	500	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0731	Kg/día
	3	160046	KOYOMAD S.A.	FABRICACION Y ELABORACION PRODUCTOS CARNICOS	D151104	CR 39 A # 16 - 11	ENERGIA	ACPM	20	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	1.0524	Kg/día
	4	160061	POLLO ANDINO LTDA	CRÍA SACRIFICIO Y COMERCIO POLLO	D151109	DG 7 # 37 - 47	VAPOR	GAS NATURAL	3659	m³/día	N T	N T	N T	121.6	Kg/10'6 m3	0.0404	Kg/día
	5	160357	COMESTIBLES ALFA LTDA	COMERC. AL POR MAYOR DE PROD.	D158900	CR 31 # 22 B - 79	VAPOR	ACPM	1.51	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0795	Kg/día
	6	160436	CASA DEL RHIN	ELABORACION DE VINOS	D159200	CR 30 # 9 - 35	VAPOR	ACPM	9	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.4736	Kg/día
	7	160564	TOSTADORA DE CAFÉ DON PACO	TOSTADORA DE CAFÉ	D156401	CL 11 # 29 - 15	VAPOR	GAS NATURAL	7048	m³/día	N T	N T	N T	121.6	Kg/10'6 m3	0.0286	Kg/día
	8	160343	PASTAS SIMONETTA	FABRICACION PASTA ALIMENTICIA	D155200	CR 44 # 19 - 77	VAPOR	ACPM	6	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.3157	Kg/día
	9	160363	HELADOS BENNY'S NTURAL ICE CREAM	PRODUCCION DE HELADOS	D153005	AV AMERICAS # 39	VAPOR	ACPM	6.3	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.3315	Kg/día
	10	160414	LACTICREMA LTDA	FCA. HELADOS	D153005	CR 32 # 10 - 87	TOSTADO	ACPM	13	m³/día	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.0590	Kg/día
	11	160550	PRODUCTOS DE LIMENTOS TROPI CREM	PROD. DE HELADOS	D153005	CR 33 # 10 - 81	TOSTADO	ACPM	13	m³/día	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.0590	Kg/día
	12	160662	EMPRESA DE LICORES DE CUNDINAMARCA	PRODUCCION DE LICOR	D151900	Cr 36 # 10 - 95	VAPOR	GAS NATURAL	200	m³/día	N T	N T	N T	121.6	Kg/10'6 m3	0.0008	Kg/día
	13	160112	INDUSTRIA SALSAMENTARIA EL BOHEMIO LTDA	PRODUCCION COMERCIALIZACION DE DERIVADOS CARNICOS	D151104	CR 39 A # 16 - 30	VAPOR	GAS NATURAL	230	m³/día	N T	N T	N T	121.6	Kg/10'6 m3	0.0009	Kg/día
	14	160653	SAN MARCOS ANGELO ROVIDA Y CIA S C A	PRODUCCION DE PASTAS ALIMENTICIAS	D155200	Cr 40 # 15 - 61	ENERGIA	ACPM	55	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0007	Kg/día
	15	160605	DULCES EL ROSAL	INDUSTRIA -ELABORACION DE DULCES	D158900-	CI 9 # 34 - 39	ENERGIA	ACPM	55	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0007	Kg/día
	16	160617	INDULEMA S.A	PASTEURIZACION DE LECHE ENTERA	D153001	Cr 40 # 8 - 43	VAPOR	ACPM	85	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1864	Kg/día
	17	160642	PRODUCTOS LA PERSA LTDA	FABRICACION COM. DE PRODUCTOS	D154100	CI 10 # 40 - 67	COCCION	GAS	150	Kg/día	N T	N T	N T	0.22	Kg/Ton	0.0000	Kg/día
	18	160681	PASTAS SAN MARCOS	FABRICACION DE PASTAS ALIMENTICIAS	D155200	Cr 40 # 15 - 61	VAPOR	ACPM	7	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.3683	Kg/día
	19	160683	TOSCAFE LTDA.	TOSTADORA DE CAFE	D156300	Cr 41 # 13 - 83	VAPOR	ACPM	7	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.3683	Kg/día
	20	160703	UNILEVER ANDINA S A	ELABORACION MARGARINAS Y ACEITES	D152200	CR 46 # 13 - 18	COCCION	ACPM	6.94	m³/día	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.7555	Kg/día
	21	160601	MAUROS FOOD LTDA	PROD. DE ALIMENTOS	D158900	CI 12 A # 44 - 80	VAPOR	ACPM	33	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0072	Kg/día
	22	160036	SALSAMENTARIA MART MORE	PRODUCCION ALIMENTOS	D151104	CR 34 A # 3 C - 41	VAPOR	ACPM	50	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1096	Kg/día
	23	160088	PANADERIA GIGIO	PANADERIA	D155100	CR 51# 8 - 05	VAPOR	ACPM	4	m³/día	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.0181	Kg/día
	24	160336	SURTIAVES 22	ASADERO POLLOS	H552100	TR 40 # 4 A - 34	TOSTADO	ACPM	4	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2412	Kg/día
	25	160338	DELIAVES 22	ASADERO DE POLLOS	H552100	TR 40 A # 6 - 13	VAPOR	ACPM	110	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2412	Kg/día
	26	160278	SURTIAVES DE LA 22	ASADERO	H552100	CL 8 # 47 A - 11	VAPOR	ACPM	110	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2412	Kg/día
	27	160301	LA PARRILLA CALENTANA	ASADERO	H552100	CL 3 # 49 - 21	TOSTADO	ACPM	6	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.6532	Kg/día
	28	160349	INDUSTRIAS DE ALIMENTOS VIGOR LTDA	FABRICACION Y PRODUC. DE ALIMENTOS	D155100	CR 42 # 12 B - 40	TOSTADO	ACPM	4	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.4355	Kg/día
	29	160283	EL CARBON	RESTAURANTE	H552100	TR 40 A # 6 - 29	TOSTADO	ACPM	2	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2177	Kg/día
	30	160023	CARLOS PINZON EL BRASERO DEL POLLO	ASADERO	H552100	CR 47 # 7 - 93	VAPOR	ACPM	13.8	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.7261	Kg/día
	31	160380	COMALPAN	FABRICACION DE PAN	D155100	Cr 32 # 1 C - 03	VAPOR	ACPM	15.6	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.8208	Kg/día
	32	160420	SURTIDORA DE LA 22 /2	ASADERO DE POLLOS	H552100	CL 10 # 32 - 32	VAPOR	ACPM	15	m³/día	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.7893	Kg/día

SECTOR INDUSTRIAL	Nº	CODIGO DE LA	NOMBRE COMERCIAL	ACTIVIDAD DE LA EMPRESA	CODIGO CIU	DIRECCION	PROCESO INDUSTRIAL	COMBSTIBLE	CONSUMO	UNIDADES	PERMISO	E. C.	% E	F. E.	UNIDADES	[] DE MP	UNIDADES S
FABRICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS Y PRODUCTOS QUIMICOS DERIVADOS DEL PETROLEO	33	160024	LABORATORIOS SYNTHESIS LTDA R CIA S.C.A.	LABORATORIO FARMACEUTICO	D242300	CR 44 # 20 - 73	VAPOR	GAS NATURAL	3960	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0161	Kg/dia
	34	160098	LABORATORIOS GENERICOS FARMACEUTICOS	FABRICACION PRODUCTOS FARMACEUTICOS	D242300	CL 18 # 44 A - 20	ENERGIA	ACPM	800	kg/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0585	Kg/dia
	35	160109	LABORATORIOS CALIFORNIA S.A	ELABORACION Y DISTRIBUCION DE PRODUCTOS	D242300	CL 15 # 40 - 11	VAPOR	ACPM	3	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1579	Kg/dia
	36	160101	PRODUCTOS FARMACEUTICOS Y COSMETICOS	PREPARACION COSMETICOS	D242414	CL 20 # 44 A - 78	VAPOR	ACPM	0.5	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0263	Kg/dia
	37	160720	SCHERING COLOMBIANA S.A	PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE MEDICAMENTOS	D242300	Cr 33 # 18 - 33	VAPOR	ACPM	18	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.9471	Kg/dia
	38	160720	SCHERING COLOMBIANA S.A	PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE MEDICAMENTOS	D242300	Cr 33 # 18 - 33	VAPOR	ACPM	10	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.5262	Kg/dia
	39	160720	SCHERING COLOMBIANA S.A	PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE MEDICAMENTOS	D242300	Cr 33 # 18 - 33	VAPOR	ACPM	18	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.9471	Kg/dia
	39	160354	HARTUNG Y CIA S.A	FAB. YUTA POTOS COSMETICOS	D242300	CR 34 # 17 - 61	VAPOR	ACPM	6	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/Ton	0.3157	Kg/dia
	40	160694	ROCHE S.A.	DISTRIBUCION DE MEDICAMENTOS Y PREMEZCLAS VITAMINICAS	D242300	Cr 44 # 17 - 21	VAPOR	ACPM	24	m³/dia	N R	N T	N T	0.58	Kg/m³	1.2628	Kg/dia
	41	160351	TREE PLAST S.A	FABRICACION ARBOLES PLASTICOS	D252900	CR 40 A # 8 - 60	ENERGIA	ACPM	60	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0004	Kg/dia
	42	160697	PROENFAR S.A	PRODUCCION Y VENTA ENVASES PLASTICOS	D252900	CI 10 # 36 A - 13	ENERGIA	ACPM	25	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	1.3154	Kg/dia
	43	160047	LUMOS LTDA	FABRICA DE PROD. QUIMICOS PLASTISOLES	D242900	CL 19 # 33 - 50	FUNDICION	ACPM	2	m³/dia	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.2177	Kg/dia
	44	160445	ENCIFANPA	PROD. ABONOS AGRICOLAS	D241200	CL 12 B # 47 - 47	SECADO	ACPM	33.3	m³/dia	N T	FILTRO	80	1.8	Kg/m³	0.2266	Kg/dia
	45	160100	ALL STAR LTDA	PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE CAUCHO	D251300	CL 9 # 40 - 50	VAPOR	ACPM	2	m³/dia	N T	CICLON	N T	0.58	Kg/m³	0.1052	Kg/dia
	46	160147	MANUFACTURAS DE CAUCHO	FAB DE EMPAQUES DE CAUCHO	D251300	CR 31 A # 6 - 67	VAPOR	ACPM	2	m³/dia	N T	CICLON	N T	0.58	Kg/m³	0.1052	Kg/dia
	47	160439	INDUSTRIAS POLICAR	FAB. PRODUCTOS CAUCHO	D251000	CL 8 # 30 - 46	VAPOR	ACPM	4	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2105	Kg/dia
	FABRICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS Y PRODUCTOS QUIMICOS DERIVADOS DEL PETROLEO	48	160650	DERSA SA	FABRICACION DE JABONES Y DETERGENTES	D242400	Cr 36 # 5 C - 09	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	24735	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	2.0441
49		160698	GRASCO S.A	FABRICACION Y VENTA DE GRASAS Y ACEITES	D152200	Cr 35 # 7 - 50	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	24735	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	2.0441	Kg/dia
50		160665	BATERIAS ESPECIAL	FABRICACION DE BATERIAS	D314000	CI 9 # 33 - 37	CALENTAMIENTO	ACPM	10	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.5262	Kg/dia
51		160186	PARTIFLEX ALEX Y CIA	FAB. DE PARTES PLASTICAS	D252900	CL 7 # 30 - 33	CALENTAMIENTO	ACPM	10	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.5262	Kg/dia
52		160680	PRESERVACION AMBIENTAL LTDA	INCENERACION DE PRODUCTOS QUIMICOS	O90001	Cr 42 # 10 A - 35	SECADO	GAS NATURAL	10601	m³/dia	N T	FILTRO	99.5	121.6	Kg/10⁶ m³	0.8761	Kg/dia
53		160352	PROGALVANO S.A	FAB. DE PRODUCTOS QUIMICOS	D242902	CL 13 # 43 - 36	ENERGIA	ACPM	70	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	3.6832	Kg/dia
54		160716	AUTOMUNDIAL S.A	PRODUCCION BANDAS DE RODAMIENTO	D251103	CI 13 # 47 - 67	CALENTAMIENTO	ACPM	5.6	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2947	Kg/dia
55		160038	JEAN CARLO LTDA	CONFECCION ROPA MASCULINA	D181001	CR 37 # 7 - 49	CALENTAMIENTO	ACPM	5.6	m³/dia	S T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2947	Kg/dia
56		160204	CALZADO ATLAS LTDA	FABRICACION DE CALZADO	D192100	CL 13 A # 31 - 35	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	86	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.2510	Kg/dia
57		160546	CALZADO PALERMO	FAB. DE CALZADO PVC	D192100	CR 34 # 17 - 50	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	144	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.4202	Kg/dia
58		160467	CALZADO PALERMO	FAB. DE CALZADO PVC	D192100	CR 34 # 17 - 50	CALENTAMIENTO	GAS NATURAL	900	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0036	Kg/dia
59		160566	DONATEX	FAB. DE MEDIAS PARA DAMA	D175012	CR 38 # 12 - 34	CALENTAMIENTO	ACPM	3	m³/dia	N T	N T	N T	1.2	Kg/m³	0.3266	Kg/dia
60		160641	JEAN GEORGE	CONFECCION ROPA	D181000	CI 10 # 42 - 10	ROTOMOLDEO	GAS NATURAL	300	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0012	Kg/dia
61		160612	DISENOS GRAN CALIDAD LTDA	FAB. ROPA PARA HOMBRE	D181001	CI 12 # 41 - 12	INCINERACION	ACPM	16	m³/dia	N T	CAMARA	85%	20.1	Kg/m³	1.2156	Kg/dia
62		160700	PROQUINAL S.A	FABRICACION TELA VINILICA	D174900	CI 11 # 34 - 50	INCINERACION	ACPM	11.24	m³/dia	N T	CAMARA	85%	20.1	Kg/m³	0.8540	Kg/dia
63		160180	INTERNACIONAL BALL	FAB. DE BALONES	D369307	CL 7 # 32 - 44	HORNEADO	GAS	20	Kg/dia	N T	N T	N T	0.22	Kg/Ton	0.0479	Kg/dia
TEXTIL, PRENDAS DE VESTIR E INDUSTRIA DEEL CUERO		64	160495	INDUSTRIA DE CAUCHO HEVEA S.A	FAB. DE CALZADO PVC	D192100	CL 12 # 30 - 64	VAPOR	ACPM	7.61	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.4004
	65	160090	MARIO MARTINEZ GUERRERO	CONFECCION ROPA SPORT	D181000	CL 9 # 42 - 39	VAPOR	ACPM	40	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0877	Kg/dia
	66	160189	TECNAL LTDA	TEJIDOS	D172000	CL 7 # 38 - 27	ENERGIA	ACPM	2	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1052	Kg/dia
	67	160192	CUPERZ LTDA	FAB. DE ALFOMBRAS	D174200	TR 32 # 22 B - 64	VAPOR	ACPM	37	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0027	Kg/dia
	68	160434	CREACIONES O FRANC'S	CONFECCION PRENDAS DE VESTIR	D181000	CR 40 # 16 - 53 OF	ENCAUCHE	GAS NATURAL	83.3	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0061	Kg/dia
	69	160526	TINTORERIA IRIS	FAB. MATERIA DE CURACION	D172000	CR 34 A # 19 - 86	VAPOR	ACPM	10.4	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.5472	Kg/dia
	70	160566	DONATEX	FAB. DE MEDIAS PARA DAMA	D175012	CR 38 # 12 - 34	VAPOR	ACPM	5.2	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2736	Kg/dia
	71	160641	JEAN GEORGE	CONFECCION ROPA	D181000	CI 10 # 42 - 10	VAPOR	ACPM	5.2	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.2736	Kg/dia
	72	160612	DISENOS GRAN CALIDAD LTDA	FAB. ROPA PARA HOMBRE	D181001	CI 12 # 41 - 12	VAPOR	ACPM	7	m³/dia	N T	FILTRO	80	0.58	Kg/m³	0.0153	Kg/dia
	73	160700	PROQUINAL S.A	FABRICACION TELA VINILICA	D174900	CI 11 # 34 - 50	VAPOR	ACPM	20	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.0438	Kg/dia
	74	160180	INTERNACIONAL BALL	FAB. DE BALONES	D369307	CL 7 # 32 - 44	VAPOR	ACPM	8.5	m³/dia	S T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.4472	Kg/dia
	75	160495	INDUSTRIA DE CAUCHO HEVEA S.A	FAB. DE CALZADO PVC	D192100	CL 12 # 30 - 64	VAPOR	ACPM	10	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.5262	Kg/dia
	76	160090	MARIO MARTINEZ GUERRERO	CONFECCION ROPA SPORT	D181000	CL 9 # 42 - 39	VAPOR	GAS NATURAL	20	m³/dia	N T	FILTRO	100	0.58	Kg/m³	0.0658	Kg/dia
	77	160189	TECNAL LTDA	TEJIDOS	D172000	CL 7 # 38 - 27	VAPOR	CRUDO DE	7211	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0292	Kg/dia
	78	160192	CUPERZ LTDA	FAB. DE ALFOMBRAS	D174200	TR 32 # 22 B - 64	ENCAUCHE	GAS NATURAL	1000	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0000	Kg/dia
	79	160434	CREACIONES O FRANC'S	CONFECCION PRENDAS DE VESTIR	D181000	CR 40 # 16 - 53 OF	VAPOR	GAS NATURAL	4	m³/dia	N T	N T	N T	121.6	Kg/10⁶ m³	0.0117	Kg/dia
	80	160526	TINTORERIA IRIS	FAB. MATERIA DE CURACION	D172000	CR 34 A # 19 - 86	VAPOR	ACPM	50	m³/dia	N T	N T	N T	0.58	Kg/m³	0.1096	Kg/dia

**ANEXO 3. LECTURAS ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA METALES DEL ESTUDIO,
CONCENTRACIONES EN mg/L**

Ag									
Filtro	Fecha	INVIMA CON INTERFERENCIAS				INVIMA SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,001	-	-	0,001	-	-	-	-
2	24 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
3	25 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
4	26 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
5	27 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
6	28 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
7	29 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
8	30 - X - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
9	31 - X - 05	ILD	-	-	ILD	0,003	ILD	-	0,003
10	1 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,002	ILD	-	0,002
11	2 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
12	3 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,003	ILD	-	0,003
Ag									
Filtro	Fecha	MERCED CON INTERFERENCIAS				MERCED SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,001	-	-	0,001	-	-	-	-
1	13 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,002	ILD	-	0,002
2	14 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,004	ILD	-	0,004
3	15 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
4	16 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
5	17 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
6	18 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
7	19 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
8	20 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	ILD	-	-	ILD
9	21 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,003	ILD	-	0,003
10	22 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,009	ILD	-	0,009
11	23 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,013	0,004	-	0,017
12	24 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,01	ILD	-	0,01

Cd					
Filtro	Fecha	INVIMA			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,001	-	-	0,001
2	24 - X - 05	0,004	ILD	-	0,004
3	25 - X - 05	0,008	ILD	-	0,008
4	26 - X - 05	0,008	ILD	-	0,008
5	27 - X - 05	ILD	-	-	ILD
6	28 - X - 05	0,005	ILD	-	0,005
7	29 - X - 05	ILD	-	-	ILD
8	30 - X - 05	ILD	-	-	ILD
9	31 - X - 05	0,004	ILD	-	0,004
10	1 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
11	2 - XI - 05	0,004	ILD	-	0,004
12	3 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
Cd					
Filtro	Fecha	MERCED			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0	-	-	0
1	13 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
2	14 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
3	15 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
4	16 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
5	17 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
6	18 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
7	19 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
8	20 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
9	21 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
10	22 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
11	23 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
12	24 - XI - 05	ILD	-	-	ILD

Cr									
Filtro	Fecha	INVIMA CON INTERFERENCIAS				INVIMA SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,003	0,008	0,001	0,012	-0,002	0,001	0	-0,001
2	24 - X - 05	0,09	ILD	-	0,09	ILD	-	-	ILD
3	25 - X - 05	0,062	0,011	0,017	0,09	ILD	-	-	ILD
4	26 - X - 05	0,102	0,156	0,012	0,27	ILD	-	-	ILD
5	27 - X - 05	0,072	0,038	0,017	0,127	0,045	ILD	-	0,045
6	28 - X - 05	0,101	0,083	ILD	0,184	0,016	ILD	-	0,016
7	29 - X - 05	0,143	0,08	0,038	0,261	0,035	ILD	-	0,035
8	30 - X - 05	0,159	0,084	0,01	0,253	0,042	ILD	-	0,042
9	31 - X - 05	0,183	0,111	0,01	0,304	0,005	-	-	0,005
10	1 - XI - 05	0,21	0,112	0,008	0,33	0,044	ILD	-	0,044
11	2 - XI - 05	0,229	0,11	0,013	0,352	0,05	ILD	-	0,05
12	3 - XI - 05	0,258	0,119	ILD	0,377	ILD	-	-	ILD
Cr									
Filtro	Fecha	MERCED CON INTERFERENCIAS				MERCED SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		-	0,003	-	0,003	-0,002	0,001	-	-0,001
1	13 - XI - 05	0,078	ILD	-	0,078	0,01	ILD	-	0,01
2	14 - XI - 05	0,092	0,02	ILD	0,112	ILD	-	-	ILD
3	15 - XI - 05	0,737	0,164	0,033	0,934	0,84	0,137	0,086	1,063
4	16 - XI - 05	0,109	0,05	0,013	0,172	0,011	ILD	-	0,011
5	17 - XI - 05	0,399	0,121	0,083	0,603	0,353	0,073	0,063	0,489
6	18 - XI - 05	0,703	0,207	0,017	0,927	0,493	0,13	0,115	0,738
7	19 - XI - 05	0,046	ILD	-	0,046	ILD	-	-	ILD
8	20 - XI - 05	0,1	0,096	ILD	0,196	ILD	ILD	-	ILD
9	21 - XI - 05	0,173	0,106	ILD	0,279	0,013	ILD	-	0,013
10	22 - XI - 05	1,039	0,295	0,145	1,479	1,1	0,269	0,158	1,527
11	23 - XI - 05	0,2	0,167	0,01	0,377	0,22	ILD	-	0,22
12	24 - XI - 05	0,769	0,223	0,105	1,097	1,04	0,158	0,096	1,294

Cu					
Filtro	Fecha	INVIMA			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0	0	0	0
2	24 - X - 05	1,836	0,478	0,099	2,413
3	25 - X - 05	2,294	0,445	0,093	2,832
4	26 - X - 05	0,793	0,186	0,028	1,007
5	27 - X - 05	0,993	0,237	0,041	1,271
6	28 - X - 05	0,529	0,13	0,02	0,679
7	29 - X - 05	0,56	0,139	0,025	0,724
8	30 - X - 05	0,327	0,074	0,012	0,413
9	31 - X - 05	0,287	0,075	0,008	0,37
10	1 - XI - 05	0,446	0,086	0,019	0,551
11	2 - XI - 05	0,605	0,117	0,013	0,735
12	3 - XI - 05	0,38	0,062	0,021	0,463
Cu					
Filtro	Fecha	MERCED			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0	-0,001	0	-0,001
1	13 - XI - 05	0,263	0,052	0,005	0,32
2	14 - XI - 05	0,372	0,069	0,019	0,46
3	15 - XI - 05	0,661	0,139	0,023	0,823
4	16 - XI - 05	0,359	0,078	0,019	0,456
5	17 - XI - 05	0,277	0,058	0,028	0,363
6	18 - XI - 05	0,245	0,049	0,022	0,316
7	19 - XI - 05	0,401	0,113	0,029	0,543
8	20 - XI - 05	0,448	0,089	0,025	0,562
9	21 - XI - 05	0,489	0,096	0,032	0,617
10	22 - XI - 05	0,507	0,104	0,025	0,636
11	23 - XI - 05	0,361	0,093	0,03	0,484
12	24 - XI - 05	0,281	0,06	0,025	0,366

Fe									
Filtro	Fecha	INVIMA CON INTERFERENCIAS				INVIMA SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,006	0,003	0,004	0,013	0	0	0	0
2	24 - X - 05	0,94	0,415	0,107	1,462	2,804	0,845	0,288	3,937
3	25 - X - 05	2,084	0,522	0,136	2,742	2,14	0,49	0,036	2,666
4	26 - X - 05	4,242	1,201	0,307	5,75	3,168	0,774	0,055	3,997
5	27 - X - 05	2,86	0,865	0,238	3,963	5,136	0,642	0,193	5,971
6	28 - X - 05	1,784	0,626	0,156	2,566	1,612	0,636	0,134	2,382
7	29 - X - 05	2,624	0,887	0,519	4,03	2,31	0,625	0,198	3,133
8	30 - X - 05	2,602	0,786	0,268	3,656	2,18	0,393	0,188	2,761
9	31 - X - 05	3,592	1,125	0,311	5,028	3,156	0,79	0,776	4,722
10	1 - XI - 05	4,006	1,025	0,275	5,306	3,094	0,726	0,266	4,086
11	2 - XI - 05	3,718	1,024	0,275	5,017	2,928	0,598	0,265	3,791
12	3 - XI - 05	3,87	1,012	0,317	5,199	3,304	0,685	0,274	4,263
Fe									
Filtro	Fecha	MERCED CON INTERFERENCIAS				MERCED SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,002	0,001	0,003	0,006	0,001	0	0,001	0,002
1	13 - XI - 05	2,344	0,546	0,111	3,001	2,266	0,325	0,16	2,751
2	14 - XI - 05	4,48	0,844	0,41	5,734	3,052	0,69	0,234	3,976
3	15 - XI - 05	10,377	2,938	0,528	13,843	10,798	2,903	0,809	14,51
4	16 - XI - 05	10,192	2,533	0,435	13,16	8,888	2,03	0,402	11,32
5	17 - XI - 05	6,386	2,013	0,402	8,801	2,152	1,799	0,496	4,447
6	18 - XI - 05	6,422	2,262	0,212	8,896	5,074	1,396	0,61	7,08
7	19 - XI - 05	1,654	0,728	0,144	2,526	1,696	0,419	0,157	2,272
8	20 - XI - 05	2,972	0,874	0,216	4,062	2,236	0,532	0,354	3,122
9	21 - XI - 05	4,036	1	0,215	5,251	3,01	0,802	0,257	4,069
10	22 - XI - 05	13,419	4,455	0,906	18,78	2,16	3,818	1,184	7,162
11	23 - XI - 05	3,814	1,216	0,25	5,28	3,816	1,014	0,212	5,042
12	24 - XI - 05	8,894	2,576	0,826	12,296	8,24	1,745	0,556	10,541

Dilución 1-1

Dilución 1-2

Mn									
Filtro	Fecha	INVIMA CON INTERFERENCIAS				INVIMA SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,005	-0,001	-	0,004	0,001	-	0,001	0,001
2	24 - X - 05	0,018	ILD	-	0,018	-	-	-	-
3	25 - X - 05	0,008	ILD	-	0,008	-	-	-	-
4	26 - X - 05	0,064	ILD	-	0,064	0,096	0,047	0,016	0,143
5	27 - X - 05	0,006	ILD	-	0,006	0,045	0,04	0,024	0,085
6	28 - X - 05	ILD	-	-	ILD	0,083	0,061	0,028	0,083
7	29 - X - 05	0,015	ILD	-	0,015	0,081	0,045	0,025	0,126
8	30 - X - 05	ILD	-	-	ILD	0,06	0,043	0,029	0,06
9	31 - X - 05	0,028	ILD	-	0,028	0,094	0,039	0,037	0,133
10	1 - XI - 05	0,044	ILD	-	0,044	0,135	0,066	0,057	0,201
11	2 - XI - 05	0,034	ILD	-	0,034	0,121	0,058	0,039	0,179
12	3 - XI - 05	ILD	-	-	ILD	0,123	0,06	0,035	0,123
Mn									
Filtro	Fecha	MERCED CON INTERFERENCIAS				MERCED SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		-0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	-	0,002
1	13 - XI - 05	0,003	ILD	-	0,003	0,041	0,009	0,006	0,05
2	14 - XI - 05	0,032	ILD	-	0,032	0,069	0,032	0,007	0,101
3	15 - XI - 05	0,967	0,203	0,016	1,186	1,238	0,338	0,53	2,106
4	16 - XI - 05	0,763	0,163	0,027	0,953	0,947	0,23	0,018	1,195
5	17 - XI - 05	0,317	0,077	0,029	0,423	0,414	0,138	0,024	0,576
6	18 - XI - 05	0,482	0,12	0,019	0,621	0,594	0,123	0,019	0,736
7	19 - XI - 05	0,019	ILD	-	0,019	0,096	0,072	0,01	0,168
8	20 - XI - 05	0,045	ILD	-	0,045	0,121	0,076	0,035	0,197
9	21 - XI - 05	0,173	0,041	0,015	0,229	0,221	0,056	0,044	0,321
10	22 - XI - 05	1,31	0,315	0,139	1,764	1,551	0,362	0,161	2,074
11	23 - XI - 05	0,273	0,088	0,045	0,406	0,444	0,162	0,067	0,673
12	24 - XI - 05	0,638	0,182	0,088	0,908	0,879	0,23	0,1	1,209

Ni									
Filtro	Fecha	INVIMA CON INTERFERENCIAS				INVIMA SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		-0,003	0,009	0,002	0,008	-	0,001	0,002	0,003
2	24 - X - 05	0,07	0,036	0,023	0,129	0,162	ILD	-	0,162
3	25 - X - 05	0,104	0,039	0,013	0,156	0,117	0,077	0,063	0,257
4	26 - X - 05	0,111	0,029	0,006	0,146	0,149	0,063	0,025	0,237
5	27 - X - 05	0,146	0,033	0,016	0,195	0,193	0,152	0,077	0,422
6	28 - X - 05	0,164	0,023	0,016	0,203	0,309	0,159	0,099	0,567
7	29 - X - 05	0,182	0,046	0,029	0,257	0,299	0,232	0,228	0,759
8	30 - X - 05	0,186	0,047	0,028	0,261	0,494	0,206	0,035	0,735
9	31 - X - 05	0,206	0,045	0,032	0,283	0,504	0,234	0,129	0,867
10	1 - XI - 05	0,215	0,063	0,026	0,304	0,554	0,258	0,096	0,908
11	2 - XI - 05	0,243	0,067	0,037	0,347	0,645	0,373	0,304	1,322
12	3 - XI - 05	0,252	0,075	0,034	0,361	0,663	0,373	0,272	1,308
Ni									
Filtro	Fecha	MERCED CON INTERFERENCIAS				MERCED SIN INTERFERENCIAS			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones	1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,001	-	-	0,001	0,001	0,001	-	0,002
1	13 - XI - 05	0,019	ILD	-	0,019	0,019	ILD	-	0,019
2	14 - XI - 05	0,017	ILD	-	0,017	0,115	0,093	ILD	0,208
3	15 - XI - 05	0,063	ILD	-	0,063	0,126	0,089	ILD	0,215
4	16 - XI - 05	0,051	0,008	ILD	0,059	0,139	0,095	ILD	0,234
5	17 - XI - 05	0,049	0,008	0,008	0,065	0,195	0,133	ILD	0,328
6	18 - XI - 05	0,035	0,018	0,012	0,065	0,192	0,174	0,064	0,43
7	19 - XI - 05	0,026	0,015	0,01	0,051	0,234	0,225	0,021	0,48
8	20 - XI - 05	0,041	0,018	0,017	0,076	0,313	0,237	0,088	0,638
9	21 - XI - 05	0,048	0,026	ILD	0,074	0,4	0,285	ILD	0,685
10	22 - XI - 05	0,093	0,031	ILD	0,124	0,51	0,307	ILD	0,817
11	23 - XI - 05	0,065	0,029	0,014	0,108	0,5	0,371	0,143	1,014
12	24 - XI - 05	0,075	0,046	ILD	0,121	0,547	0,372	0,205	1,124

Pb					
Filtro	Fecha	INVIMA			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,003	0,003	0,001	0,007
2	24 - X - 05	0,502	0,035	ILD	0,537
3	25 - X - 05	4,152	0,838	0,327	5,317
4	26 - X - 05	6,77	1,548	0,375	8,693
5	27 - X - 05	2,398	0,577	0,291	3,266
6	28 - X - 05	0,278	0,145	ILD	0,423
7	29 - X - 05	0,375	0,29	ILD	0,665
8	30 - X - 05	0,363	0,185	ILD	0,548
9	31 - X - 05	3,109	0,801	0,409	4,319
10	1 - XI - 05	6,793	1,561	0,467	8,821
11	2 - XI - 05	0,587	0,389	0,365	1,341
12	3 - XI - 05	3,144	0,743	0,322	4,209
Pb					
Filtro	Fecha	MERCED			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,002	0,001	0,001	0,004
1	13 - XI - 05	3,251	0,681	0,574	4,506
2	14 - XI - 05	0,913	0,147	ILD	1,06
3	15 - XI - 05	29,68	5,464	0,631	35,775
4	16 - XI - 05	2,305	0,456	0,176	2,937
5	17 - XI - 05	4,721	0,832	0,186	5,739
6	18 - XI - 05	0,258	0,207	0,136	0,601
7	19 - XI - 05	0,465	0,269	0,042	0,776
8	20 - XI - 05	0,23	0,176	0,109	0,515
9	21 - XI - 05	0,537	0,239	ILD	0,776
10	22 - XI - 05	36,45	9,093	0,68	46,223
11	23 - XI - 05	0,362	0,322	0,131	0,815
12	24 - XI - 05	33,48	8,847	1,208	43,535

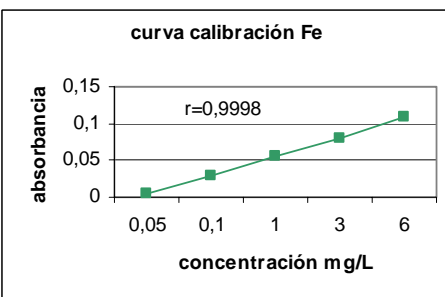
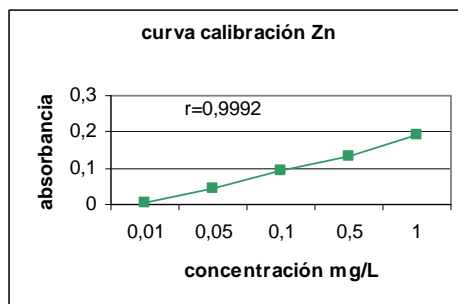
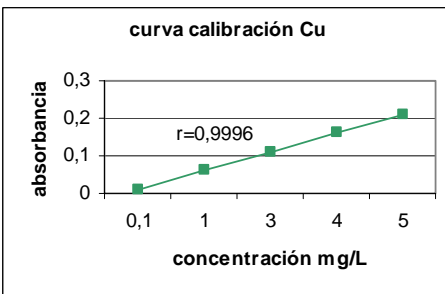
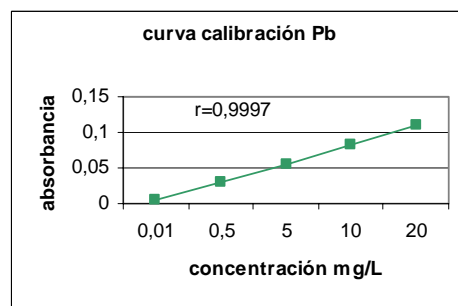
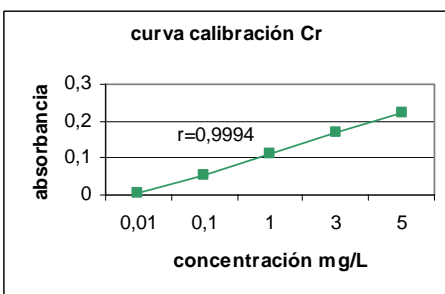
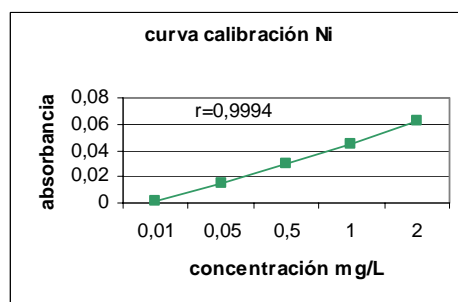
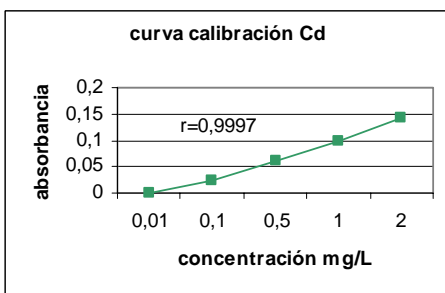
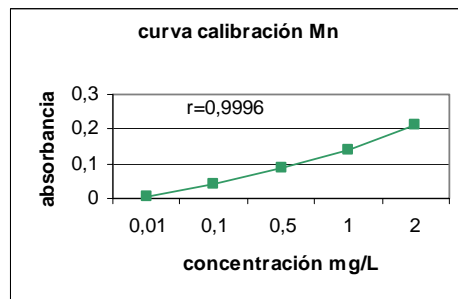
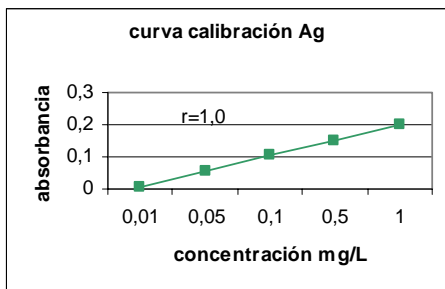
Dilución 1-1

Dilución 1-2

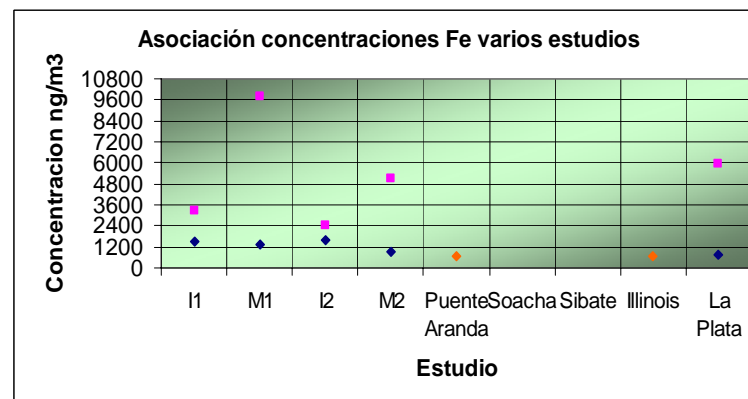
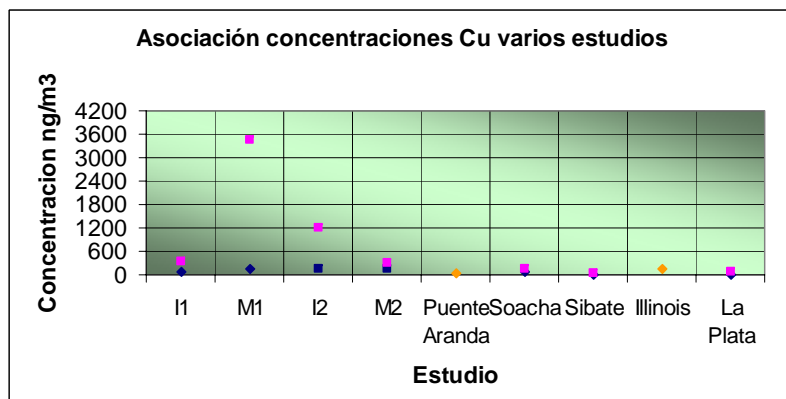
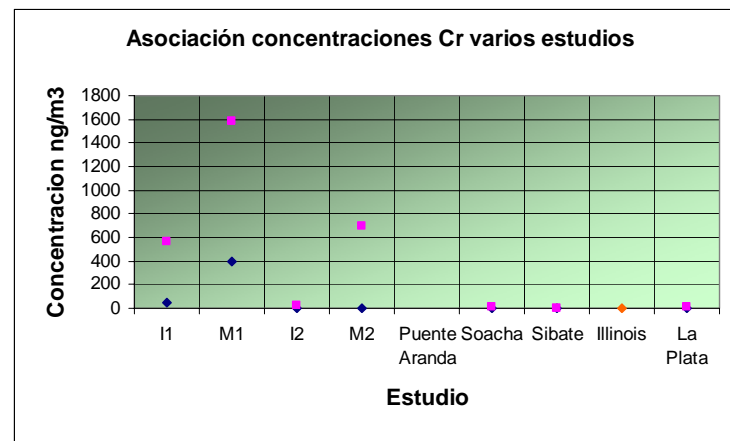
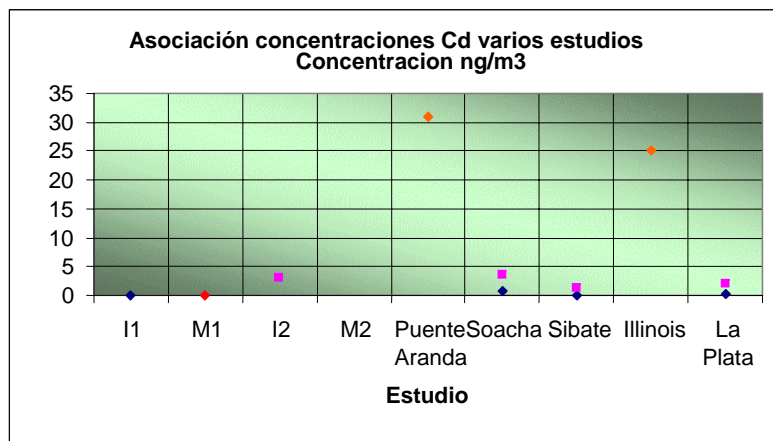
Zn					
Filtro	Fecha	INVIMA			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,001	0,001	0,001	0,001
2	24 - X - 05	-	-	-	-
3	25 - X - 05	2,38	0,083	-	2,463
4	26 - X - 05	1,1525	0,123	ILD	1,2755
5	27 - X - 05	0,795	0,079	ILD	0,874
6	28 - X - 05	0,25	ILD	-	0,25
7	29 - X - 05	0,74	ILD	-	0,74
8	30 - X - 05	0,67	ILD	-	0,67
9	31 - X - 05	0,855	ILD	-	0,855
10	1 - XI - 05	0,4575	0,085	ILD	0,5425
11	2 - XI - 05	0,09	ILD	-	0,09
12	3 - XI - 05	ILD	-	-	ILD
Zn					
Filtro	Fecha	MERCED			
		1ra extracción	2da extracción	3ra extracción	Sumatoria extracciones
Blanco		0,083	-	0,046	0,129
1	13 - XI - 05	0,054	0,006	ILD	0,06
2	14 - XI - 05	0,21	0,041	ILD	0,251
3	15 - XI - 05	1,05	0,259	ILD	1,309
4	16 - XI - 05	0,8275	0,187	ILD	1,0145
5	17 - XI - 05	0,205	0,106	ILD	0,311
6	18 - XI - 05	0,075	0,063	ILD	0,138
7	19 - XI - 05	0,465	0,364	ILD	0,829
8	20 - XI - 05	0,215	0,205	ILD	0,42
9	21 - XI - 05	0,8275	0,389	ILD	1,2165
10	22 - XI - 05	0,9275	0,35	ILD	1,2775
11	23 - XI - 05	0,7125	0,363	ILD	1,0755
12	24 - XI - 05	0,985	0,379	ILD	1,364

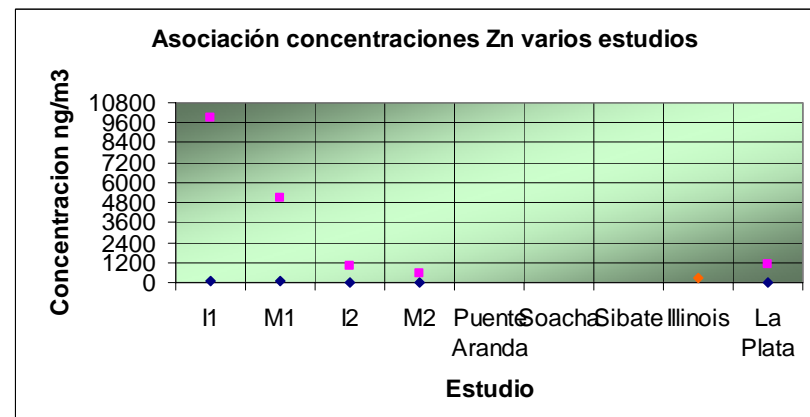
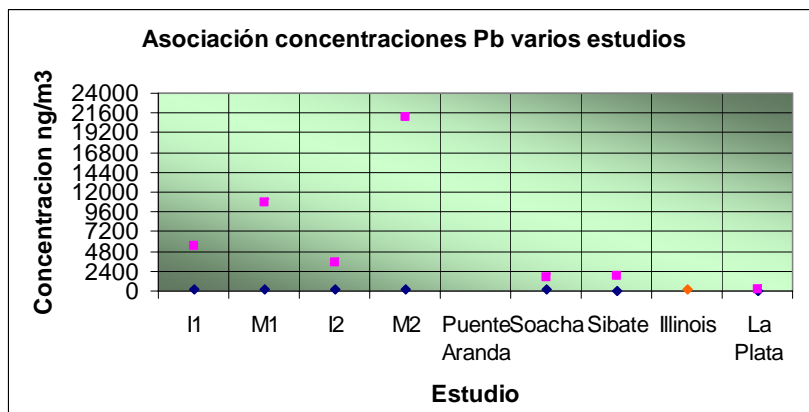
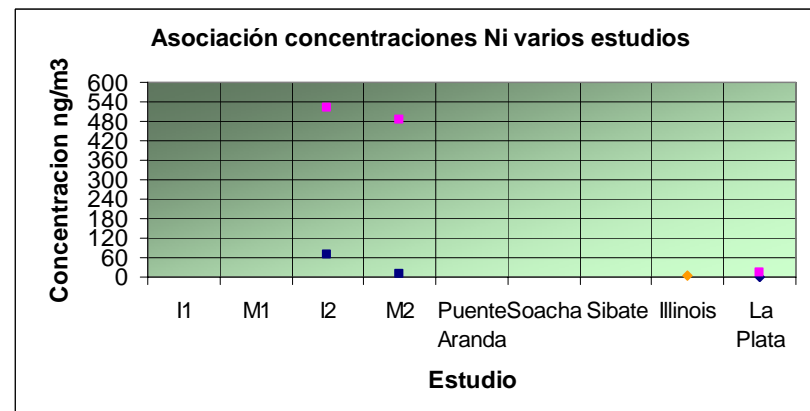
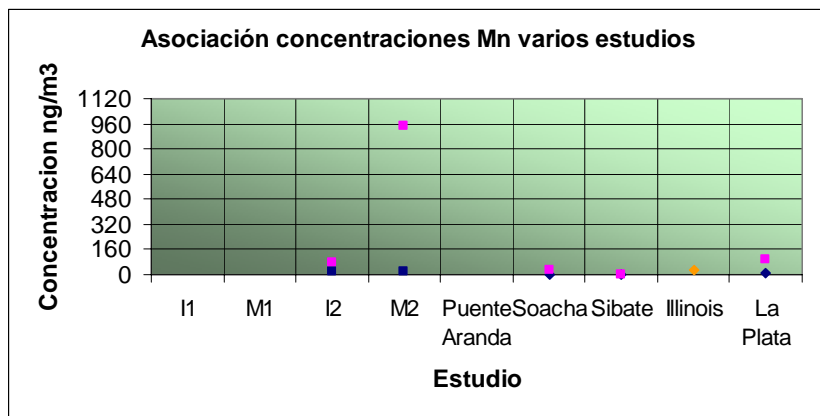
Dilución 1-1
Dilución 1-1,5

ANEXO 4. CURVAS DE CALIBRACIÓN REALIZADAS PARA LECTURA POR AA



ANEXO 5. ASOCIACIÓN DE CONCENTRACIONES DE METALES CON OTROS ESTUDIOS





ANEXO 6. RECUPERACIÓN DE RESIDUOS

A lo largo del trabajo en el laboratorio se manejan soluciones utilizadas para diferentes tareas como lo son la separación y extracción de los filtros, el lavado del material de laboratorio, la eliminación de interferencias, la preparación de patrones, las diluciones, etc.

En el momento que se obtuvieron las curvas de calibración, las absorbancias y los porcentajes de recuperación se generó un residuo considerable (Ácidos, soluciones y envases plásticos) para el cual se propone un manejo en aras de reducir el volumen de dicho residuo.

10.1 Envases de Polipropileno

En ellos se guardaron las muestras, prepararon patrones, concentraciones de chequeo, diluciones y soluciones para eliminar interferencias.

Numero de envases usados durante la Fase de Laboratorio

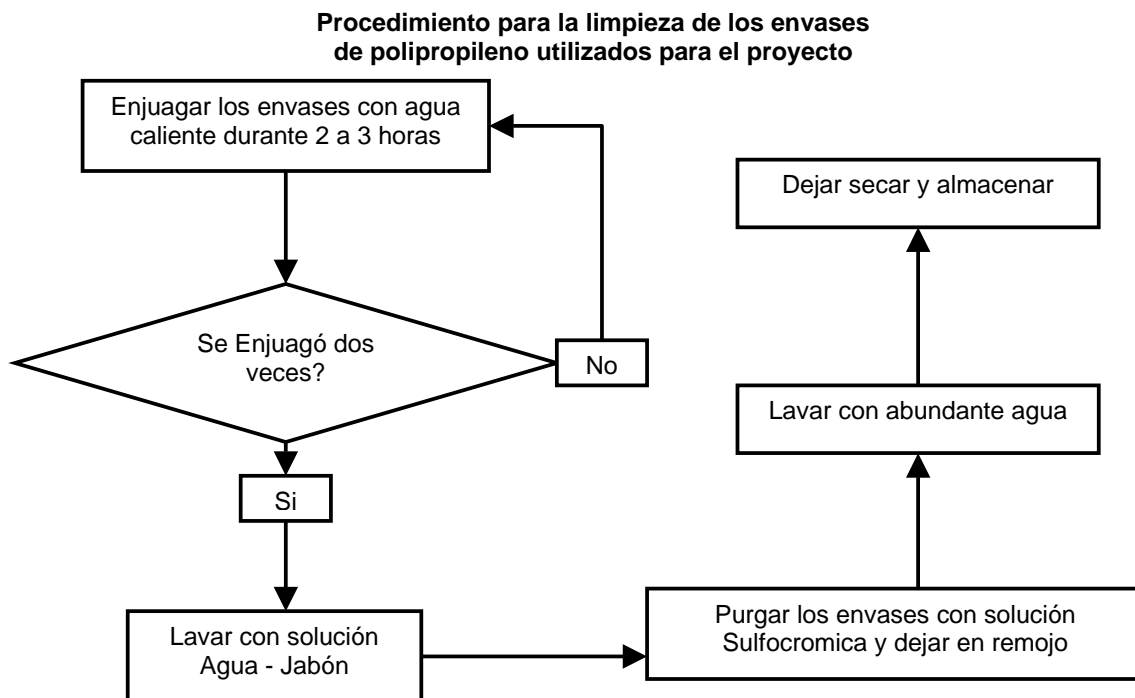
CONTENIDO DE ENVASES	NUMERO DE ENVASES UTILIZADOS
Muestras	72
Patrones (Curvas de Calibración)	45
Soluciones de Chequeo	9
Diluciones	138
Soluciones para eliminar interferencias	3
TOTAL	267

Fuente: Los Autores

Se utilizaron envases de polipropileno para muestras de orina de 100ml debido a que mantenían un grado de esterilización e higiene, factor importante para el

análisis de laboratorio. Los envases se usaron una sola vez con el fin de evitar la contaminación de las muestras.

Se realizó un lavado y limpieza de los envases para que pudieran ser reutilizados en prácticas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle. A continuación se presenta el procedimiento para la limpieza de los envases de polipropileno utilizados para el proyecto.



Fuente: Los Autores

Una vez desinfectados se les quitaron los rótulos y se dejaron listos para reutilizar en futuras prácticas.

10.2 Ácidos de extracción, soluciones patrón y soluciones para eliminar interferencias

Una vez realizado el trabajo, fue recogido en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de la Universidad de La Salle el residuo líquido proveniente del contenedor del equipo, este residuo resulta a partir de muestras que no fueron leídas porque no fueron atomizadas o porque el equipo ya había realizado la lectura de la muestra y desechó cualquier exceso.

Las soluciones patrón, las cuales tenían un alto contenido de los metales estudiados diluidos en agua, al igual que el remanente de muestras con que no fueron leídas (Solución de Acido Nítrico con Acido Clorhídrico) y las soluciones para eliminar interferencias fueron también envasadas en el contenedor del EAA.

**Volumen de residuos líquidos generados durante la
Fase de Laboratorio**

TIPO DE SOLUCIÓN	VOLUMEN DE RESIDUO (ML)
Ácidos de Extracción	1500
Soluciones Patrón	1200
Residuo del EAA	4000
Otras (Interferencias, Diluciones, etc.)	500
TOTAL	7200

Fuente: Los Autores

Con el fin de disminuir el grado de peligrosidad por metales pesados en la solución se propone la adición de Acido EDTA (etilendiaminotetraacético) con concentración de 2 a 3 molar, esto con el fin de lograr una separación de iones metálicos. Posteriormente se puede hacer una neutralización con CaOH.