

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO DE
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) Y METALES (Pb,
Cd, Ni, Cu, Cr) EN SEIS CIUDADES DE SONORA MÉXICO,
DURANTE UN PERIODO ANUAL**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS**

**PRESENTA
MARTÍN EUSEBIO CRUZ CAMPAS**

**Dr. Agustín Gómez Álvarez
DIRECTOR**

**Dr. Margarito Quintero Núñez
Co-DIRECTOR**

Mexicali, B. C

a __ de __ 2014

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo General	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. ANTECEDENTES	6
3.1 Calidad del Aire	6
3.2 Fuentes de Contaminación del Aire	7
3.3 Tipos de Contaminantes del Aire	8
3.3.1 Partículas	9
3.3.2 Metales	11
3.3.2.1 Plomo	12
3.3.2.2 Cadmio	13
3.3.2.3 Níquel	14
3.3.2.4 Cobre	15
3.3.2.5 Cromo	15
3.4 Efectos a la Salud por la Contaminación del Aire	16
3.4.1 Partículas	16
3.4.2 Metales	17
3.4.2.1 Efectos a la Salud por Plomo	17
3.4.2.2 Efectos a la Salud por Cadmio	17
3.4.2.3 Efectos a la Salud por Níquel	17
3.4.2.4 Efectos a la Salud por Cobre	18
3.4.2.5 Efectos a la Salud por Cromo	19
3.5 Valores Máximos Permisibles de Calidad del Aire	19
3.5.1 Partículas Suspendidas Totales	20
3.5.2 Metales	21
3.5.2.1 Máximos Permisibles para Plomo	21
3.5.2.2 Máximos Permisibles para Cadmio	21
3.5.2.3 Máximos Permisibles para Níquel	21
3.5.2.4 Máximos Permisibles para Cobre	21
3.5.2.5 Máximos Permisibles para Cromo	22
4. ÁREA DE ESTUDIO	23
4.1 Agua Prieta, Sonora	23
4.2 Nogales, Sonora	24

4.3 Puerto Peñasco, Sonora	25
4.4 Hermosillo, Sonora	26
4.5 Guaymas, Sonora	26
4.6 Obregón, Sonora	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS	30
5.1 Procedimiento de Muestreo	30
5.2 Análisis de Laboratorio	30
5.3 Partículas Suspendidas Totales (PST)	31
5.4 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr)	31
5.5 Control de Calidad en el Análisis de las Muestras de Filtros	32
5.6 Indicadores de Calidad de los Datos	33
5.6.1 Precisión	33
5.6.2 Exactitud	33
5.6.3 Límite de Detección del Instrumento (L.D.)	34
5.7 Determinación de la Calidad del Aire	34
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1 Control de Calidad y Límites de Detección	35
6.1.1 Parámetros de Control de Calidad	35
6.1.2 Límites de Detección	35
6.2 Partículas Suspendidas Totales (PST)	36
6.2.1 Indicadores del comportamiento de PST en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	36
6.2.1.1 Promedio diario de PST para seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	36
6.2.1.2 Promedio mensual	39
6.2.1.3 Máximo, mínimo y promedio anual	40
6.2.2 Indicadores relacionados con las normas de calidad del aire.	41
6.2.2.1 Percentil 98	42
6.2.2.2 Número de días arriba del límite	46
6.2.2.3 Índices de calidad del aire	47
6.2.2.3.1 Índice anualizado	47
6.2.2.4 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala	50
6.3 Metales	52
6.3.1 Distribución de concentración de plomo	53
6.3.2 Distribución de concentración de níquel	55
6.3.3 Distribución de concentración de cobre	56
6.3.4 Distribución de concentración de cromo	58
6.3.5 Concentraciones promedio y máxima	59
6.3.6 Comparación con Máximos Permisibles	60
6.3.6.1 Plomo	60
6.3.6.2 Níquel	61
6.3.6.3 Cobre	62
6.3.6.4 Cromo	62

6.4 Estadística exploratoria de relación	63
6.4.1 Relación entre PST y la concentración de Metales utilizando los datos diarios	63
6.4.2 Relación entre PST y metales en aire Ambiente con parámetros climatológicos utilizando los datos diarios	64
6.4.3 Relación entre PST y metales en aire ambiente con salud respiratoria, utilizando datos mensuales	64
7. CONCLUSIONES	68
7.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)	68
7.2 Metales	69
7.3 Relación entre contaminantes del aire, parámetros climatológicos y salud respiratoria	70
8. RECOMENDACIONES	71
9. REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	72
10. ANEXOS	
Anexo 1 Control de calidad	81
Anexo 2 Concentraciones de PST y metales determinadas para cada ciudad durante el período de estudio	83
Anexo 3 Correlación entre datos diarios de concentraciones de PST y metales en aire	92
Anexo 4. Datos climatológicos por ciudad	95
Anexo 5. Relación entre PST y metales en aire ambiente con parámetros climatológicos utilizando los datos diarios	102
Anexo 6. Relación entre PST y metales en aire ambiente con salud respiratoria, utilizando datos mensuales	106
Anexo 7. Matriz de correlación entre PST y metales y salud Respiratoria	109
Anexo 8. Propuesta de recomendación para análisis del criterio de cobertura en las normas de calidad del aire	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) Interpretación del Índice	8
Tabla 2.	Parámetros de Calidad del Aire Monitoreados en México	10
Tabla 3.	Resultados de control de calidad	35
Tabla 4.	Valores de límite de detección de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en aire ambiente	36
Tabla 5.	Valores promedio mensual de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010	40
Tabla 6.	Normatividad mexicana para partículas suspendidas en aire ambiente	42
Tabla 7.	Evaluación del criterio de compleción o cobertura para muestreos de PST realizados en seis ciudades de sonora, durante el año 2010	43
Tabla 8.	Determinación del percentil 98 para concentraciones de PST en las ciudades de Nogales y Hermosillo, Sonora, México durante el año 2010 y determinación de cumplimiento con la norma	44
Tabla 9.	Propuesta de criterio de incumplimiento a la norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005), respecto de Partículas suspendidas totales (PST)	46
Tabla 10.	Propuesta de evaluación de incumplimiento de la norma de calidad del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010	46
Tabla 11.	Número de días por arriba del límite máximo permisible de PST en dos ciudades de Sonora, México durante el año 2010 incluye solo trimestres que presentaron cobertura de muestreos igual o mayor al 75%	47
Tabla 12.	Propuesta de puntos de quiebre para el cálculo del índice anualizado de calidad del aire respecto de PST	48
Tabla 13.	Índice anualizado de calidad del aire para PST en seis ciudades de sonora durante el año 2010, considerando el promedio de los días en que se	

	rebasó el valor límite normado y propuesta de puntos de quiebre	49
Tabla 14.	Días con buena, regular y mala calidad del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	50
Tabla 15.	Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Pb en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	54
Tabla 16.	Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Ni en aire ambiente en seis ciudades de sonora durante el año 2010	56
Tabla 17.	Comparación de frecuencia de días en los que se Identificó Cu en aire ambiente en seis ciudades de sonora durante el año 2010	58
Tabla 18.	Comparación de frecuencia de días en los que se Identificó Cr en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	59
Tabla 19.	Concentraciones promedio y máxima de metales en aire ambiente detectadas en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	60
Tabla 20.	Valores promedio trimestral de plomo en aire Ambiente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010 y comparación con máximos permisibles	62
Tabla 21	Matriz de resultados de correlación entre los valores promedio mensual de concentración de contaminantes en aire (PST y metales) y número de casos de Infecciones Respiratorias Agudas y Neumonías-Bronconeumonías ocurridas en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	66
Tabla 22	Matriz de correlación entre los valores máximos mensuales de PST y metales y el número de IRAS y Neumonías-Bronconeumonías en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de las ciudades en estudio	29
Figura 2.	Muestreador de alto volumen (HI-VOL)	31
Figura 3.	Distribución y comparación de concentraciones de PST con el valor máximo permisible ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en Seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010	38
Figura 4.	Comparativo de distribución de concentración de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	39
Figura 5.	Valores máximo, promedio y mínimo de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010	41
Figura 6.	Número de días por arriba del límite máximo permisible de PST y porcentaje que representa en seis ciudades de sonora, México, durante el año 2010 sin considerar el criterio de cobertura	48
Figura 7.	Porcentaje de días con buena, regular y mala calidad Del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	51
Figura 8.	Distribución de concentración de Pb en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	54
Figura 9.	Distribución de concentración de Ni en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	55
Figura 10.	Distribución de concentración de Cu en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	57
Figura 11.	Distribución de concentración de Cr en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010	58

RESUMEN

Se evaluó la calidad del aire para un período anual respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora, México, representando el primer estudio regional en Sonora sobre calidad del aire. En todas las ciudades se rebasó el máximo permisible de PST con 30, 78, 76, 6, 3 y 62% de días por encima de la norma en Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Obregón respectivamente, clasificándose esos días con mala calidad del aire. Según el índice anualizado la calidad del aire por PST fue No Satisfactoria en el período de estudio en todas las ciudades. Nogales y Puerto Peñasco presentaron valores máximos diarios de 1,047 y 1,239 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (498 y 590 % por encima de la norma). Se cuestionan los requisitos de cobertura que la Norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) establece para su cumplimiento, proponiéndose en este trabajo criterios de incumplimiento priorizando la protección de la salud y el principio de precaución. El plomo está presente en las seis ciudades, los valores más altos ocurrieron en Guaymas y Obregón con 0.237 y 0.115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio trimestral más alto fue de 0.084 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Obregón, en ninguna de las ciudades se rebasó la norma por lo que no representó peligro a la salud. No se detectó cadmio por arriba de 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las ciudades estudiadas, no fue posible determinar la calidad del aire por Cd debido a que el límite de detección logrado está por encima del criterio utilizado. El Níquel estuvo presente en el aire ambiente de las seis ciudades, las concentraciones más altas se detectaron en Nogales y Guaymas con 0.062 y 0.043 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Nogales rebasó el criterio permisible representando peligro a la población en el período de estudio. El cobre esta permanente en el aire de Nogales, Puerto Peñasco, y Obregón, mientras que en Agua Prieta, Hermosillo y Guaymas se presenta en más del 95% de los días, el valor más alto fue de 2.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Guaymas, en ninguna de las ciudades se rebasa el criterio seleccionado por lo que no representó peligro a la población. No se identificó Cr en Agua Prieta, Puerto Peñasco y Hermosillo, mientras que en Nogales y Obregón solo se identificó un día y en Guaymas en más del 40% de los días y la concentración más alta fue de 0.030 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en ninguna de las ciudades se rebasó el criterio por lo que no representó peligro a la población. Debido a las altas concentraciones de PST, los indicadores de calidad del aire utilizados permiten concluir que la calidad del aire fue NO SATISFACTORIA durante el periodo de estudio en las seis ciudades. Aunque pudieron identificarse algunas correlaciones significativas entre las concentraciones de PST y metales con algunos parámetros climatológicos o con el número de casos de salud respiratoria, no fue posible establecer que los cambios en los valores de unos son causa de los cambios en los otros, ello debido a que pueden existir otros parámetros que no fueron estudiados, la información es relevante para apoyar en la toma de decisión de autoridades para proteger la salud de la población por motivo de calidad del aire, así como para determinar futuras investigaciones. Se recomienda implementar programas de gestión de la calidad del aire (PROAIRE) en dichas ciudades.

ABSTRACT

The Air quality for an annual period for Total Suspended Particulate (TSP) and metals (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) in six towns of Sonora, México was evaluated, representing the first regional study of Air Quality in Sonora. In every city the standard was exceeded in 30, 78, 76, 6, 3 and 62% of days above the norm in Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas and Obregon respectively, ranking these days with poor air quality. According to the annualized index, air quality by TSP was unsatisfactory in the study period in all cities. Nogales and Puerto Peñasco presented daily maximum values of 1,047 and 1,239 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (498 and 590% above the norm). Coverage criteria that the Standard NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) establishes for compliance is questioned, proposing in this paper a noncompliance criteria prioritizing the protection of health and the precautionary principle. Lead is present in the six cities, the highest values occurred in Guaymas and Obregon with 0.237 and 0.115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest quarterly average was 0.084 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Obregón, in any of the cities the norm was exceeded so it did not represent health hazard. No cadmium was detected above 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the studied cities; it was not possible to determine the air quality about Cd because the detection limit achieved is above the criterion used. Nickel was present in ambient air of the six cities, the highest concentrations were detected in Nogales and Guaymas with 0.062 and 0.043 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Nogales exceeded the allowable criteria representing danger to the population in the study period. Copper is permanent in the air in Nogales, Puerto Peñasco, and Obregon, while in Agua Prieta, Hermosillo and Guaymas occurs in over 95% of the days, the highest value was 2.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Guaymas, in none of the cities selected criteria was exceeded so it did not represent danger to the population. No Chromium was identified in Agua Prieta, Puerto Peñasco and Hermosillo, while in Nogales and Obregon only one day was identified, in Guaymas in over 40% of the days Cr was detected and the highest concentration was 0.030 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, none of the cities exceeded the criterion so it did not represent danger to the population. Due to high concentrations of TSP the air quality indicators used conclude that air quality was not satisfactory during the study period in the six cities. Although, it was possible to identify some significant correlations between concentrations of TSP and metals with some climatological parameters and with the number of cases of respiratory problems, it was not possible to establish that changes in the values of one variable are due to changes in the values of the other, this is because of the fact that there might be parameters which were not studied. The information is relevant to support the authorities' decision making to protect the health of the population because of air quality, and to determine future research. It is recommended to implement management programs air quality (PROAIRE) in these cities.

1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos requieren de un suplemento regular de aire y éste debe ser de calidad aceptable, considerándose un derecho humano fundamental (WHO, 2003). La presencia de altas concentraciones de partículas en el aire puede causar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, por ejemplo, reduciendo la función pulmonar y ocasionando ataques de asma, bronquitis crónica y susceptibilidad a infecciones respiratorias, también puede causar arritmias y ataques de corazón y afectar además, los sistemas nervioso central y reproductivo e incluso causar cáncer propiciando muerte prematura (EEA, 2011).

A lo largo de la historia la humanidad ha estado en contacto con los contaminantes atmosféricos, sin embargo a medida que se desarrollaron las ciudades y se consolidó la revolución industrial la contaminación del aire se ha visto como algo común y cotidiano (Dickson, 1996); los efectos de esta situación han sido suficientemente documentados estimándose que en el mundo alrededor de 2 millones de muertes prematuras al año son atribuibles a la contaminación del aire (WHO, 2011) y de éstas, 1.3 millones ocurren en zonas urbanas y principalmente en países con ingresos medios. Se estima que en México 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 a causa de la contaminación atmosférica y que de ellas, aproximadamente 5,000 fueron niños (SEMARNAT, 2011), incrementándose anualmente este efecto ya que para el 2008 el estimado fue de 15,000 muertes (Clean Air Institute, 2012). El futuro tampoco se ve optimista, la OCDE (2012) señala en su estudio de escenario al 2050 que de no implementarse acciones en contra de la contaminación del aire el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a partículas suspendidas aumentará más del doble y alcanzará 3.6 millones cada año en el mundo, convirtiéndose en la principal causa ambiental de mortalidad prematura.

Hoy en día se ha demostrado de forma contundente e inequívoca la asociación de la contaminación por partículas en el aire con el incremento en la mortalidad en las grandes ciudades (Garibay-Chávez, 2009), reconociéndose que una mala calidad del aire representa un riesgo medioambiental que afecta la salud de la población y

que por ende debe actuarse para evitar sus consecuencias. Dicho riesgo ha sido atendido o al menos tratado de atender por la sociedad desde hace mucho tiempo.

A nivel mundial se cuenta con criterios o guías, por ejemplo, los de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2006) que emitió las guías de calidad del aire relativas al material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Otras normativas pueden tener aplicación regional incidiendo en varios países como es el caso de los Estándares de Calidad del Aire (AQS por sus siglas en inglés) de la Unión Europea los cuales regulan doce parámetros y fueron diseñados en respuesta a la posibilidad de afectación adversa a humanos por la exposición a los contaminantes en aire ambiente (EC, 2014). También se identifican normas que incluyen límites para concentraciones de varios contaminantes en el aire y que tienen aplicabilidad conjuntamente en un país, tal es el caso de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS por sus siglas en inglés) que regulan siete parámetros definidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América para contaminantes considerados perjudiciales a la salud de la población y al ambiente (EPA, 2012). Además existe normativa de aplicabilidad individual, siendo ésta la forma más general y conocida, un ejemplo es la normatividad en México, que cuenta con seis normas oficiales sobre calidad del aire (INECC, 2014).

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2006), señala que estudios epidemiológicos atribuyen los efectos más severos a la salud a la contaminación por partículas en el aire y al ozono, y que además para estos contaminantes aún no han sido identificados niveles seguros ya que incluso concentraciones por debajo de los criterios de calidad del aire pueden representar riesgos a la salud. El incumplimiento a la normatividad en México respecto de partículas en aire ambiente es notorio, por ejemplo, con datos del Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (SEMARNAT, 2011) que abarca información del año 2000 al 2009, puede calcularse que para partículas iguales o menores a 10 micras (PM10) en aire ambiente, solamente el 3.3% de los resultados ciudad-año cumplieron con el límite establecido para

promedio anual, mientras que solo el 13.2% de los resultados ciudad-año cumplieron con el límite para 24 h. En Sonora, en particular para la ciudad de Hermosillo, se ha detectado que existen sitios en los que en un año se rebasa la norma de partículas suspendidas totales (PST) en más del 40% de los días muestreados (Cruz-Campas et al., 2013).

Así pues, a pesar de la existencia de normatividad respecto de la protección del aire que respiramos, la mala calidad de éste sigue representando una amenaza importante para la salud de la población, del medio ambiente, del bienestar social y del desarrollo económico (WHO, 2006; Clean Air Insitute, 2012; IMCO, 2014), por lo que es imperiosa la necesidad de definir en cada caso particular el por qué permanece o se incrementa dicha amenaza y como actualizar la estrategia de protección de la salud de la población y del medio ambiente a fin de que sea efectiva.

En ciudades de Sonora, México la población ha manifestado su inconformidad y malestar por la contaminación del aire, particularmente por partículas, ésta situación ha sido motivo de numerosas quejas y denuncias, así como ocupado espacios en los medios de comunicación, generando en las comunidades la incertidumbre del riesgo de su salud. IMCO (2014) publica que en 2010 el número de muertes en Hermosillo pudo ser de 69 y hasta 300 hospitalizaciones por mala calidad del aire, así como pérdidas de casi 47 millones de pesos y casi 13 millones de pesos en gastos de salud. Esta situación ha generado incluso demandas a nivel internacional como la establecida ante la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) derivado del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) entre Canadá, Estados Unidos y México por motivo de una calidad del aire no satisfactoria en la Ciudad de Hermosillo, Sonora (CCA, 2012).

En México es posible identificar de manera oportuna y relativamente a bajo costo el incumplimiento a la calidad satisfactoria del aire a partir del muestreo de partículas suspendidas totales (PST) el cual es un parámetro normado, pudiéndose además realizar análisis de la muestra para determinar otros

contaminantes del aire, en particular de plomo, el cual también es un parámetro normado en México. De acuerdo a la autoridad ambiental en México (SEMARNAT-INECC, 2012) se requieren estudios que contribuyan con información, evaluación y diagnósticos para apoyar en la toma de decisión en el ámbito local en materia de disminución de riesgos a la salud por contaminación del aire ambiente.

En la presente investigación se evaluó la calidad del aire respecto de PST y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) para las ciudades de Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Obregón, del Estado de Sonora en México, durante el año 2010 a través de diferentes metodologías, se discute además, la irrelevancia de los criterios de cobertura que la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) establece para su observancia, al desfavorecerse con éstos la protección de la salud de la población al discriminar información relevante para tal efecto, presentándose una propuesta de criterio de incumplimiento priorizando el principio de precaución a fin de fortalecer la protección de las personas susceptibles.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar la calidad del aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora, México (Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Obregón) durante un período anual.

2.2 Objetivos Específicos

1. Conocer la concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr), en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante un período anual.
2. Determinar la calidad del aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora, México durante un período anual a partir de máximos permisibles, estándares o criterios e índices de calidad del aire.
3. Evaluar la posible relación entre Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en las ciudades de estudio, y la posibilidad de relación con elementos climáticos y morbilidad relativa a salud respiratoria.

3. ANTECEDENTES

3.1 Calidad del Aire

La calidad del aire está determinada por el grado de contaminación que presenta, y el término de contaminación del aire es la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables en concentraciones y circunstancias tales que puedan afectar significativamente el confort, salud y bienestar de las personas o al uso y disfrute de sus propiedades (Canter, 1997). La contaminación del aire puede ser fácilmente perceptible en comparación con la del suelo, especialmente en las grandes ciudades, en muchas ocasiones basta observar la atmósfera para señalar que el aire se ve sucio, por ello resulta necesario medir las concentraciones de los parámetros contaminantes, determinar el cumplimiento normativo y finalmente determinar la calidad del aire, para en su caso definir y tomar medidas para evitar efectos adversos en la salud (Martínez, 2010).

Las PST son un sistema complejo multifase, que son transportadas por el aire y cuyo diámetro aerodinámico va de 0.01 a 100 μm (USEPA, 1999). La afectación a la salud por altas concentraciones de partículas ha quedado demostrada con el aumento de la mortalidad y morbilidad en particular para PST al aumentar un 6% el riesgo a morir por cada 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento en este parámetro (SSA, 2005). Los metales como contaminantes en el aire ambiente 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 de la población infantil (EEA, 2011). Ramírez-Leal et al. (2007) establecen que las PST son constituidas por una gran variedad de elementos, entre ellos tóxicos como el plomo y el cromo identificados en las partículas del aire de Hermosillo, ciudad que ha sido clasificada con calidad del aire no satisfactoria por PST en 2002 (Cruz-Campas et al. 2013).

Para evaluar la calidad del aire en las seis ciudades de Sonora, México se obtuvo apoyo de la Red Estatal de Información e Infraestructura de Calidad del Aire de la

Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES), y del Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire (PEMCA) del H. Ayuntamiento de Hermosillo, suministrando los datos de muestreo y los filtros utilizados en el período anual seleccionado.

En México, la Secretaría de Salud establece las normas de la contaminación atmosférica, actualmente se tienen normados el NO₂, CO, SO₂, O₃, Pb y Partículas Suspendidas también conocidas como Material Particulado (PM por sus siglas en inglés). La finalidad de las normas es establecer la concentración máxima de un contaminante en el aire sin que existan riesgos para la salud de la población, y sobre todo para los grupos vulnerables como niños, ancianos, personas con enfermedades crónicas respiratorias y cardíacas, entre otras (Martínez, 2010).

Debido a que existen diversas formas de expresar la presencia de contaminantes atmosféricos (partes por millón (ppm), partes por billón (ppb), microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y porcentajes), informar a la población bajo estos términos no resulta práctico, por ello en México y otros países del mundo se utilizan índices de calidad del aire que permiten informar a la población de manera sencilla los riesgos a la salud por la presencia de contaminantes en el aire. El IMECA o Índice Metropolitano de la Calidad del Aire utilizado en México, considera que rebasar el valor de 100 puntos IMECA significa que la calidad del aire no es satisfactoria, como se especifica en la Tabla 1.

3.2 Fuentes de Contaminación del Aire

Los contaminantes de la atmósfera provienen principalmente de dos fuentes: de los fenómenos naturales y de las actividades humanas, también llamadas antropogénicas. Algunas fuentes naturales son los fenómenos geo-químicos, los fenómenos biológicos y los fenómenos atmosféricos. En cuanto a las actividades humanas como fuentes de emisiones de contaminantes, estas pueden ser muy variadas, pero las más relevantes incluyen a todos los procesos industrializados de producción, la quema de combustibles para la calefacción y la generación de

energía eléctrica, y el uso de vehículos con motores de combustión interna (Molina y Molina, 2005).

Tabla 1. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) Interpretación del Índice.

IMECA	INTERPRETACIÓN DEL IMECA	
	Condición	Efectos en la Salud
0-100	Dentro de la norma	Ninguno
101-200	No satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles.
201-300	Mala	Posibles problemas respiratorios.
301-500	Muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas

Fuente: Martínez (2010).

Las fuentes de emisiones contaminantes también pueden clasificarse de acuerdo a su movilidad en fijas o estacionarias, de área y móviles. Las fuentes fijas de emisiones incluyen las plantas generadoras de energía termoeléctrica y los procesos industriales y agroindustriales, la quema e incineración de desechos. Las fuentes de área son en su mayoría fuentes fijas, pero que son muy pequeñas en términos de la cantidad de emisiones que producen, y muy numerosas. Su naturaleza es variada, pero las más importantes son básicamente la quema de combustibles en cocinas, calentadores de agua, calefactores, maquinaria de construcción y maquinaria agrícola. Las fuentes móviles son básicamente los vehículos automotores que circulan por las carreteras públicas (Molina y Molina, 2005).

3.3 Tipos de Contaminantes del Aire

Los contaminantes del aire se pueden clasificar en: i). Contaminantes primarios o sustancias directamente vertidas en la atmósfera y que se constituyen por aerosoles (dispersores de partículas sólidas y líquidas), gases (compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido de carbono y dióxido de carbono), otras sustancias (metales, sustancias minerales, compuestos

halogenados, compuestos orgánicos azufrados, compuestos orgánicos halogenados), y ii). Contaminantes secundarios o sustancias que no se vierten directamente a la atmósfera, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios en el aire, por ejemplo, contaminantes fotoquímicos (oxidantes como ozono y radicales libres activos) y la acidificación (lluvia ácida) a partir de los óxidos de azufre o nitrógeno (Lizardis y Colbeck, 2010).

3.3.1 Partículas.

El material particulado está formado por una mezcla compleja de componentes cuyas características físicas y químicas son muy variadas. Esta complejidad, que se da tanto en ambientes urbanos como en rurales, complica la interpretación de los numerosos resultados de los estudios e investigaciones que se han llevado a cabo sobre las partículas suspendidas en todo el mundo, pues el potencial de que causen daño a la salud puede variar de acuerdo con su tamaño, su composición química y las fuentes de donde provienen (WHO, 2006). Actualmente, y para efectos de su control, las partículas se clasifican de acuerdo con su diámetro aerodinámico, pues éste determina, en gran medida, la probabilidad de que ingresen y se alojen en el tracto respiratorio.

Es importante señalar que las autoridades de Estados Unidos de Norteamérica y Europa establecieron en un principio, regulaciones basadas en la medición de Partículas Suspendidas Totales (PST), las cuales, son partículas con un diámetro aerodinámico menor a aproximadamente 50 micrómetros medidas con un muestreador de alto volumen, pero conforme fueron conociéndose nuevos estudios en la materia, la normatividad sobre la calidad del aire se volvió más específica y requirió la medición de partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM10) y posteriormente de aquellas con diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5) (SEMARNAT, 2011).

En México, la SEMARNAT (2000) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) estableció que el sector transporte tiene especial importancia en las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, así como el sector

industrial en el bióxido de azufre, mientras que el suelo y la vegetación en la concentración de partículas.

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INECC, 2012), los parámetros registrados por las principales redes de monitoreo atmosférico en la República Mexicana son los que se muestran en la Tabla 2. 17 de las 18 redes (Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Valle de Toluca, Ciudad Juárez, Tijuana, Mexicali, Puebla, León, San Luis Potosí, Durango, Irapuato, Gómez Palacio y Lerdo, Celaya, Salamanca, Silao, Tecate, Rosarito) reportan incumplimiento a la norma, solo Celaya y en solo un año (2008) cumplió con la norma (SEMARNAT, 2011).

Tabla 2. Parámetros de Calidad del Aire Monitoreados en México.

Parámetro	Cantidad de Equipos en México (al 2012)	Tipo de Equipo de Medición / Muestreo
Ozono	120	Automático
Monóxido de Carbono	114	
Dióxido de Azufre	115	
Dióxido de Nitrógeno	114	
Dióxido de Carbono	5	
Partículas Menores a 10 Micras	98	
Partículas Menores a 2.5 Micras	52	
Partículas \leq a 10 Micras	98	Manual
Partículas \leq a 2.5 Micras	9	
Partículas Suspendidas Totales	71	

Los estudios oficiales de Partículas Suspendidas Totales en México después del año 2000 son escasos, debido a los requisitos de la normatividad para su cumplimiento. En un estudio efectuado en la ciudad de México en el año 2011 sobre partículas suspendidas la concentración para el percentil 98 del promedio de 24 horas para PST fue de $325 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (SMAGDF, 2012).

En el 2007 en Torreón Coahuila, se monitorearon las PST rebasándose la norma más frecuentemente durante los meses de abril, mayo y noviembre en todos los sitios de muestreo. Otro ejemplo es Coatzacoalcos, donde los niveles de PST alcanzaron los $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando en un 43% el máximo permitido. (Totonacapan, 2012).

En un estudio donde se obtuvo información a nivel local para la ciudad de Hermosillo, Sonora, (SEMARNAP, 1996) se incluyen cuatro estaciones de monitoreo, de las cuales en tres se muestreaban PST, según los resultados obtenidos de 1990 a 1995 y de acuerdo a la NOM-024-SSA1-1993 (SSA, 1994a) solamente en una estación durante 1994, no se rebasó el máximo permisible de 24 h que era de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el máximo permisible anual que era de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio aritmético anual fue rebasado en todas las estaciones durante todos los años analizados.

Para el período junio de 2001 a mayo de 2002 en Hermosillo las concentraciones promedio de PST para las estaciones Centro (Mazón), Noreste (CESUES) y Noroeste (CBTIS) fueron: 140.11, 110.98 y $244.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (Cruz-Campas, 2005). De acuerdo a la norma citada antes, se rebasó respectivamente en 86%, 47.9% y 225.7% la concentración máxima permisible anual, y en cuanto al máximo permisible diario de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$, éste fue rebasado en la estación Centro en tres ocasiones, y en la estación Noroeste en 23 ocasiones, en dicho estudio se concluyó que la calidad del aire se clasificaba como no satisfactoria para esa ciudad.

3.3.2 Metales.

La organización mundial de la salud publicó en las guías de calidad del aire los valores guía para los siguientes metales: cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel, platino, vanadio y el metaloide arsénico (OMS, 2000a). Algunos metales son micronutrientes para la mayoría de los organismos, pero en cantidades excesivas ejercen efectos tóxicos.

Las fuentes de emisión más importantes para algunos metales como el níquel, son las industrias de aceros y aleaciones de níquel, combustión de carbón y fuel-oil, procesos de catálisis y suelos. En el caso del cobre, las fuentes más comunes son industrias metalúrgicas, procesos de refinado, centrales térmicas con combustión, suelos, incineradores municipales y otros procesos en lo que se emplean combustibles fósiles. Las principales fuentes a la atmósfera de cadmio se dan por la industria del cinc, ya que constituye un subproducto, el cadmiado de metales, la fabricación de colorantes, en la construcción de células fotovoltaicas, abonos fosfatados, etc. Las emisiones de plomo se deben principalmente a los aditivos de la gasolina y la combustión de hidrocarburos en la fundición, incineración de residuos, producción de fierro, acero y cemento, existen además diferentes vías naturales de aporte de metales a la atmósfera en escala global, como son: partículas de suelo transportadas por el viento, volcanes, spray de sal marina e incendios forestales (EEA, 2011).

3.3.2.1 Plomo.

En Europa para el periodo de 1999 - 2009 las concentraciones de plomo han sido monitoreadas en 58 estaciones de 8 países. Estas estaciones se dividen en urbanas, rurales, de tráfico y otras. En las estaciones rurales y de tráfico, las concentraciones se encuentran alrededor de 0.2 - 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las estaciones urbanas reportan de 0.12 a 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En las zonas industriales se reporta descenso de concentraciones, empezando en el año 2002 con 0.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para llegar a descender para el año 2009 hasta 0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ marcando una reducción importante para las zonas industriales de Europa.

En 23 estados de Estados Unidos de América, las emisiones de plomo se redujeron en aproximadamente 91% entre los años 1990 y 2009 (EEA, 2011). En áreas rurales pueden encontrarse niveles de plomo promedio de 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los niveles típicos en las ciudades son en el rango de 0.5 a 2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles de cualquier área dependerán del tipo y permanencia de las fuentes de emisión (por ejemplo el tráfico y la operación de industrias), así como de las condiciones de dispersión del área (WHO, 1984).

Para la Zona Metropolitana del Valle de México, se reporta un valor máximo de 0.112 al año 2002, identificándose una reducción del 95% desde 1989 al 2002 (Mugica, et al., 2010). En el 2011 la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco encontró que la concentración de plomo en Tabasco fue de $8.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando la norma establece $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (DDT, 2011). En el caso de Pb en Torreón, Coahuila el nivel más altos se presentó en agosto del 2007 con $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (SEMARNAT, 2007).

A nivel local, en Hermosillo, Sonora, se reportan datos del periodo 2001 - 2002 en donde las concentraciones de plomo en un promedio anual en 3 sitios de monitoreo en dicha ciudad, son de 0.025, 0.021 y $0.031 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, es importante señalar que el valor más alto detectado fue de $0.081 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se ubicó por debajo del establecido en la Norma NOM-026-SSA1-1993 (SSA, 1994b) para un promedio trimestral que es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ello confirmó que todos los valores reportados en ese período, estuvieron en promedio por debajo de la norma (Cruz-Campas, 2005).

3.3.2.2. Cadmio.

Los niveles de Cadmio en el aire ambiente son generalmente bajos, con concentraciones promedio a largo plazo que pueden variar desde menores a 0.001 a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EEA, 2011). Dependiendo del grado de industrialización y la presencia de industrias que emiten cadmio, se ha estimado que los miembros de una población típica inhalarán generalmente menos de $0.05 \mu\text{g}/\text{día}$, mientras que para áreas inusualmente contaminadas, se han estimado valores máximos de hasta $3.5 \mu\text{g}/\text{día}$ (OMS, 1984).

El número de estaciones que reportan Cd en concentraciones de aire en Europa se han incrementado alcanzando aproximadamente 600 en 2009. En un periodo de 10 años (2000-2009), se tienen datos de 54 estaciones en 7 países europeos: Austria, Bélgica, Bulgaria, Suiza, Dinamarca, Holanda y Rumania. Austria es uno de los países que más resalta con concentraciones de $1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ para los años de 2001 a 2002; para 2009 las concentraciones bajaron alrededor de $0.5 \text{ ng}/\text{m}^3$. En el

resto de los países que han reportado Cd en este periodo han sido de 0.3 hasta 0.1 ng/m³ en nueve años.

En Estados Unidos de América las concentraciones de Cd han disminuido un 70 % entre 1990 y 2009, siendo 20 estados los que han reportado concentraciones este periodo (EEA, 2011).

El Gobierno de Chile (2001) reporta promedios mensuales de Cd que van de 0.0005 a 0.0045 µg/m³ en lugares de la ciudad de Santiago de Chile, mientras que los promedios anuales fueron entre 0.0010 y 0.0025 µg/m³.

Para Hermosillo, Sonora, México, se tiene información de monitoreo para cadmio en el periodo 2001-2002, el cual reporta una concentración promedio anual en 3 sitios de monitoreo en dicha ciudad el cual fue de 0.0004, 0.0001 y 0.0005 µg/m³ (Cruz-Campas, 2005), dichos valores detectados se encontraron por debajo del criterio establecido por la WHO (2000a) de 0.005 µg/m³ en un promedio anual.

3.3.2.3 Níquel.

La WHO (1984) establece que muy pocos datos han sido reportados sobre este metal en el aire, sin embargo al parecer los niveles en el aire son generalmente menores a 0.5 µg/m³. Solo Bélgica y Dinamarca han reportado concentraciones de níquel en un periodo de 10 años (2000-2009). Bélgica en el año 2000 reportó un promedio anual de 23 ng/m³, el cual es el más alto reportado y en 2009 fue de aproximadamente 10 ng/m³ siendo su promedio anual de descenso de 1 ng/m³. Dinamarca reporta para el año 2000 concentraciones de Ni anuales de 3 ng/m³ y para el año 2009 reporta 2 ng/m³, en este periodo 2000 – 2009 Bélgica ha reducido sus emisiones en un 69% y Dinamarca en un 39%. En Estados Unidos de América 16 estados han reportado concentraciones de Ni de 1990 a 2009, los marcan un descenso de 57% en ese periodo (EEA, 2011).

A nivel local los datos reportados de Ni en Hermosillo, Sonora para el período 2001-2002 (Cruz-Campas, 2005) en concentración promedio anual en 3 sitios de monitoreo fue de 0.009, 0.008 y 0.012 ng/m³ resultando menores el criterio de la Comisión de las Comunidades Europeas del 2003 de 20 ng/m³ en promedio anual.

3.3.2.4 Cobre.

Barceloux (1999) reporta que la concentración de cobre en la atmósfera se encuentra en el rango de 5 a 200 ng/m³, las emisiones de cobre en la atmósfera representan solo el 0.4% del total liberado al medio ambiente y provienen de emisiones de fuentes naturales (tolvaneras, actividades volcánicas, incendios forestales) y fuentes antropogénicas (producción de metales no ferrosos, fundidoras de cobre, producción de fierro y acero e incineradores municipales).

De manera general, los procesos de combustión producen emisiones de cobre en forma de pequeñas partículas (<1 µm) de óxidos y cobre elemental, mientras que el liberado en material particulado (como el de tolváneras) se presenta en partículas más grandes (<10 µm) de compuestos de cobre (carbonatos, óxidos y sulfatos). El Municipio de Praga (2003) reporta un valor máximo de concentración de cobre en aire ambiente de 309 ng/m³ y un valor promedio de 138.96 ng/m³. En un estudio del Gobierno de Chile (2002), realizado en la ciudad de Santiago de Chile se identificaron concentraciones promedio mensual entre 0.025 µg/m³ y 0.250 µg/m³ de Cu en aire.

La concentración promedio anual encontrada en 3 sitios de monitoreo en la ciudad de Hermosillo Sonora, México, en el periodo 2001-2002, fue de 0.042, 0.043 y 0.045 µg/m³ (Cruz-Campas, 2005).

3.3.2.5 Cromo.

La OMS (1984), estableció que existe limitada cantidad de información en los niveles de Cr en el aire. Los valores reportados sugieren que las concentraciones medias en ciudades son típicamente alrededor de 0.02 µg/m³. En áreas altamente industrializadas se han reportado concentraciones veinte veces mayores a este valor. La mayor parte del cromo en el aire está en forma de finas partículas, de las cuales alrededor de la mitad de aquellas inhaladas serán depositadas en el tracto respiratorio. Una concentración máxima de 26.2 ng/m³ y un promedio de 3.70 ng/m³ fueron detectados en el monitoreo ambiental desarrollado en la ciudad de Praga (Municipio de Praga, 2003). A nivel local se tienen antecedentes para Cr en

el periodo 2001-2002, con una concentración promedio anual encontrada en 3 sitios de monitoreo en la ciudad de Hermosillo, Sonora de 0.008, 0.007 y 0.010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cruz-Campas, 2005).

3.4 Efectos a la Salud por la Contaminación del Aire

La WHO (2000b) establece que los efectos potencialmente relevantes para la valoración de la contaminación de aire son los siguientes:

Efectos agudos: mortalidad diaria, admisiones en hospital por problemas respiratorios y por problemas cardiovasculares, visitas a emergencias por problemas respiratorios y cardiacos, visitas para cuidados primarios por condiciones respiratorias y cardiacas, uso de medicamentos para problemas respiratorios y cardiovasculares, días de actividades restringidas, ausencia a trabajo, días perdidos de escuela, automedicación, síntomas agudos y cambios fisiológicos (por ejemplo en la función de los pulmones).

Resultados de enfermedad crónica: Mortalidad (en infantes y adultos) por enfermedades crónicas cardio-respiratorias, enfermedades crónicas con incidencia o prevalencia (incluye asma), cambios crónicos en el funcionamiento fisiológico y cáncer pulmonar. Resultados reproductivos: Complicaciones en embarazo (incluye muerte fetal), bajo peso al nacer, y parto prematuro.

3.4.1 Partículas

Existe evidencia sobre los impactos negativos en la salud por la exposición aguda o crónica a las partículas suspendidas en estudios epidemiológicos y toxicológicos en todo el mundo. Los efectos más documentados son la mortalidad y la hospitalización de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), exacerbación de los síntomas y aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, mortalidad y hospitalización de pacientes con enfermedades cardiovasculares, mortalidad y hospitalización de pacientes con diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de los pulmones, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de

aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón (WHO, 2006).

3.4.2 Metales

3.4.2.1 Efectos a la Salud por Plomo.

El plomo es un metal gris plateado con un punto de fusión de 327.5°C y un punto de ebullición de 1740°C, posee cuatro isótopos y cuatro electrones en su valencia lo cual lo mantiene típicamente en estado de oxidación y la mayor parte de sus sales tienen muy poca solubilidad en agua. El plomo es un metal neurotóxico, que se acumula en el cuerpo humano, dañando órganos y nervios.

La exposición a altas concentraciones puede causar serios daños al cerebro, incluyendo retardo mental, trastornos en el comportamiento, problemas de memoria y cambios de humor. Uno de los efectos más críticos en niños es la discapacidad en el desarrollo neuronal, estos efectos se pueden presentar por exposiciones durante la lactancia o durante la niñez. El plomo se acumula en los huesos y durante la lactancia o el embarazo y el feto se ve expuesto a estas acumulaciones, por lo tanto, el tiempo de exposición al plomo durante el embarazo es muy importante. La inhalación de plomo es significativa cuando los niveles en el aire son muy altos (EEA, 2011).

Las fuentes de emisión locales son más responsables de elevadas concentraciones que las del transporte atmosférico a gran distancia. Sin embargo, el plomo se bioacumula e impacta en sistemas terrestres y acuáticos, exponiendo al riesgo a toda la cadena alimenticia.

3.4.2.2 Efectos a la Salud por Cadmio.

El cadmio es un metal suave, dúctil de color blanco o plateado que posee puntos de fusión y ebullición relativamente bajos (320.9 y 765°C) y una presión de vapor relativamente alta.

En el aire el cadmio es rápidamente oxidado a óxido de cadmio (CdO), sin embargo, cuando gases reactivos o vapores como son el dióxido de carbono,

vapor de agua, dióxido de azufre, trióxido de azufre o ácido clorhídrico están presentes, los vapores de cadmio reaccionan para producir carbonato de cadmio, hidróxido, sulfuro, sulfato o cloratos, respectivamente; esos compuestos pueden ser formados en las chimeneas y emitidos al ambiente. Debido a que el cadmio posee un excepcionalmente largo período de vida media, repercute en una acumulación del metal virtualmente irreversible en el cuerpo a lo largo de la vida, por ejemplo en la sangre más del 90% del cadmio es encontrado en las células.

Los dos sitios más importantes de almacenamiento de Cd en el cuerpo son el hígado y los riñones. El riñón es el órgano crítico después de una exposición de largo plazo tanto ambiental como ocupacional al cadmio. En 1993, la International Agency for Research on Cancer (IARC) clasificó al cadmio y compuestos de cadmio en el grupo 1 de cancerígenos humanos (OMS, 2000b).

3.4.2.3 Efectos a la Salud por Níquel.

El Níquel es un metal duro de color blanco plateado, presenta varias formas de compuestos debido a sus estados de oxidación, el ion bivalente parece ser el más importante tanto para sustancias orgánicas e inorgánicas, pero la forma trivalente puede ser generada por reacciones redox en la célula. Los compuestos de níquel que son prácticamente insolubles en agua incluyen carbonato, sulfuros y óxidos; además pueden ser disueltos en fluidos biológicos.

Las principales rutas de exposición a los humanos es por inhalación, ingestión y absorción a través de la piel. Se ha registrado que debido a una inhalación aguda de carbonyl níquel se genera daño severo a los pulmones. Se han reportado efectos renales reversibles, dermatitis alérgica, irritación de la mucosa y asma después de la exposición a compuestos inorgánicos de níquel; los efectos renales y la dermatitis presumiblemente se relacionan tanto con la inhalación y la ingestión de níquel y la dermatitis se relaciona al contacto cutáneo (OMS, 2000b).

3.4.2.4 Efectos a la Salud por Cobre.

El cobre es un irritante en el sistema respiratorio produciendo además irritación en la mucosa de la boca, ojos y nariz. Una alta inhalación de cobre puede causar

nausea, vómitos y diarrea. Sin embargo, este tipo de enfermedades no es muy común debido a las altas temperaturas necesarias para producir humos de cobre. La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR) menciona que no se sabe si el cobre puede producir cáncer en seres humanos. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha determinado que el cobre no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos (ATSDR, 2004).

3.4.2.5 Efectos a la Salud por Cromo.

El cromo es un metal duro y gris más comúnmente encontrado en estado trivalente en la naturaleza, mientras que los compuestos de cromo hexavalente son encontrados en pequeñas cantidades. Entre los efectos a los humanos, se han registrado úlceras, reacciones corrosivas en el septum nasal, dermatitis aguda y alergias entre sujetos expuestos a compuestos de cromo (VI). Se ha reportado necrosis del riñón, iniciando con necrosis tubular así como necrosis difusa del hígado y subsecuente pérdida de estructura. Se ha reportado que en la ingestión de compuestos de cromo VI resultan en un sangrado gastrointestinal proveniente de úlceras en la mucosa intestinal. En humanos han sido reportados efectos sistémicos en las vías respiratorias así como en el sistema cardiovascular hígado y riñón. En el riñón altas dosis de cromatos inducen necrosis. Existe suficiente información sobre el riesgo de cáncer en órganos respiratorios por la exposición a cromatos (WHO, 2000b).

3.5 Valores Máximos Permisibles de Calidad del Aire

Los máximos permisibles son valores de concentración para compuestos o elementos contaminantes, que han sido establecidos para garantizar que mientras las condiciones ambientales se encuentren por debajo de éstos, no existe riesgo a la salud de la población.

Los límites que establecen las normas deberían estar basados en estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición tanto en animales como en los seres humanos, que identifiquen los niveles del contaminante que son capaces de

causar un efecto negativo en la salud de algún grupo de la población con un cierto margen de seguridad. Sin embargo, en nuestro país debido principalmente a la falta de recursos e infraestructura suficiente para realizar todos los estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición necesarios para fundamentar el establecimiento de estándares de calidad del aire y a la gravedad del problema que se tenía a principios de los años noventa, las normas de calidad del aire mexicanas tuvieron como base fundamental la revisión de normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud y por los Estados Unidos de América (SEMARNAT, 2003).

3.5.1 Partículas Suspendidas Totales

El Consejo Suizo (SFC, 2000), tiene establecida la ordenanza sobre control de contaminantes del aire 814.318.142.1, en la cual se observa que para partículas en suspensión total el máximo permisible es de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un promedio aritmético anual y que para el 95% de los promedios en 24 hrs en un año la concentración debe ser menor o igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La República Checa tiene establecido en su acta No. 211/1991 los valores límite de concentración de contaminantes en el aire, entre los que se encuentra el Material Particulado Suspendido, cuyo máximo permisible diario es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y su máximo permisible anual es de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Municipio de Praga, 2003).

En México, los máximos permisibles de calidad del aire para Partículas Suspendidas Totales (PST), han sido publicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005), siendo dicho valor para PST de $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas para el percentil 98 en un período de un año.

Dicha norma también establece máximo para partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual, así como para partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual.

3.5.2 Metales

3.5.2.1 Máximos Permisibles para Plomo.

La WHO (2000a) establece un máximo permisible de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un promedio anual. En los Estados Unidos de América, existe la normativa conocida como estándares nacionales primario y secundario de calidad de aire para plomo, siendo el máximo permisible de $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un promedio trimestral (USEPA, 2008). En México fue establecido en la NOM-026-SSA1-1993 un valor máximo de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en un período de tres meses promedio aritmético (SSA, 1994).

3.5.2.2 Máximos Permisibles para Cadmio.

La OMS (2000a) en su segunda edición de las Guías de Calidad del Aire para Europa, define que para cadmio el máximo permisible sea de $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ en un promedio anual. La Comunidad Europea (EC, 2014), ha establecido el límite de Cd en aire ambiente, el cual queda definido como $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ en un promedio anual, tomando en cuenta que este valor se fija para prevenir el aumento en suelos agrícolas y prevenir a las futuras generaciones. Este mismo límite lo establece el gobierno de Estados Unidos de América a partir del 31 de diciembre del 2012. En México no existe actualmente normatividad sobre calidad del aire para este metal.

3.5.2.3 Máximos Permisibles para Níquel.

La Comunidad Europea (EC, 2014) ha establecido el límite de níquel en aire ambiente, el cual queda definido como $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ en un promedio anual. El gobierno de Estados Unidos de América estableció a partir del 31 de diciembre del 2012 el límite de $20 \text{ ng}/\text{m}^3$. En México no se cuenta con ninguna norma que regule la concentración de níquel en aire ambiente.

3.5.2.4 Máximos Permisibles para Cobre.

En las guías y criterios de calidad del aire del Ministerio de Ambiente de Ontario (OME, 2005), el límite para cobre en aire ambiente en un periodo de 24 horas queda definido en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En México no se cuenta con normatividad de calidad del aire respecto de cobre.

3.5.2.5 Máximos Permisibles para Cromo.

En los criterios de calidad del aire del Ministerio de Ambiente de Ontario (OME, 2005), el límite para cromo en aire ambiente en un periodo de 24 horas queda definido en $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En México no existe ninguna norma ambiental que establezca máximos permisibles de este metal en el aire ambiente.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en las siguientes ciudades del estado de Sonora, México: Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Obregón en las cuales se operó un equipo de PST de alto volumen de la Red Estatal de Información e Infraestructura sobre Calidad del Aire.

4.1 Agua Prieta, Sonora

El Municipio de Agua Prieta se localiza en el noreste del Estado de Sonora. La extensión territorial del Municipio es de 3,631.63 Km² que representan el 1.95 % del territorio estatal y el 0.18 % del nacional. El clima predominante en el municipio es de tipo templado Bsokw (C"), la temperatura media mensual máxima es de 27.3°C en los meses de junio y julio, la media mensual mínima es de 7.4°C en los meses de diciembre y enero; la temperatura media anual es de 17°C. Las lluvias se presentan en los meses de julio, agosto y septiembre con una precipitación media anual de 334.6 milímetros; se presentan deshielos en los meses de diciembre y febrero.

En el noroeste del municipio existen pastizales naturales, denominados también zacates como navajita belluda, navajita delgada, zacate galleta, así como zacate toboso y zacatón; en su parte central existen agrupaciones de bosques de encinos y pinos. En cuanto a fauna se refiere, existen las siguientes especies. Anfibios: rana común, salamandra, ajolote, sapo toro. Reptiles: tortuga, cachorón, cachora, camaleón y chirrionero. Mamíferos: venado, puma coyote, jabalí y mapache. Aves: esmerejón, aura, águila y aguililla cola roja.

Los diferentes tipo de suelos son Litosol: predomina en gran parte del municipio que corresponde a la región serrana. Regosol: se localiza al centro y al oeste, presentando fases físicas pedregosas; al este y sur fases líticas. Xerosol: se localiza al noroeste y presenta fase física pedregosa; predomina en zonas áridas y semiáridas. El municipio de Agua Prieta presentó una población total de 79,138 habitantes en el año 2010, de los cuales 40,117 son hombres y 39,021 son mujeres (INEGI, 2012).

4.2 Nogales, Sonora

El municipio de Nogales se encuentra situado en el extremo norte del estado de Sonora, México, ocupando la porción media de la frontera del mismo con los EUA, y tiene una superficie de 1,674.56 Km², correspondientes al 0.9% del área del estado. El municipio de Nogales cuenta con un clima semiseco templado BS1Kw (x)(e), con una temperatura media máxima mensual de 27°C en los meses de julio y agosto, de 8.7°C en los meses de diciembre y enero. La temperatura media anual es 17.8°C. La época de lluvia se presenta en el verano, en los meses de julio y agosto con una precipitación media anual de 460.8 milímetros. En el invierno generalmente hay nevadas y granizos.

En toda la extensión territorial del municipio predomina principalmente la vegetación de pastizal (natural e inducido); en gran porción de la región serrana se encuentra bosque de encino, aunque también está diseminado por casi toda el área municipal. En la parte este del municipio, se presenta un tipo de vegetación de matorral desértico micrófilo, como gobernadora, hierba de burro, cardón; también existen pequeñas áreas de vegetación de mezquital y un poco de agricultura de riego. Entre la fauna del municipio se pueden mencionar: sapo, rana, sapo verde, sapo toro, tortuga de río, cachora, víbora de cascabel, víbora sorda, coralillo, camaleón, culebra, salamanquesa, bura, venado cola blanca, borrego cimarrón, puma, puerco espín, murciélago, ratón de campo, margay, paloma morada, tecolote cornudo, cardenal, alondra cornuda, aura, gavián ratonero, halcón plomero y aguililla cola roja.

En el municipio se localizan las siguientes unidades de suelos: Feozem al este del municipio, tiene una capa superficial oscura, y rica en materias orgánica y nutrientes; Litosol al sur y este del municipio; Regosol al norte y centro del municipio, presentando fases físicas líticas. El municipio de Nogales presentó una población total de 220,292 habitantes en el año 2010, de los cuales 111,295 son hombres y 108,997 son mujeres (INEGI, 2012).

4.3 Puerto Peñasco, Sonora

El municipio de Puerto Peñasco está ubicado en el noroeste del Estado de Sonora, México, su cabecera es la población de Puerto Peñasco y se localiza en el paralelo 31° 19' de latitud norte y el meridiano 113° 32', a una altura de 7 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una superficie de 5,663 Km², su territorio es generalmente plano, pero se destaca la serranía de Sonoyta al Norte y Este del municipio, también se compone de buena parte del desierto de Altar y de la zona volcánica, Sierra El Pinacate.

El clima de Puerto Peñasco es semi-cálido BWhw(x') (e') con una temperatura media máxima mensual de 28.7°C en los meses de julio y agosto, y una media mínima mensual de 12.1°C; en diciembre y enero la temperatura media anual es de 20.1° C. La época de lluvia se presenta en el verano en los meses de julio y agosto con una precipitación media anual de 90.6 milímetros.

Una gran parte del territorio del municipio está constituida por vegetación de desiertos arenosos aunque también existe matorral reserófilo costero en la Bahía de Adair, en la región de la Sierra El Pinacate; mientras que en la parte noreste existe matorral desértico micrófilo de la categoría de matorral subinermes. Existen también lugares adyacentes a la región de Pinacate con categoría de matorral inermes, tales como gobernadora, nagua blanca, o trompillo, hierba de burro, etcétera, ambas regiones están protegidas como reserva ecológica nacional. En el municipio se encuentran especies como sapo, sapo toro, tortuga del desierto, cachora, víbora de cascabel, caguama, tortuga lacid, carey, víbora de mar, camaleón, monstruo de Gila, venado cola blanca, bura, berrendo, puma, tlacuache, coyote, jaguar, mapache, conejo, zorra gris, tecolote cornudo, paloma morada, churea, aura, gabilán gris, güilota, aguililla cola roja.

En el municipio se tienen los siguientes tipos de suelo: Solonchak al sur del municipio bordeando el litoral del Golfo de California, se presentan en zonas en donde se acumula el salitre por lo que su uso agrícola se haya limitado a cultivos muy resistentes a la sal y tiene escasa susceptibilidad a la erosión; Yermosol su vegetación natural es de pastizales y matorrales, su utilización agrícola está

restringida a las zonas de riego con muy altos rendimientos en cultivos como algodón, granos o vid. Su susceptibilidad a la erosión es baja. Puerto Peñasco presentó una población de 57,342 habitantes en el año 2010, de los cuales 29,460 pertenecen a la población total de hombres y el 27,882 mujeres (INEGI, 2012)

4.4 Hermosillo, Sonora

Este municipio representa el 8.7% de la superficie del Estado y es la capta del Estado de Sonora. En el municipio existen dos regiones climáticas: la primera que corresponde a la región costera la cual presenta un clima desértico semicálido con inviernos frescos y temperaturas de cero grados en enero y febrero, hasta temperaturas de 48 grados centígrados en julio y agosto. La segunda región la conforma el resto del municipio, con un clima muy seco con temperaturas de 14 a 16 grados en los meses de enero y febrero, con extremas de 31 a 47 en los meses de julio y agosto.

Sobresale en casi toda la geografía del municipio la vegetación del tipo mezquital, entre los se encuentran: el palo fierro, palo verde, huisache, brea, también se encuentran plantas halófilas en la parte costera y en las cercanías a Bahía de Kino existe vegetación de dunas. En cuanto a la fauna del municipio, predomina el sapo, sapo toro, tortuga del desierto, camaleón, víboras de coralillo, cascabel, sorda, chirrionera, venado cola blanca, borrego, berrendo, puma, lince, conejo, zorra, armadillo, entre los principales.

En el municipio se localizan los siguientes tipos de suelos: el Litosol en la zona noroeste y al sur del municipio; el Regosol que se localiza al norte del municipio y el Yemosol que se encuentra principalmente en la parte norte del municipio. El municipio de Hermosillo presentó una población total de 784,342 habitantes en el año 2010, de los cuales 392,697 son hombres y 391,645 son mujeres (INEGI, 2012).

4.5 Guaymas, Sonora.

El municipio de Guaymas se localiza al suroeste del Estado de Sonora, en el paralelo 57°56' de latitud norte y el meridiano 111°52' de longitud oeste de

Greenwich, a una altura 15m sobre el nivel del mar. Abarca una superficie de 12,206.18 km², que representa un 6.58 % de la superficie total del Estado.

El municipio cuenta con un clima seco muy cálido, con una temperatura máxima mensual de 31°C en los meses de julio y agosto y una temperatura media mínima mensual de 18°C en los meses de enero y febrero, la temperatura media anual es de 19°C.

En todo el territorio municipal se encuentra vegetación tipo mezquital, al centro del municipio se pueden localizar vegetación del tipo matorral subinmerme. En los límites con el municipio de Empalme, Sonora se localiza un área para agricultura de riego. En lo relativo a la fauna predomina: sapo y sapo toro, tortuga del desierto, cachorra, camaleón, coralillo, chicotera, víbora sorda, víbora de cascabel, cahuama, víbora de mar, burra, venado cola blanca, borrego cimarrón, puma, lince, coyote, jabalí, mapache, ardilla, tlacuache, juancito, ratón de campo, rata cerdosa algodонера, iguana, tórtola, paloma morada, lechuza, tecolote cornudo, carpintero de Arizona, cuervo cuello blanco, toro negro, garcita verde, pato prieto.

En el municipio de Guaymas se localizan los siguientes tipos de suelos: Litosol, Regosol y Yermosol. Los suelos son aptos para los pastizales, y la agricultura está restringida a las zonas de riego y se obtienen muy altos rendimientos en los cultivos de algodón, granos y de vid. El municipio de Guaymas presentó una población total de 149,299 habitantes en el año 2010, de los cuales 74,740 pertenecen a la población total de hombres y 74,559 a mujeres (INEGI, 2012).

4.6 Obregón, Sonora

El Municipio de Cajeme está ubicado en el suroeste del Estado de Sonora, su cabecera es la población de Ciudad Obregón. Posee una superficie de 3,312.05 Km², que representan el 1.79 % del total estatal y el 0.17 % del nacional. Las localidades más importantes, además de la cabecera, son Esperanza, Cócorit y Pueblo Yaqui.

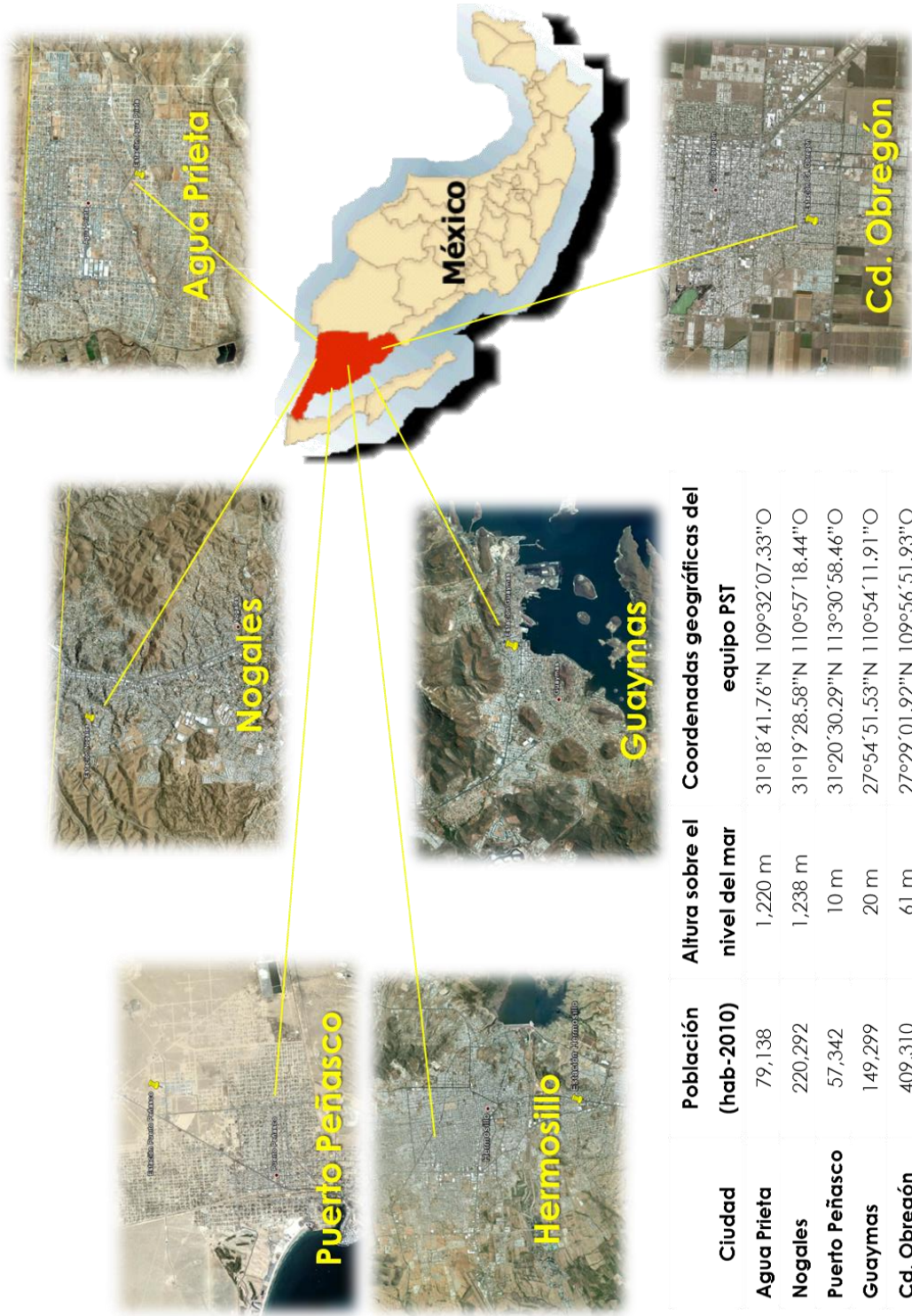
El municipio presenta básicamente dos tipos de climas: seco y muy seco. El primero BS (h) hw(e) clima cálido extremoso, con una precipitación media anual

de 410 mm; cubre la mayor parte del territorio al norte y al este. El segundo, BW (h) muy cálido extremoso, con una precipitación media anual de 299 mm, se tiene en la parte suroeste. En ambos casos el 73 % de la precipitación se presenta en los meses de julio a septiembre; los dos son cálidos, con una temperatura media anual de poco más de 24°C, las temperaturas medias máximas son de 31°C; y se presentan en los meses de junio a septiembre; la máxima es de 48°C; las medias mínimas de temperatura son de 16°C en enero.

Una gran parte del territorio municipal está constituido por selva baja caducifolia, principalmente en la zona norte y estribaciones de Sierra Madre Occidental: otra gran porción está constituida por matorral sarco-crasicaule tales como el cirio, idria, cardón, copalquín, candelilla y agave; así también abundan diseminados en toda la extensión municipal, áreas de vegetación entre las que se encuentran el mezquital, palo verde, brea, palo fierro y huisache; en las áreas urbanas se encuentran árboles frondosos como el yucateco, tabachín y laureles de la India. Respecto a la variedad faunística, se cuenta con varias especies de pájaros como: churea, palomas, codorniz y aves migratorias en la costa sur de Cajeme; existen reptiles como coralillos, rana, sapo toro y chicotera y algunos mamíferos como coyote, zorra, rata, rata algodónera y madera.

En el municipio se presentan los siguientes tipos de suelo: Cambisol en el norte y pueden acumular algunos materiales como arcilla, carbonato de calcio, hierro, magnesio, etcétera, moderada a alta susceptibilidad a la erosión; Fluvisol en las márgenes de la presa Álvaro Obregón. Litosol al noreste del municipio, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Regosol al este presentando fases físicas líticas. Vertisol en el centro y presenta fases líticas y Xerosol al sur del municipio en zonas áridas. El municipio de Obregón presentó una población total de 409,310 habitantes en el año 2010, de los cuales 202,700 son hombres y 206,610 son mujeres (INEGI, 2012).

En la figura 1 se presenta la ubicación de las ciudades en estudio.



Ciudad	Población (hab.-2010)	Altura sobre el nivel del mar	Coordenadas geográficas del equipo PST
Agua Prieta	79,138	1,220 m	31°18'41.76"N 109°32'07.33"O
Nogales	220,292	1,238 m	31°19'28.58"N 110°57'18.44"O
Puerto Peñasco	57,342	10 m	31°20'30.29"N 113°30'58.46"O
Guaymas	149,299	20 m	27°54'51.53"N 110°54'11.91"O
Cd. Obregón	409,310	61 m	27°29'01.92"N 109°56'51.93"O
Hermosillo	784,382	227 m	29°02'38.5"N 110°57'27.8"O

Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Procedimiento de Muestreo

La Red Estatal de Infraestructura e Información sobre Calidad del Aire (REIICA) estableció una frecuencia de muestreo cada 6 días con muestreos no simultáneos en las estaciones de la red, con el objetivo de analizar y evaluar la calidad del aire respecto de PST. En el presente estudio se utilizó la información y filtros de dichos muestreos realizados durante el período anual 2010, para el análisis de PST y metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr).

El método de muestreo utilizado fue el de alto volumen (Hi-Vol) establecido en la Norma NOM-035-ECOL-1993 (SEMARNAP, 1993), el cual permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente por medio de un muestreador que hace pasar a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente durante un período de muestreo de 24 hrs. La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 50 micrómetros (μm) de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros utilizados tienen una eficiencia de recolección mínima del 99 % para partículas de 0.3 μm . Los filtros son los utilizados para la determinación de concentración de PST y de metales de acuerdo a la metodología citada más adelante. En la Figura 2 se ilustra un muestreador de alto volumen.

5.2 Análisis de Laboratorio

El material utilizado en el laboratorio se sometió a un estricto control para evitar una posible contaminación principalmente de metales. Para esto, se utilizó la metodología recomendada por Moody y Lindstrom (1977) y la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-115-SCFI-2001 (SE, 2001). El procedimiento de limpieza consistió en someter el material de cristalería a un lavado con detergente, enjuague con agua corriente y sumergirlo en una disolución de ácido nítrico al 20% (v/v) durante 3 días. Posteriormente, se enjuagó con agua deionizada, se secó y se guardó en bolsas de plástico para su posterior utilización.

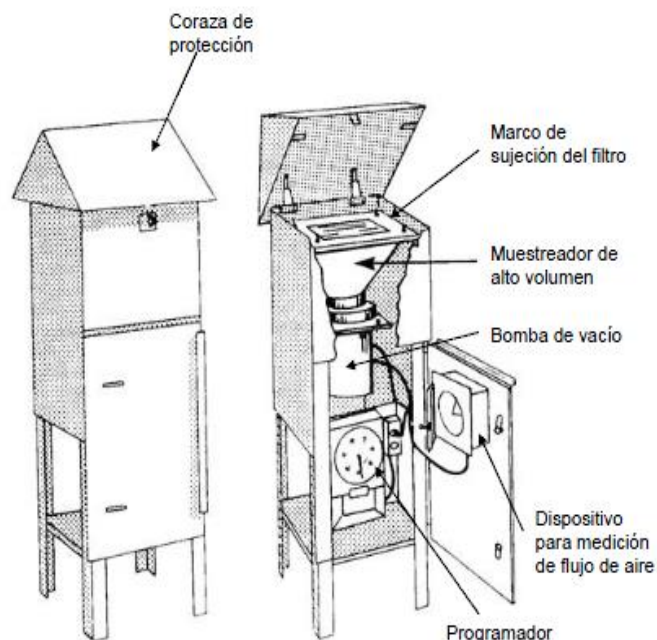


Figura 2. Muestreador de alto volumen (HI-VOL)

5.3 Partículas Suspendidas Totales (PST).

El método utilizado para muestreo y determinación de PST es el señalado por la Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993 (SEMARNAP, 1993), y que coincide con el método establecido en la normatividad de EUA (USEPA, 1992a). En este método, un filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad y temperatura controladas antes y después de su uso, para determinar su ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo. La concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón debido a la corrección a las condiciones de referencia.

5.4 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr).

La metodología para la determinación de metales fue la establecida bajo el procedimiento para la determinación de plomo en partículas suspendidas,

establecida por USEPA (1992b), cuyo principio se basa en coleccionar las partículas suspendidas en el aire utilizando un muestreador de alto volumen. Los metales del material particulado muestreado son solubilizados por extracción con una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico para posteriormente analizarse por espectrometría de absorción atómica utilizando un equipo PERKIN-ELMER, Modelo AAnalyst 400. Mediante la siguiente expresión se calcula la concentración del metal de interés:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = (\mu\text{g} / \text{ml} * 100\text{ml}) / \text{Volumen de aire filtrado en } \text{m}^3 .$$

Donde: $\mu\text{g}/\text{ml}$ = Lectura registrada por el Equipo de Absorción Atómica.

100ml = Volumen de aforo de la muestra analizada.

5.5 Control de Calidad en el Análisis de las Muestras de Filtros

Con la finalidad de obtener datos confiables de campo así como resultados precisos y exactos, se llevó a cabo un procedimiento de control de calidad en los métodos utilizados en el análisis químico de metales en las muestras de filtros. Para ello se siguió la metodología de control de calidad recomendada en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-115-SCFI-2001 (SE, 2001) y de la Environmental Protection Agency (USEPA, 1998). El procedimiento de control de calidad consistió de un estricto control en los siguientes puntos:

- Limpieza de los Equipos de Muestreo. La limpieza de los equipos de muestreo.
- Procedimiento de Calibración y Frecuencia. El equipo analítico de laboratorio (balanza analítica y espectrofotómetro de absorción atómica) fue calibrado en base a los manuales del fabricante.

Se utilizaron reactivos de alta pureza analítica y se elaboró una curva de calibración empleándose un mínimo de 5 estándares para la determinación de metales.

5.6 Indicadores de Calidad de los Datos

5.6.1 Precisión.

Es el grado de conformidad con que un grupo de mediciones realizadas bajo las mismas condiciones experimentales para una misma sustancia o propiedad (Clavijo, 2002). Se evaluó la precisión mediante el análisis de réplicas de análisis repetidos de una muestra o estándar. La desviación estándar absoluta, S, describe la dispersión de las mediciones individuales alrededor de la media y viene dada por la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

x_i = Es una de las mediciones individuales

\bar{x} = Es la media

5.6.2 Exactitud.

La exactitud de una medición es el grado de concordancia del resultado de la misma comparada con el valor verdadero del objeto que está siendo medido.

La exactitud se determinó a través del análisis de muestras fortificadas con estándares de alta pureza analítica de concentración conocida, los cuales fueron sometidas al mismo procedimiento de análisis que las muestras. Los resultados obtenidos se expresan como porcentaje de recuperación:

$$\text{Recuperación (\%)} = a/b \times 100$$

dónde: a = Concentración adicionada a la muestra

b = Concentración medida en la muestra

En el presente trabajo se llevaron a cabo determinaciones de tres muestras de concentración conocida de estándares de alta pureza analítica, de 0.5, 1.0 y 2.0 ppm para cada uno de los metales estudiados, los cuales se analizaron al

principio, en medio y al final del análisis de los filtros muestra. Se utilizó el criterio de aceptación de $\pm 16\%$ como porcentaje de diferencia utilizado por USEPA (1998).

5.6.3 Límite de Detección del Instrumento (L.D.).

En la presente investigación se utilizó el criterio del Límite de Detección, como la cantidad de concentración del analito que proporciona una señal igual a la señal del blanco (YB), más tres veces la desviación estándar del blanco (SB) (Miller y Miller, 1993):

$$YLDI = YB + 3SB$$

5.7 Determinación de la Calidad del Aire

En la determinación de la calidad del aire respecto de PST se utilizaron las siguientes herramientas metodológicas:

- Indicadores de comportamiento de concentraciones de contaminantes en el aire
 - Análisis de los valores promedio diarios
 - Análisis de los valores promedio mensual
 - Análisis del valor máximo, mínimo y promedio anual
- Indicadores de calidad del aire
 - Percentil 98
 - Días por encima del máximo permisible
 - Índice anualizado de calidad del aire
 - Días con buena, regular y mala calidad del aire

El criterio de calidad del aire para metales fue la comparación con normas, siendo:

- Plomo: NOM-026-SSA1-1993, (DOF, 1994).
- Cadmio: Directiva 2004/107/CE (CE, 2004).
- Níquel: Directiva 2004/107/CE (CE, 2004).
- Cobre: Criterio Ministerio de Ambiente de Ontario (OME, 2012),
- Cromo: Criterio Ministerio de Ambiente de Ontario (OME, 2012).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Control de Calidad y Límites de Detección

6.1.1. Parámetros de Control de Calidad.

Los parámetros utilizados para control de calidad fueron los que se presentan en la tabla 3, cumpliéndose en cada caso con el criterio señalado. En el **anexo 1** se presentan los resultados de cada prueba realizada.

Tabla 3. Resultados de control de calidad.

Parámetro	Frecuencia	Criterio	Resultado
Filtros: Integridad, pérdida de peso	Al inicio	Completo Iguales est. $\alpha= 5\%$	Correcto
Límite de Detección (LD)	Para cada parámetro	Cada parámetro	Se identificó que el LD para Cd está por encima del criterio de calidad del aire
Reproducibilidad $P = (a - b) / (a + b) / 2) \times 100$	Cada batch	$\leq 5\%$	Correcto
Estabilidad de calibración (con los estándares de la curva)	Al inicio, cada 10 muestras y al final	$\pm 5\%$	Correcto
Exactitud (muestras fortificadas) $d_i = ((Y_i - X_i) / X_i) \times 100$	Tres lecturas durante el batch	$\pm 16\%$	Correcto

6.1.2. Límites de Detección

Los límites de detección determinados fueron los siguientes:

Para PST la Norma NOM-035-SEMARNAT-1993 (SEMARNAP, 1993), establece un rango de aceptación de 2 a 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, al respecto es relevante señalar que en

las ciudades de Nogales y Puerto Peñasco se determinaron concentraciones de PST superiores a $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que existe la posibilidad de subestimación de concentraciones en esos casos, ya que es posible que en los días en que se rebasa este rango de aceptación el filtro pudiera colmatarse.

En relación al plomo, el método utilizado establece un límite de detección de $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (USEPA, 1992b). De acuerdo a los resultados obtenidos, el valor del L.D. para plomo fue de $0.01 \text{ mg}/\text{L}$, con este dato y considerando un volumen de muestreo de $2,400 \text{ m}^3$ se obtiene un L.D. en aire ambiente de $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De manera igual, se calculó el límite de detección para cadmio, níquel, cobre y cromo en el aire, los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de límite de detección de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en aire ambiente.

Metal	Límite de detección analítico ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Límite de detección en aire ambiente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Plomo	0.01	0.005
Cadmio	0.04	0.020
Níquel	0.01	0.005
Cobre	0.02	0.010
Cromo	0.02	0.010

6.2 Partículas Suspendidas Totales (PST)

6.2.1 Indicadores del comportamiento de PST en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

6.2.1.1 Promedio diario de PST para seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

La programación de muestreos de PST fue cada seis días, no simultáneos en las seis ciudades. En el período anual estudiado el número de muestreos válidos fueron: 20 para Agua Prieta, 49 para Nogales, 38 para Puerto Peñasco, 50 para Hermosillo, 32 para Guaymas y 33 para Obregón.

En el **anexo 2** se presentan las concentraciones de PST para cada ciudad durante el período de estudio y en la figura 3 se presenta el comportamiento de la concentración de PST para las seis ciudades a lo largo del año, los valores graficados corresponden a muestreos de 24 h, la figura incluye con línea punteada el valor máximo permisible de PST ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$), apreciándose que en todas las ciudades se rebasa en alguna época del año, pero en Nogales y Puerto Peñasco ocurre muy frecuentemente según se observa en la gráfica.

Esta diferencia en distribución y rangos de fluctuación de concentración se observa claramente al comparar las seis ciudades como se muestra en la figura 4 de comparativo de distribución de concentración de PST en el año de estudio para las seis ciudades, identificándose fácilmente de manera visual las ciudades presentan mayor problemática de polvos en el aire en cuanto a su frecuencia a lo largo del año y por sus altas concentraciones. Las ciudades de Nogales y Puerto Peñasco presentan una amplitud del orden de $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre mínimos y máximos; mientras que en las otras cuatro ciudades dicha amplitud se encuentra entre 200 y $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta diferencia en amplitud de concentraciones podría estar relacionada con las condiciones meteorológicas regionales, en particular de temperatura y/o velocidad de viento.

Únicamente se identificó antecedente de mediciones de PST para Hermosillo (Cruz-Campas et al., 2013) estableciéndose que la concentración máxima diaria detectada de $305 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en este estudio es similar a los máximos detectados en tres puntos de la ciudad en el año 2002 que se encontraban entre 243 y $610 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio anual del 2010 fue de $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en el 2002 el promedio anual se ubicó entre 110 y $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tres sitios analizados. De acuerdo a esta comparación, las PST en Hermosillo habrían permanecido similares entre el 2002 y el 2010.

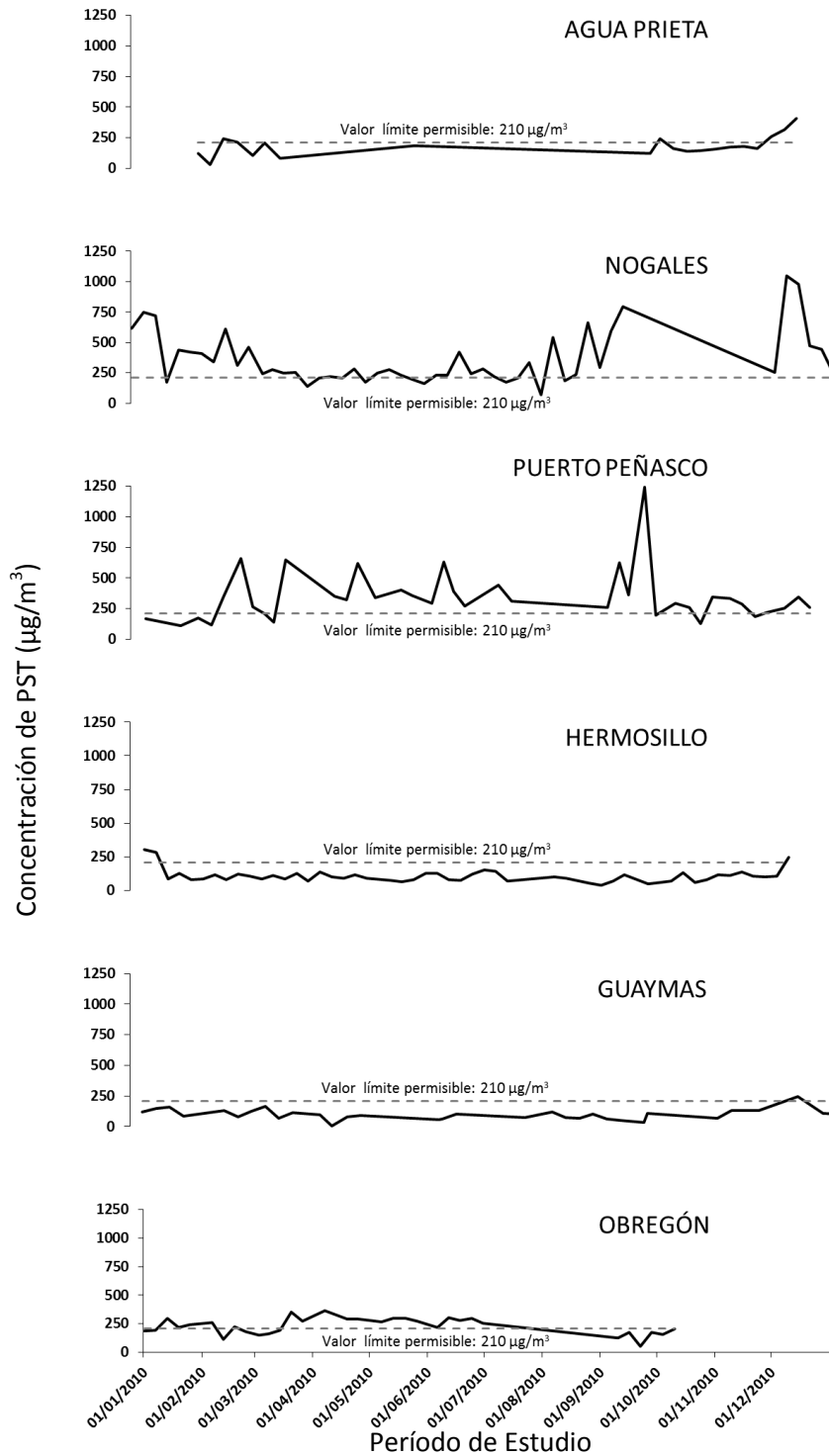


Figura 3. Distribución y comparación de concentraciones de PST con el valor máximo permisible ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

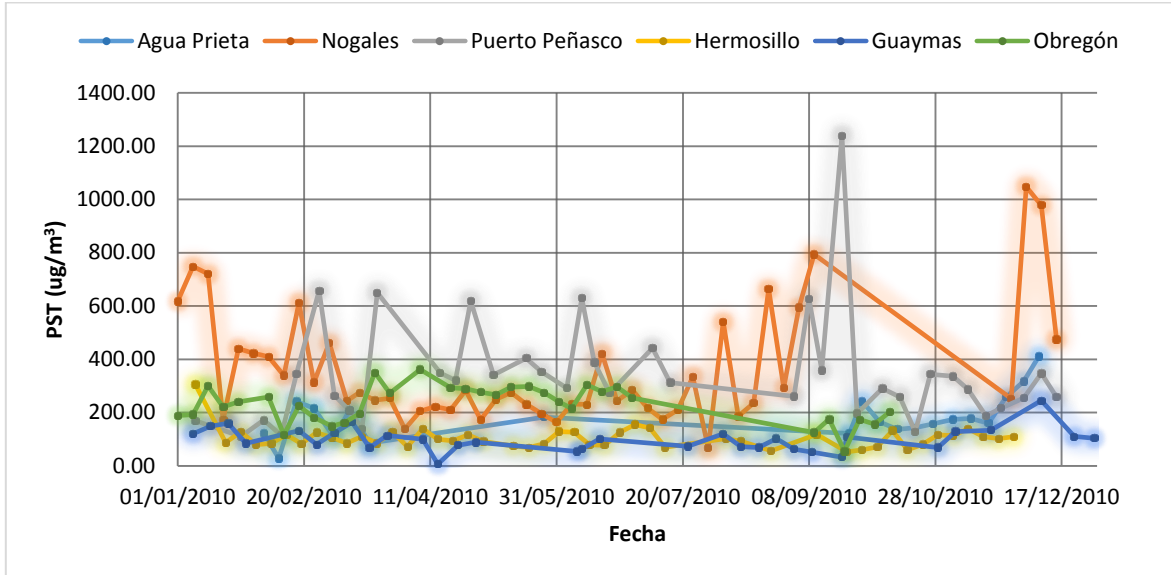


Figura 4. Comparativo de distribución de concentración de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

6.2.1.2 Promedio mensual.

Este indicador muestra el cambio de las concentraciones de un contaminante a lo largo del año, presentando los valores típicos de cada mes mediante el promedio de los registros diarios y permite asociar la concentración de los contaminantes con la intensidad de las actividades antropogénicas o patrones meteorológicos. En la tabla 5 se presentan los valores promedio mensual. Se destacan Nogales y Puerto Peñasco con los valores más elevados, siendo el más alto de $694 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en septiembre para Nogales, seguido de Puerto Peñasco con $536 \mu\text{g}/\text{m}^3$ también en septiembre; Agua Prieta con $364 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre, Obregón con $315 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en abril, Hermosillo con $246 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre, y finalmente Guaymas con $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre. Este indicador sirve para alertar sobre los meses con condiciones de peligro a la salud, debiéndose considerar esta información para proteger a los grupos de población más susceptibles como infantes, embarazadas, adultos mayores y personas que padecen enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

Tabla 5. Valores promedio mensual de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

Mes	Agua Prieta	Nogales	Puerto Peñasco	Hermosillo	Guaymas	Obregón
Enero		520	139	201	128	228
Febrero	152	418	321	97	106	195
Marzo	132	295	315	102	117	226
Abril	--	211	429	104	67	315
Mayo	183	214	366	79	--	282
Junio	--	282	395	107	72	265
Julio	--	200	377	122	72	--
Agosto	--	383	--	73	90	--
Septiembre	181	694	536	75	63	132
Octubre	150	--	255	92	68	179
Noviembre	192	252	256	114	131	--
Diciembre	364	637	286	246	153	--

6.2.1.3 Máximo, mínimo y promedio anual.

La figura 5 muestra la concentración máxima, promedio y mínima de PST en las seis ciudades durante el período de estudio. Los máximos obtenidos van de 245 a 1,239 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rebasando en todas las ciudades el valor normado para 24 h de 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Nogales y Puerto Peñasco presentan las concentraciones más altas rebasando la norma en un 498 y 590 % respectivamente. Nogales presenta temperatura ambiente de moderada a fría lo que aunado al clima mayormente seco de la región propicia la presencia de polvos en el ambiente. Por otro lado, la ciudad de Puerto Peñasco se localiza en una zona desértica caracterizada por eventos de tolvánicas y tormentas de arena, situaciones que posiblemente estén incidiendo significativamente en la calidad del aire.

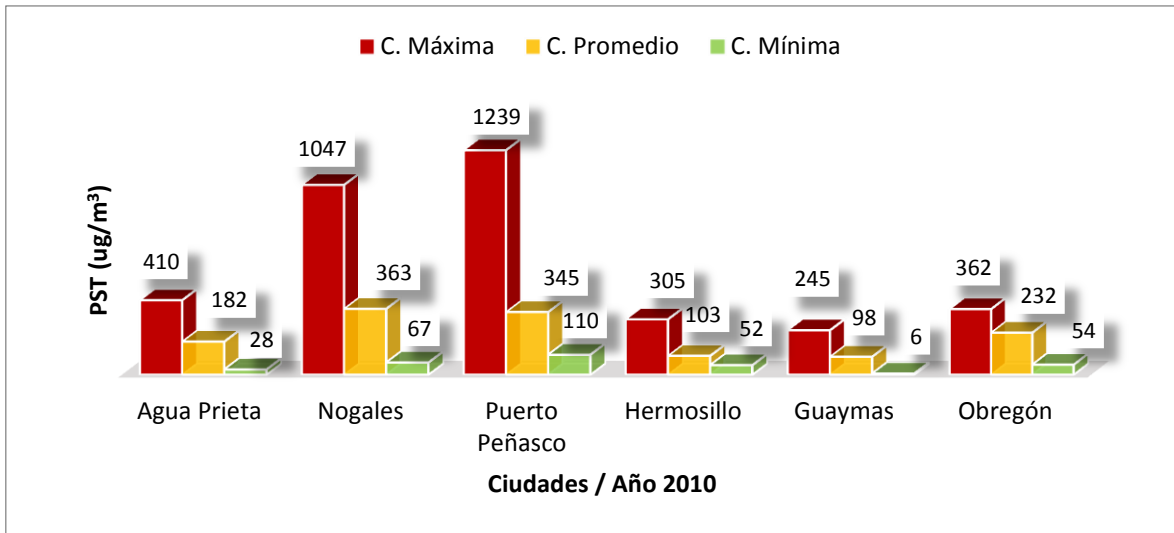


Figura 5. Valores máximo, promedio y mínimo de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

El promedio anual para las seis ciudades fluctuó de 98 a $363 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La Norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) no establece máximo permisible anual. En normatividad previa sobre PST en México (NOM-024-SSA1-1993 vigente hasta el 2005) se establecía un promedio máximo permisible de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se hubiera rebasado en las seis ciudades.

Respecto a estudios previos de PST, Cruz-Campas, et al. (2013) reportan para Hermosillo, Sonora (junio de 2001 a mayo de 2002), valores máximos de 243 a $610 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y promedio anual de 110 a $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para tres sitios en la ciudad; aunque ninguno de esos tres sitios corresponde al sitio al analizado en el 2010 (Estación COBACH SUR), los niveles de concentración pueden considerarse similares para la ciudad en ambos períodos. Con respecto al resto de las ciudades, no se dispone actualmente de estudios previos.

6.2.2 Indicadores relacionados con las normas de calidad del aire.

En general las normas de calidad del aire se establecen en base a los resultados obtenidos en estudios toxicológicos y epidemiológicos que relacionan la exposición a un contaminante y los efectos en la salud. En la tabla 6 se presentan las concentraciones límite y la frecuencia máxima aceptable para partículas

suspendidas en aire ambiente según la Normatividad Mexicana vigente al momento de este estudio.

Tabla 6. Normatividad mexicana para partículas suspendidas en aire ambiente.

Contaminante	Valores Límite Permisible			Norma Oficial Mexicana
	Exposición Aguda		Exposición Crónica	
	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio de 24 horas	Frecuencia máxima aceptable	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio aritmético anual	
PST	210	2% de mediciones al año	--	NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005)
PM10	120	2% de mediciones al año	50	
PM2.5	65	2% de mediciones al año	15	

6.2.2.1 Percentil 98.

La frecuencia máxima que se permite rebasar el valor límite de PST es del 2% de las concentraciones diarias en un año (percentil 98), establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005).

Esta norma establece que para poder verificar su observancia se requerirá cumplir con una cobertura o compleción de muestreos mínima de 75% de muestras válidas por trimestre y tres trimestres cumpliendo el requisito para evaluar el año, se establece además que en los sitios donde el monitoreo no se realice diariamente se tomará como base el número de muestreos calendarizados para dicho periodo.

En la tabla 7 se presenta la evaluación del criterio de compleción o cobertura de datos para cada una de las ciudades del presente estudio.

Tabla 7. Evaluación del criterio de completión o cobertura para muestreos de PST realizados en seis ciudades de sonora, durante el año 2010.

Trimestre	Muestras esperadas	75% del esperado	Muestras validas por ciudad y cumplimiento de criterio de completión o cobertura											
			Agua Prieta		Nogales		Puerto Peñasco		Hermosillo		Guaymas		Obregón	
			Muestras	cumple	Muestras	cumple	Muestras	Cumple	Muestras	Cumple	muestras	cumple	muestras	Cumple
Ene-Mar	15	11	7	No	15	Si	10	No	14	Si	10	No	14	Si
Abr-Jun	16	12	1	No	16	Si	10	No	14	Si	7	No	14	Si
Jul-Sep	15	11	2	No	12	Si	7	No	11	Si	9	No	3	No
Oct-Dic	14	10	10	Si	6	No	11	Si	11	Si	6	No	2	No

En base a los resultados de cobertura de muestreos obtenidos, no es posible evaluar el cumplimiento a la norma citada anteriormente para PST en las ciudades de Agua Prieta, Puerto Peñasco, Guaymas y Obregón, debido a que no se logró obtener el 75% de muestras en tres trimestres.

Las ciudades de Nogales y Hermosillo cumplieron con dicho criterio por lo que sí es posible evaluar su cumplimiento a la norma.

Los datos que se consideraron para el cálculo del percentil 98 corresponden para Nogales a los muestreos realizados en los tres primeros trimestres del año (43 muestreos) y para Hermosillo todos los trimestres (50 muestreos).

En la tabla 8 se presenta la concentración correspondiente al percentil 98 determinada para ambas ciudades, y su comparación con el valor máximo permisible y cumplimiento de la norma.

Tabla 8. Determinación del percentil 98 para concentraciones de PST en las ciudades de Nogales y Hermosillo, Sonora, México durante el año 2010 y determinación de cumplimiento con la norma.

Ciudad	Concentración correspondiente al percentil 98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cumplimiento con la Norma
Nogales	794	210	No
Hermosillo	305	210	No

Es importante señalar que la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) no establece fundamento que justifique el requisito del 75% completación o cobertura de muestras del total programado por trimestre para que éste sea válido, y tampoco fundamenta por que se estableció el criterio de contar al menos con tres trimestres válidos para poder determinar que un sitio cumple con la norma. Se asume que dichos criterios garantizan que se cuente con información suficiente para poder establecer el cumplimiento con la norma, pero esos criterios resultarían irrelevantes para determinar el *incumplimiento* con la norma (a fin de activar en su caso las consecuentes acciones de protección de la salud humana y control de la contaminación ambiental que las autoridades deberían implementar), toda vez que por el hecho de rebasarse el valor de concentración máxima e ignorar tal información, quedaría sin efectos el objetivo de la norma de proteger la salud de la población más susceptible, identificándose controversia en su aplicación.

Al corresponder el muestreo de PST al tipo manual con una frecuencia de cada 6 días, bastaría con que se excediera dos días el valor máximo permisible para una cobertura del 100% (60 muestreos válidos al año) o se excediera un día para una cobertura del 75% (45 muestreos válidos al año) para que se rebasara el 2% permisible de frecuencia de días por arriba del valor máximo permisible de 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año.

Bajo esta perspectiva, sería suficiente señalar como criterio de incumplimiento la cantidad de días que se permitiera rebasar el valor de concentración máxima, descartándose el criterio de cobertura, el cual no favorece ni permite aplicar esta

norma de protección a la salud de la población en muchos casos, aun cuando las concentraciones diarias de PST rebasen el valor máximo permisible frecuentemente, como ocurrió con cuatro de las seis ciudades evaluadas en este estudio (Agua Prieta, Puerto Peñasco, Guaymas y Obregón).

Con base en lo anterior y bajo el principio precautorio que toda norma de protección ambiental y de la salud debe considerar (Cafferatta, 2004; Jiménez de Parga, 2003; UN, 1992) resulta irrelevante el criterio de cobertura solicitado por la norma NOM-025-SSA1-2003 (SSA, 2005) en términos de la protección de la salud de la población, por lo que, bajo la filosofía de la norma de proteger la salud de la población susceptible se deberán establecer criterios de incumplimiento dando con ello la relevancia y la importancia al instrumento normativo, en aras de su objetivo principal que es proteger a la población.

Considerando el análisis de los párrafos anteriores, en la tabla 9 se propone un criterio de incumplimiento a la norma respecto de PST sin el criterio de compleción o cobertura actualmente establecido en ella. Esta propuesta conserva la concentración normada o valor máximo permisible y tiene implícita la frecuencia permitida (Percentil 98), posibilitando su aplicación (a fin de establecer incumplimientos) respecto de PST para muchos sitios en México en los que las concentraciones de PST pudieran ser altas pero que no se tienen suficientes mediciones para aplicar actualmente la norma.

El principio de esta propuesta puede ser trasladado a los otros parámetros normados en la norma (PM_{10} y $PM_{2.5}$), así como a otras normas de protección de la salud de la población o del medio ambiente que establecen criterios de cobertura en el muestreo para su aplicación.

Como ejemplo de aplicación de la propuesta, en la tabla 10 se presenta su análisis para las ciudades en estudio en este trabajo.

Tabla 9. Propuesta de criterio de incumplimiento a la norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005), respecto de partículas suspendidas totales (PST).

Número de muestras (promedio 24 h) de PST en un sitio al año	Criterio de incumplimiento a la Norma: Días por encima del valor límite de concentración para exposición aguda (210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) al año
50 o menos	1
51 o más	2

Tabla 10. Propuesta de evaluación de incumplimiento de la norma de calidad del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010.

Ciudad	Cantidad de Muestras de PST (24 h)		Número de días arriba del valor límite de concentración (210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	¿El sitio cumple el criterio propuesto de calidad del aire?
	50 o menos	51 o más		
Agua Prieta	X		6	No cumple
Nogales	X		38	No cumple
P. Peñasco	X		29	No cumple
Hermosillo	X		3	No cumple
Guaymas	X		1	No cumple
Obregón	X		21	No cumple

6.2.2.2 Número de días arriba del límite.

Este indicador se obtiene como el conteo de días por arriba del valor límite de concentración establecido en la norma de calidad del aire e indica el impacto que tiene la contaminación por un contaminante específico en una región dada, es equivalente al “porcentaje de días arriba del límite”. El cálculo debe considerar el criterio de completación de al menos un 75% de los muestreos programados, en la tabla 11 se presenta el número de días que se rebasa el valor máximo permisible para las dos ciudades que cumplen con el criterio.

Tabla 11. Número de días por arriba del límite máximo permisible de PST en dos ciudades de Sonora, México durante el año 2010 incluye solo trimestres que presentaron cobertura de muestreos igual o mayor al 75%.

Ciudad	Total de días con muestras válidas	Número de días arriba del límite	Porcentaje de días arriba del límite
Nogales	43	32	74.4
Hermosillo	50	3	6.0

Bajo el planteamiento realizado en el numeral anterior en el que se discute la irrelevancia de eliminar datos por motivos de incumplimiento al criterio de completación o cobertura, en este caso se cuestiona lo mismo. Si se considera que la norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) establece que "...para efectos de protección a la salud de la población más susceptible, se establecen los valores de concentración máxima...", entonces la importancia de este indicador sería la de conocer las veces que estuvo en peligro la salud de la población a fin de que las autoridades actúen, independientemente de la cobertura de muestreos lograda. La Figura 6 presenta el número de días muestreados y el porcentaje de días en que se rebasa el valor límite normado. La mitad de las ciudades evaluadas presentan más del 50% de días por arriba de la norma, situación que representa peligro a la salud de la población debiéndose tomar acción por los municipios respectivos.

6.2.2.3 Índices de calidad del aire.

6.2.2.3.1 Índice anualizado.

Se utilizó el índice anualizado de calidad del aire (Cruz-Campas, 2005), el cual es una modificación al Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) cuyo algoritmo pertenece al del Índice Uniforme de Calidad del Aire (AQI por sus siglas en inglés) (USEPA, 1992c), utilizándose como variable de cálculo el promedio de las concentraciones de los días que se rebasó el valor máximo permisible, proponiéndose nuevos puntos de quiebre para obtener el indicador para PST a partir del 2005, tomándose como base el incremento porcentual que existía en la

tabla anterior del IMECA (INE-SEMARNAP, 1997) entre cada punto de quiebre partiendo del anterior máximo permisible de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ver **Tabla 12**.

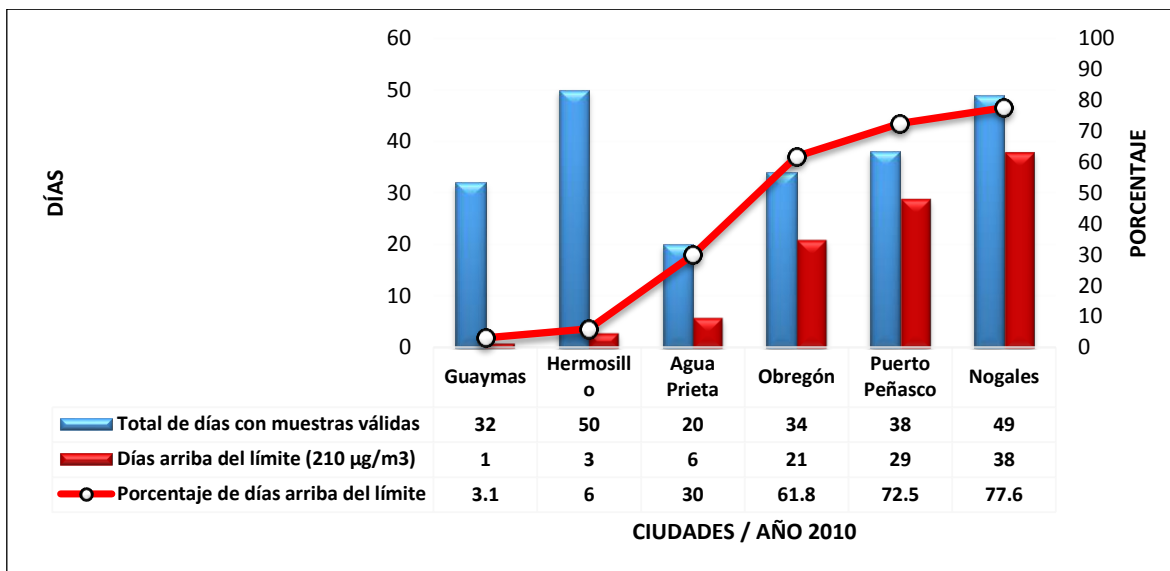


Figura 6. Número de días por arriba del límite máximo permisible de PST y porcentaje que representa en seis ciudades de Sonora, México, durante el año 2010 sin considerar el criterio de cobertura.

Tabla 12. Propuesta de puntos de quiebre para el cálculo del índice anualizado de calidad del aire respecto de PST.

Índice	Calificativo de la Calidad del Aire	Puntos de Quiebre para PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; 24h)	
		Antes del 2005*	Después del 2005**
Abajo de 50	Buena	--	--
50 a 100	Satisfactoria	260	210
101 a 200	No Satisfactoria	546	441
201 a 300	Mala	627	506
301 a 500	Muy Mala	864	698
		1000	808

*INE-SEMARNAP (1997)

**Propuesta para este estudio

En la tabla 13 se presentan los valores promedio obtenidos solo de los días en que se rebasó el valor límite normado para cada ciudad, así como el cálculo del

índice anualizado de calidad del aire basado en la propuesta de puntos quiebre y la condición o calidad del aire resultante.

Tabla 13. Índice anualizado de calidad del aire para PST en seis ciudades de sonora durante el año 2010, considerando el promedio de los días en que se rebasó el valor límite normado y propuesta de puntos de quiebre.

Ciudad	Concentración promedio de los días en que se rebasó el límite normado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Algoritmo de cálculo del Índice	Resultado del Índice de Calidad del Aire	Condición o Calificación de la Calidad del aire
Agua Prieta	281	$I = ((200 - 100) / (441 - 210)) \times (\text{promedio} - 210) + 100$	131	No Satisfactoria
Nogales	418		190	
P. Peñasco	404		184	
Hermosillo	278		129	
Guaymas	245		115	
Obregón	276		129	

Aunque los índices se basan en una escala arbitraria, básicamente usada para informar a la población sobre la contaminación de la atmósfera, es pertinente señalar que lo que se pretende es informar de la peligrosidad a la salud por dicha contaminación y en el caso de identificarse una calidad no satisfactoria, lo que ocurre al rebasarse la norma, entonces esta condición de la atmósfera se considera peligrosa (Trejo-Vázquez, 2006).

Es importante señalar que en México, el Gobierno del Distrito Federal (2006) estableció una nueva clasificación para el IMECA en la Norma NADF-009-AIRE-2006 quedando la calidad de aire como: Buena de 0 a 50, regular de 51 a 100, mala de 101 a 150, muy mala de 151 a 200 y extremadamente mala cuando el valor es mayor de 200 puntos IMECA.

Sin embargo, en esta clasificación no se consideró el parámetro de Partículas Suspendidas Totales como contaminante atmosférico criterio, ni tampoco se incluyó el plomo aunque ambos se encuentran actualmente normados en México.

6.2.2.4 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala.

A partir de la búsqueda de un indicador sencillo y comprensible que facilite a la población interpretar la calidad del aire, surge la clasificación de los días con buena, regular y mala calidad del aire (SEMARNAT, 2011) definiéndose como: Buena, cuando la concentración diaria se ubica entre cero y la mitad del límite respectivo; Regular, cuando el dato diario se ubica entre la mitad del límite y el límite mismo y Mala, cuando el dato diario rebasa el límite especificado. En la tabla 14 se presenta el número de días con buena, regular y mala calidad del aire de acuerdo a este criterio, y en la figura 7 se muestra un comparativo de los porcentajes que representan esos días considerando el total de días con muestras válidas en cada ciudad.

Tabla 14. Días con buena, regular y mala calidad del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Ciudad	Total de días con muestras válidas	Días con buena calidad del aire	Días con regular calidad del aire	Días con mala calidad del aire
Agua Prieta	20	3	11	6
Nogales	49	1	10	38
Puerto Peñasco	38	0	9	29
Hermosillo	50	30	17	3
Guaymas	32	19	12	1
Obregón	34	1	12	21

La gran cantidad de días con mala y regular calidad del aire en estas ciudades puede atribuirse entre otros factores a: Las ciudades de Agua Prieta y Nogales se caracterizan como zonas con actividad industrial tipo maquilador con potenciales emisiones atmosféricas, aunque principalmente la presencia de polvos en el aire se puede deber a las vías sin pavimentar y su tráfico sobre ellas que resuspende las partículas finas.

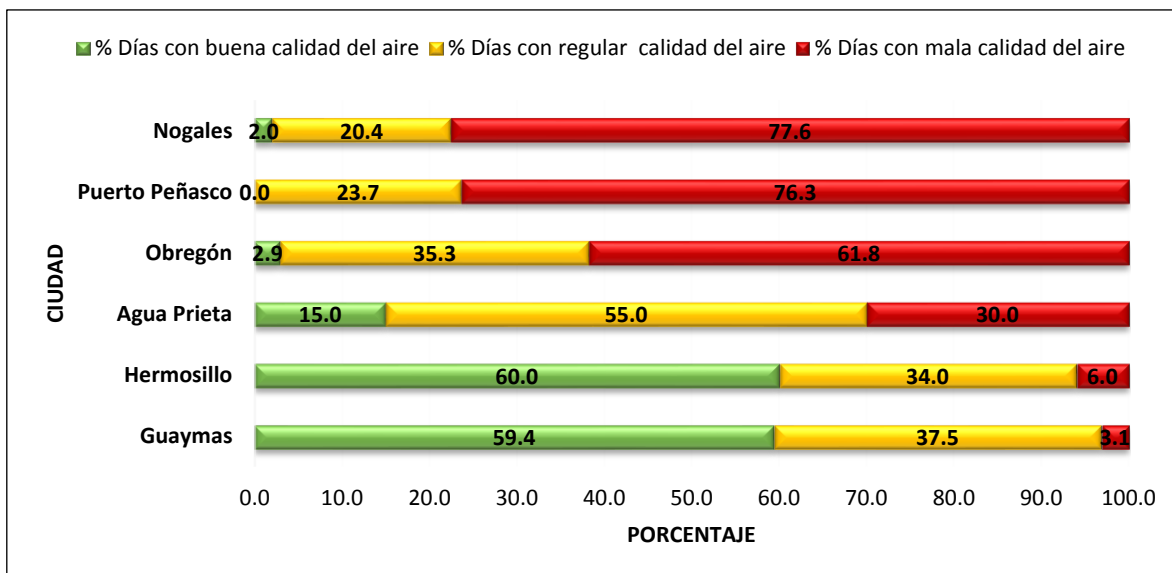


Figura 7. Porcentaje de días con buena, regular y mala calidad del aire respecto de PST en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

La ciudad de Puerto Peñasco se ha caracterizado por presentar eventos adversos a la calidad del aire derivados de vías sin pavimentar, tolvánicas y tormentas de arena. En Hermosillo la presencia de partículas en el aire resulta de dos factores que se conjugan en la ciudad, primero el aporte de partículas derivado del tráfico vehicular en calles sin pavimentar y de los terrenos baldíos, y segundo, un evento de encapsulamiento de las masas de aire sobre la mancha urbana por motivos topográficos.

La presencia de material particulado en el aire ambiente de las ciudades de Guaymas y Obregón puede atribuirse en la primera, a las emisiones de las plantas generadoras de electricidad que emiten visiblemente contaminantes atmosféricos y la segunda, por las tolvánicas que acarrean material terrígeno de los campos agrícolas de la región, así como por el humo generado por quema de gavilla, en ambas ciudades existen además superficies viales sin pavimentar que abonan a la contaminación del aire.

En virtud de los resultados obtenidos, se recomendará que las ciudades evaluadas cuenten con un Programa de Gestión de la Calidad del Aire (PROAIRE) que permita atender bajo estrategias oportunas y a través de acciones pertinentes y

adecuadas a cada lugar y con definición de responsabilidades de las diferentes instancias y sectores, los eventos de peligro a la salud de la población por motivo de la contaminación atmosférica.

Es importante resaltar que los requisitos de cobertura o compleción que establecen algunas normas mexicanas sobre calidad del aire para su aplicación, en particular la NOM-025-SSA1-1995 (2005), resultan irrelevantes respecto de la atención de escenarios de altas concentraciones de contaminantes en el aire que implican peligro a la salud de la población, limitando además la declaración de incumplimientos de la norma.

Por ello en el presente trabajo se recomendará que se revise esta condición que desfavorece el principio de precaución que debe aplicarse a todo aquello que supone resguardar derechos humanos y privilegia la hipótesis de que suceda lo peor, un daño irreversible, aún en un plazo muy largo, dicho principio se liga a los conceptos de la aparición de peligro y seguridad de las generaciones futuras así como al de sustentabilidad ambiental de las actividades humanas y se asume como la actitud que debe observar toda persona que toma una decisión concerniente a una actividad de la que se puede razonablemente esperar un daño grave para la salud o la seguridad de las generaciones actuales o futuras, o para el medio ambiente.

En este trabajo se propone que se elimine de la mencionada norma y de aquellas en las ocurra el mismo efecto, el requisito de cobertura o compleción de muestreos y se adopte un criterio más responsable y oportuno para determinar el incumplimiento de la norma y puedan (se obliguen) detonarse las acciones de protección de la población por los responsables de ello.

6.3 Metales

En las muestras de PST se analizó plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu) y cromo (Cr), realizándose 1,350 determinaciones analíticas entre muestras, duplicados y blancos. En el **anexo 2** se presentan los resultados de las

concentraciones detectadas de dichos metales para cada ciudad según los días con muestras válidas.

Es importante señalar que en ninguna de las ciudades se logró identificar concentración de cadmio por arriba del límite de detección determinado para este estudio de acuerdo la metodología utilizada (absorción atómica por flama) el cual fue de $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y considerando que el máximo permisible de calidad del aire de referencia en este estudio para Cd, el cual fue el de la Unión Europea y que corresponde a $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual, es pertinente concluir que la determinación de este metal con fines de comparación con normas de calidad del aire deberá realizarse con metodologías analíticas cuyo límite de detección se encuentre por debajo de la concentración máxima permitida en aire. Por lo anterior, no fue posible determinar la calidad del aire respecto a este metal en las ciudades estudiadas, aunque es posible asumir que en las seis ciudades muestreadas durante el año 2010, no se presentaron concentraciones por arriba de $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.3.1 Distribución de concentración de plomo en aire ambiente.

En la Figura 8 se muestra una comparación de la distribución de concentración de Pb detectado para cada ciudad a lo largo del año y en la tabla 15 se presenta una comparación de días en los que fue identificado plomo en aire para cada ciudad en estudio (frecuencia), así como el porcentaje que representa de días según el número total de días muestrados.

De acuerdo a estos resultados, la ciudad con mayor frecuencia de días con presencia de concentraciones de Pb en aire es Hermosillo con el 98% de ellos, seguida de Guaymas con el 72%; por otro lado, las ciudades de Guaymas y Obregón son las que presentan mayores concentraciones de este metal en el aire.

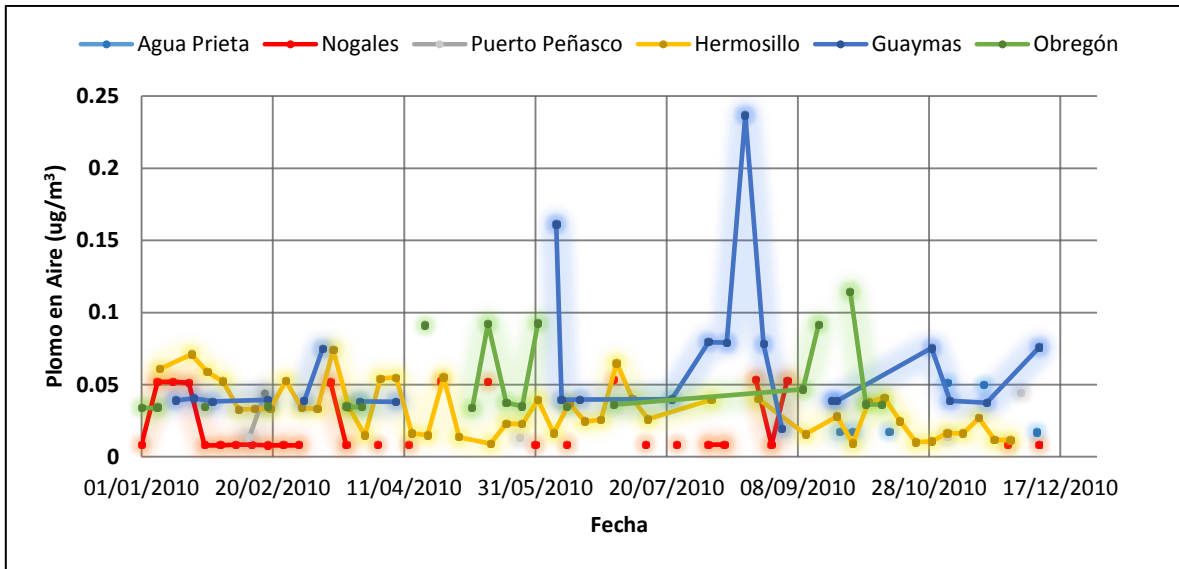


Figura 8. Distribución de concentración de Pb en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Tabla 15. Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Pb en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Días	CIUDAD					
	Agua Prieta	Nogales	Puerto Peñasco	Hermosillo	Guaymas	Obregón
Total de días muestreados	20	49	38	50	32	34
Días con Pb en aire	6	29	5	49	23	19
% de días con Pb en aire	30.0	59.2	13.2	98.0	71.9	55.9

De acuerdo a los antecedentes presentados en este trabajo, concentraciones de 0.1 a 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son normales en el aire de las ciudades, considerándose las concentraciones detectadas en las seis ciudades como típicas de zonas urbanizadas.

De acuerdo al Catálogo de Metadatos Geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2010), Sonora se incluye en el mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en suelos de México, con los siguientes elementos: plata, arsénico, bario, berilio, cadmio, cobalto, cromo, níquel, plomo, selenio, por lo que es posible que estos elementos puedan aparecer en las partículas suspendidas en aire ambiente.

6.3.2 Distribución de concentración de níquel en aire ambiente.

En la figura 9 se presenta la distribución de concentración de níquel detectado para cada ciudad a lo largo del año 2010.

En la tabla 16 se presenta comparación de días en los que fue identificado Ni en aire para cada ciudad en estudio, y el porcentaje que representa de días según el número total de días muestrados.

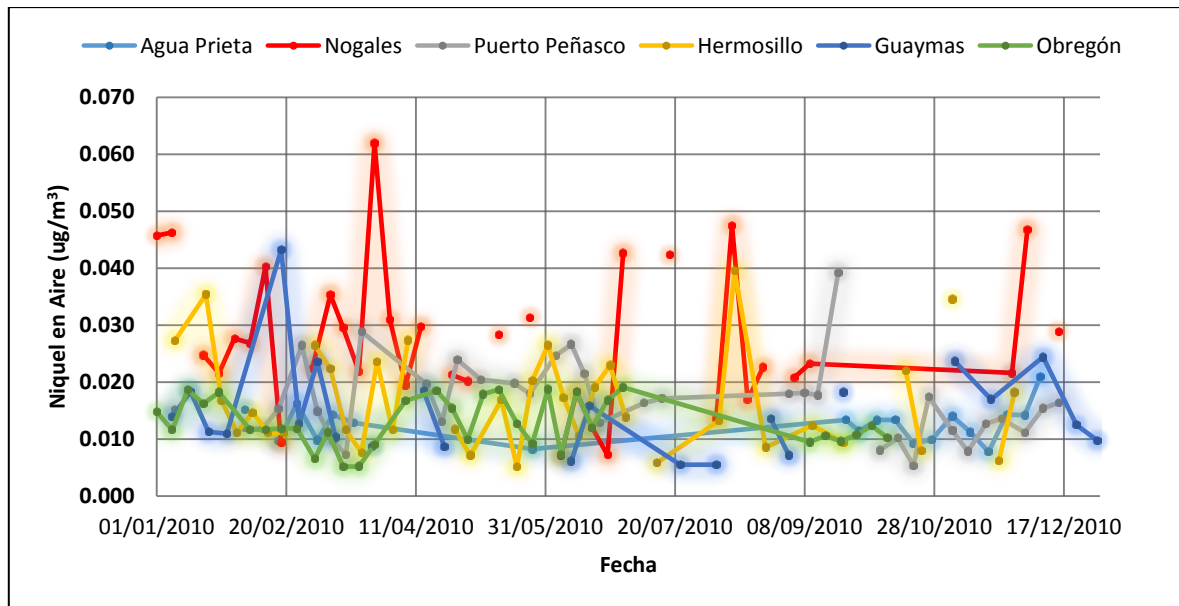


Figura 9. Distribución de concentración de Ni en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Tabla 16. Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Ni en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Días	Ciudad					
	Agua Prieta	Nogales	Puerto Peñasco	Hermosillo	Guaymas	Obregón
Total días muestreados	20	49	38	50	32	34
Días con Ni en aire	19	37	36	40	23	34
% de días con Ni en aire	95.0	75.5	94.7	80.0	71.9	100.0

De acuerdo a los resultados obtenidos, la ciudad con mayor frecuencia de días con presencia de concentraciones de Ni en aire es Obregón con el 100%, seguida de Agua Prieta y Puerto Peñasco con el 95%; los mayores valores se detectaron en Nogales y Guaymas.

Según los antecedentes presentados en este trabajo, concentraciones de 10 a 23 ng/m³ (0.01 a 0.023 µg/m³) se consideran normales en zonas urbanas, sin embargo se detectaron concentraciones superiores en las ciudades de Sonora, particularmente en Nogales. Esta situación puede deberse a que este elemento forma parte de minerales propios de la región y eventualmente estará presente en las partículas en el aire, tal como se comentó con el plomo.

El níquel se asocia también a actividades industriales de aleaciones de acero, fabricación de monedas o fundiciones, sin embargo no se identificaron en el período de estudio este tipo de actividades industriales en las ciudades monitoreadas.

6.3.3 Distribución de concentración de cobre en aire ambiente.

En la figura 10 se presenta la distribución de concentración de Cu detectado para cada ciudad a lo largo del año.

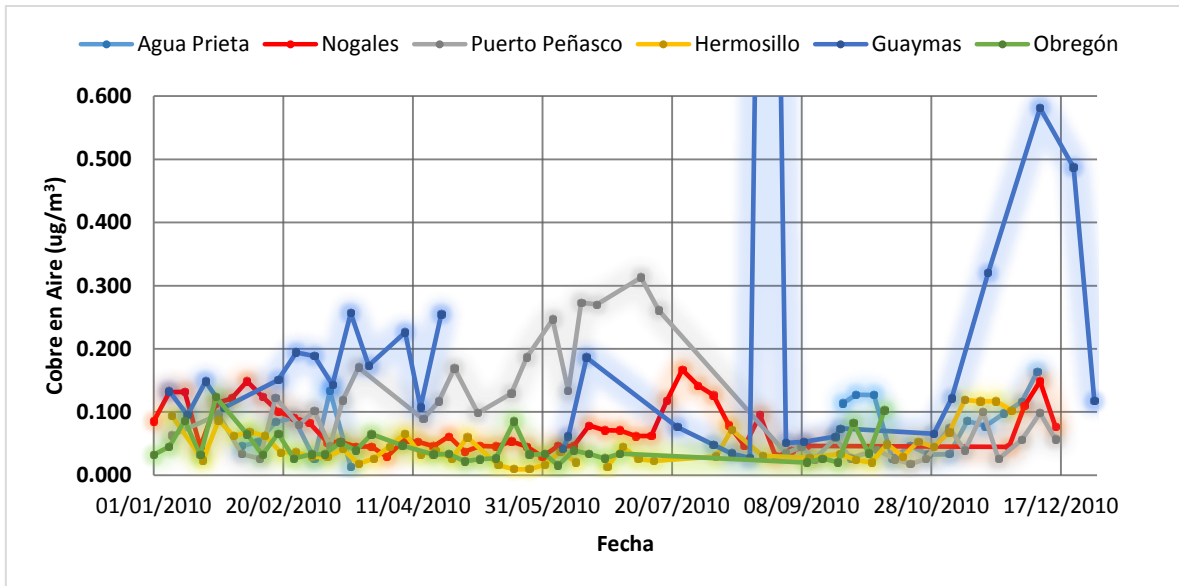


Figura 10. Distribución de concentración de Cu en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010 (máximo valor detectado en Guaymas fue de 2.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la tabla 17 se presenta comparación de días en los que fue identificado Cu en aire para cada ciudad en estudio, así como el porcentaje que representa de días según el número total de días muestrados.

De acuerdo a esos resultados todas las ciudades presentan una frecuencia por encima del 95% de días con presencia de Cu en aire. Por otro lado, las ciudades de Guaymas (donde el máximo valor detectado fue de 2.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puerto Peñasco presentan las mayores concentraciones de este metal en el aire.

Es conocido que Sonora se encuentra en una región con grandes recursos minerales de cobre, distribuyéndose en toda la geografía sonorenses, por lo que es de esperarse que este elemento pueda encontrarse en las partículas que son suspendidas en el aire ambiente de las ciudades en estudio.

Tabla 17. Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Cu en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Días	Ciudad					
	Agua Prieta	Nogales	Puerto Peñasco	Hermosillo	Guaymas	Obregón
Total días muestreados	20	49	38	50	32	34
Días con Cu en aire	19	49	38	49	31	34
% de días con Cu en aire	95.0	100.0	100.0	98.0	96.9	100.0

6.3.4 Distribución de concentración de cromo en aire ambiente.

En la figura 11 se presenta la distribución de concentración de Cr detectado para cada ciudad a lo largo del año y en la tabla 18 se presenta la frecuencia de días en los que fue identificado Cr en aire para cada ciudad en estudio y el porcentaje que representa según el número total de días muestreados.

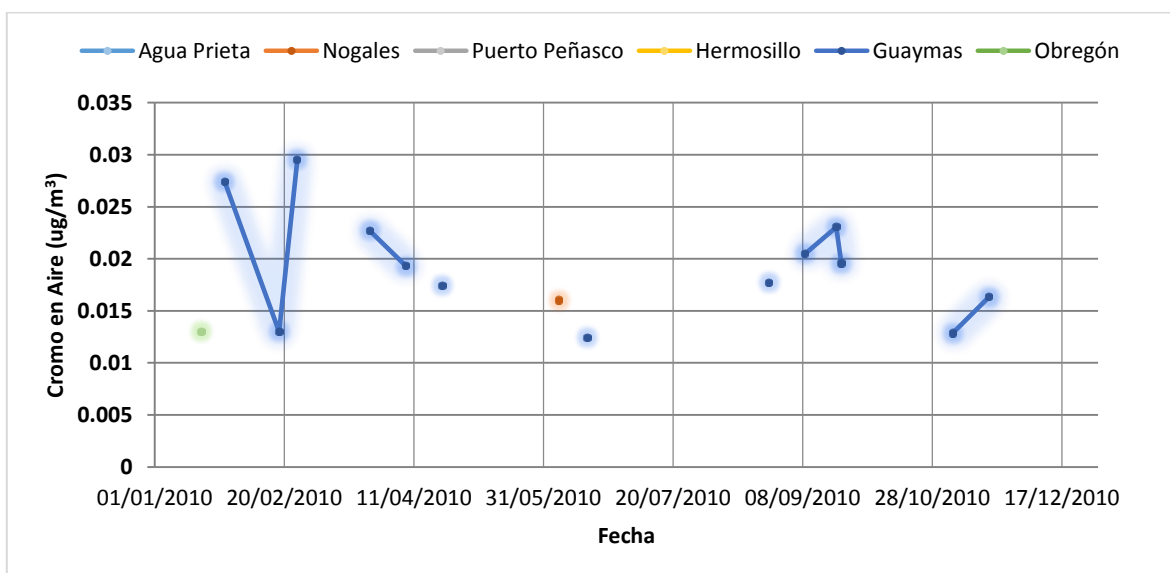


Figura 11. Distribución de concentración de Cr en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Tabla 18. Comparación de frecuencia de días en los que se identificó Cr en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Días	Ciudades					
	Agua Prieta	Nogales	Puerto Peñasco	Hermosillo	Guaymas	Obregón
Total días muestreados	20	49	38	50	32	34
Días con Cr en aire	0	1	0	0	13	1
% de días con Cr en aire	0.0	2.0	0.0	0.0	40.6	2.9

Considerando los resultados obtenidos, la presencia de cromo en el aire en las ciudades estudiadas es escasa, la ciudad con mayor frecuencia de días con presencia de este metal en aire es Guaymas con el 41% de ellos, seguida de Nogales y Obregón con solo un día que representa el 2 y 2.9%.

La ciudad de Guaymas presentó mayores concentraciones de este metal en el aire. Según antecedentes señalados en este trabajo, valores aproximados a $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ son típicos en zonas urbanas, situación coincidente en este estudio. Como se comentó antes, de acuerdo a la (CONABIO, 2010), Sonora se incluye en el mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en suelos de México, con plata, arsénico, bario, berilio, cadmio, cobalto, cromo, níquel, plomo, selenio, por lo que es razonable que estos metales aparezcan en las partículas suspendidas en aire ambiente.

6.3.5 Concentraciones promedio y máxima.

En la tabla 19 se presenta la concentración promedio y máxima del período anual estudiado de Pb, Ni, Cu y Cr en aire ambiente de las seis ciudades, los promedios fueron obtenidos únicamente con los días que se detectaron concentraciones por arriba del límite de detección de cada metal.

Tabla 19. Concentraciones promedio y máxima de metales en aire ambiente detectadas en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010.

Ciudad / Concentración		Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Agua Prieta	C. Promedio	0.028	0.013	0.079	ND (<LD)
	C. Máxima	0.052	0.021	0.164	
Nogales	C. Promedio	0.022	0.028	0.076	0.016
	C. Máxima	0.053	0.062	0.167	0.016
Puerto Peñasco	C. Promedio	0.026	0.017	0.103	ND (<LD)
	C. Máxima	0.044	0.039	0.313	
Hermosillo	C. Promedio	0.033	0.017	0.045	ND (<LD)
	C. Máxima	0.074	0.040	0.119	
Guaymas	C. Promedio	0.062	0.015	0.215	0.019
	C. Máxima	0.237	0.043	2.083	0.030
Obregón	C. Promedio	0.052	0.013	0.044	0.013
	C. Máxima	0.115	0.019	0.124	0.013

C. = Concentración

L.D. = $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$

6.3.6 Comparación con Máximos Permisibles

6.3.6.1 Plomo

En México el máximo permisible establecido en la NOM-026-SSA1-1993 (SSA, 1993b), para plomo en aire ambiente corresponde a un valor de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en un período de tres meses promedio aritmético. Como se muestra en la tabla 19, el valor máximo detectado de este metal en las ciudades del presente estudio fue de $0.237 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual indica que la concentración de plomo en el aire ambiente para el período de estudio no rebasó el valor máximo permisible.

Es importante señalar que este parámetro está normado en otros países, con valores máximos permisibles más estrictos al vigente en México, por ejemplo, los países de la Unión Europea deben cumplir con la normativa de la Comunidad

Europea (EC, 2014) que establece un valor $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor límite promedio anual para la protección de la salud humana y es coincidente con el de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2000a). La Comunidad Europea establece además concentraciones umbrales: superior del 70% del máximo permisible e inferior del 50% del máximo permisible para la implementación de acciones de atención y control oportunas. En Estados Unidos de América (USEPA, 2008) se tiene establecido un máximo permisible de $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio trimestral.

En la tabla 20, se presentan los valores promedio trimestral de Pb en aire ambiente durante el año 2010 para las seis ciudades evaluadas en este estudio, siendo Obregón la que presentó el promedio más alto con $0.084 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que se puede establecer que las concentraciones en las ciudades estudiadas no representaron un riesgo a la salud de la población de acuerdo a los estándares y criterios señalados en este numeral.

6.3.6.2 Níquel.

En México no existen normas respecto de este metal en el aire.

Para fines de establecer la calidad del aire basado en las concentraciones detectadas de este metal, en el presente trabajo se utiliza la normatividad de la Comunidad Europea (EC, 2014), que establece un valor de $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio anual.

De acuerdo a la tabla 19 los promedios obtenidos de concentración de Ni en el periodo anual analizado fueron de $0.013 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Agua Prieta, $0.028 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Nogales, $0.017 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Puerto Peñasco, $0.017 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Hermosillo, $0.015 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Guaymas y $0.013 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Obregón, por lo que la Ciudad de Nogales durante el año 2010 se encontró ligeramente por arriba del criterio de calidad de aire utilizado como referencia en este estudio.

Tabla 20. Valores promedio trimestral de plomo en aire ambiente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010 y comparación con máximos permisibles.

Ciudad	Concentración Promedio Trimestral de Pb en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	Ene - Mar	Abr - Jun	Jul - Sep	Oct - Dic
Agua Prieta	ND	ND	0.017	0.034
Nogales	0.022	0.027	0.021	0.008
Puerto Peñasco	0.029	0.013	ND	0.029
Hermosillo	0.045	0.029	0.033	0.021
Guaymas	0.044	0.070	0.076	0.057
Obregón	0.035	0.057	0.084	0.036
Máximo Permissible: México: $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, EUA: $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$				

6.3.6.3 Cobre.

En México no existe norma sobre calidad del aire para Cobre. En el presente estudio, se utilizó como referencia el Criterio de Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente de Ontario, Canadá (OME, 2012), que fija un valor máximo permisible de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 hrs. De acuerdo a la tabla 19, el valor máximo de concentración de Cu que se registró en las seis ciudades en el periodo anual analizado fue de $2.083 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la ciudad de Guaymas en el mes de agosto, dicha concentración se ubica muy por debajo del criterio utilizado de calidad del aire, por lo que todas las ciudades estuvieron dentro de esta referencia normativa, por lo que se asume que no existió riesgo a la salud de la población por este metal durante el año estudiado.

6.3.6.4 Cromo

En México no existe normatividad sobre este metal. Como criterio de calidad del aire se seleccionó como estándar para este metal el Criterio de Calidad del Aire Ambiente del Ministerio de Ambiente de Ontario, Canadá (OME, 2012) que

establece un valor máximo permisible de Cr en aire de $0.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas.

De acuerdo a la tabla 19, el valor máximo detectado de Cr en las seis ciudades fue de $0.030 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se ubica por debajo del criterio seleccionado, pudiéndose asumir que durante el año 2010 este metal no representó un riesgo a la salud de la población.

Es pertinente señalar que este criterio corresponde a compuestos de cromo metálico en sus formas divalente y trivalente; no fue posible evaluar cromo hexavalente y comparar con sus criterios específicos (0.0007 y $0.00014 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de 24 horas y anual respectivamente) ya que la metodología analítica utilizada no permite tal resolución.

6.4 Estadística exploratoria de relación

Con la finalidad de determinar la posible relación entre las concentraciones detectadas de los contaminantes entre sí, así como con algunos parámetros climatológicos y datos de morbilidad en materia de enfermedades respiratorias, se realizó un análisis estadístico exploratorio, utilizando el coeficiente de correlación como un indicador de relación (Triola, 2013).

6.4.1 Relación entre PST y la concentración de metales utilizando los datos diarios

Utilizando los datos diarios de concentraciones de PST y metales en aire determinados en cada ciudad (**anexo 2**), se realizó un análisis de correlación, obteniéndose los resultados que se presentan en el anexo 3.

Únicamente se identificaron valores superiores a 0.5 de coeficiente para la relación PST y Níquel en las ciudades de Agua Prieta, Puerto Peñasco y Guaymas con valores de 0.64, 0.83 y 0.53 respectivamente y para PST y Cobre en la ciudad de Agua Prieta con un valor de 0.66. La fuerte relación ($r: 0.83$) obtenida entre PST y Ni en Puerto Peñasco se considera de interés para futuras investigaciones del contaminante. En el numeral 6.4.3 se analiza esta relación considerando datos mensuales.

6.4.2 Relación entre PST y metales en aire ambiente con parámetros climatológicos utilizando los datos diarios.

Es pertinente señalar que debido a que no se realizaron mediciones climatológicas en el sitio en donde se instalaron los muestreadores de PST, los datos climatológicos utilizados en el presente estudio fueron tomados de la página <http://espanol.wunderground.com/> considerando la estación meteorológica oficial más cercana a la ubicación de los muestreadores de PST, correspondiendo a las siguientes estaciones: Agua Prieta: Douglas-Besbee (KDUG), Nogales: Nogales AZ (KAZNOGAL1), Puerto Peñasco: Puerto Penasco (ME16E), Hermosillo: Hermosillo (MMHO), Guaymas: Guaymas (MMGM), Obregón: Ciudad Obregon (MMCN), por lo que los resultados de correlación de los contaminantes en estudio con éstos datos climatológicos deben ser tomados con precaución bajo esta consideración. Los datos climatológicos por ciudad se presentan en el **anexo 4**.

De acuerdo a los resultados de correlación que se presentan en el **anexo 5**, únicamente se obtuvieron valores mayores de 0.5 y menores a -0.5 del coeficiente de correlación en las relaciones: Cobre y Humedad en Puerto Peñasco con -0.64, Cobre y Temperatura en Hermosillo con -0.52, En Agua Prieta se encontró relación de PST con Punto de Rocío (-0.51), con Presión Barométrica (0.51), con la velocidad de viento (-0.62), y cobre con velocidad de viento (-0.54). En la ciudad de Guaymas se identificó relación entre PST y Punto de Rocío (-0.55).

De acuerdo a este análisis básico exploratorio los cambios de incremento en la presencia de partículas y de los metales en ellas pueden relacionarse con cambios en el descenso de la humedad, de la temperatura, del punto de rocío y de la velocidad del viento, así como por cambios en el aumento de la presión barométrica, aunque no puede asegurarse esta situación como causa efecto.

6.4.3 Relación entre PST y metales en aire ambiente con salud respiratoria, utilizando datos mensuales

Con la finalidad de determinar la posible relación entre los parámetros contaminantes del aire estudiados en este trabajo y la salud respiratoria (Número

de casos nuevos de enfermedad por Infecciones Respiratorias Agudas (IRAS) y Neumonías-Bronconeumonías), se realizó un ejercicio de estadística exploratoria a través del coeficiente de correlación de Pearson (utilizándose el software STATA v.12) bajo dos escenarios, el primero utilizando los promedios mensuales de concentración de contaminantes y el segundo utilizando los valores máximos mensuales de tales concentraciones.

El anexo 6 muestra la información proporcionada por la Dirección General de Epidemiología del Sistema Nacional de Salud para el año 2010, la cual se presenta de manera mensual.

Se utilizaron para conocer su relación los valores promedio y máximos de concentración de cada mes de PST y metales en las ciudades bajo estudio. El análisis de correlación incluyó la prueba de hipótesis de significancia con alfa de 0.05, mostrándose las matrices de correlación resultantes en el anexo 7, y de las cuales se resume lo siguiente.

En la tabla 21 se presenta una matriz de resultados de correlación entre los valores promedio mensual de concentración de contaminantes en aire (PST y metales) y número de casos de Infecciones Respiratorias Agudas y Neumonías-Bronconeumonías ocurridas en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010, y en la tabla 22 se presenta la matriz de correlación entre los valores máximos mensuales de PST y metales y el número de IRAS y Neumonías-Bronconeumonías.

En ambas tablas (21 y 22) se muestran solo las relaciones con resultado del coeficiente superior a 0.5, ya que a partir de dichos valores se identifica una correlación moderada y a partir de 0.8 se considera fuerte (ya sea positiva o negativa). Tales correlaciones representan interés desde el punto de vista ambiental para su análisis en futuras investigaciones. Se señalan con asterisco aquellas relaciones que resultaron significativas a un $\alpha = 0.05$ en la prueba de hipótesis de linealidad.

Tabla 21. Matriz de resultados de correlación entre concentraciones promedio mensual de contaminantes del aire ambiente (PST y metales) y salud respiratoria expresada como número de casos nuevos (IRAS y Neumonías-Bronconeumonías) en seis ciudades de Sonora durante el año 2010.

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr	IRAS
Pb	HMO 0.74*					
Ni	AP 0.70 PP 0.79* HMO 0.62* OBR 0.66					
Cu	AP 0.83*	GYM 0.67* OBR 0.59	AP 0.72			
Cr						
IRAS	AP 0.52 PP -0.76* GYM 0.53	OBR -0.64	AP 0.57 PP -0.67* GYM 0.53	PP -0.74* HMO 0.78* OBR 0.98*		
Neumonías-BNeumonías	PP -0.69* HMO 0.57	PP 0.53	GYM 0.88*	AP -0.51 HMO 0.61*		AP 0.59* NOG 0.81* PP 0.78* HMO 0.90*

AP: Agua Prieta, NOG: Nogales, PP: Puerto Peñasco, HMO: Hermosillo, GYM: Guaymas, OBR: Obregón

*: Significancia, existe correlación lineal.

Tabla 22. Matriz de resultados de correlación entre concentraciones máximas mensuales de contaminantes del aire ambiente (PST y metales) y salud respiratoria expresada como número de casos nuevos de IRAS y Neumonías-Bronconeumonías en seis ciudades de Sonora durante el año 2010.

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr	IRAS
Pb	HMO 0.57					
Ni	AP 0.84* PP 0.96* OBR 0.54					
Cu	AP 0.53	AP -0.78 GYM 0.81*	AP 0.52 NOG 0.57 HMO 0.63*			
Cr	GYM 0.54	GYM -0.55	GYM 0.62			
IRAS	AP 0.51	OBR -0.74	AP 0.65	PP -0.75 HMO 0.71* OBR 0.81*		
Neumonías-BNeumonías	NOG 0.57 HMO 0.60	PP 0.75	GYM 0.92*	AP -0.61 HMO 0.59	GYM 0.66	AP 0.60* NOG 0.81* PP 0.78* HMO 0.90*

AP: Agua Prieta, NOG: Nogales, PP: Puerto Peñasco, HMO: Hermosillo, GYM: Guaymas, OBR: Obregón

*: Significancia $\alpha=0.05$.

Es relevante señalar que considerando ambas tablas anteriores, en cuatro de las seis ciudades se identificó relación positiva de moderada a fuerte entre PST y Níquel y en tres de ellas resultó significativa dicha correlación. Esta situación podría implicar que cambios en la concentración de un elemento están relacionados con cambios en la concentración del otro, ello puede deberse a que el Ni forma parte del material terrígeno (suelo) de esas ciudades y el cual es removido y suspendido por el tráfico vehicular o los eventos de tolvaneras formando parte de las PST en el aire ambiente.

Esta misma situación ocurre entre PST y Cu en la ciudad de Agua Prieta siendo inclusive la correlación de grado fuerte y de significancia considerando en el análisis los promedios mensuales, de igual manera se identificó relación positiva entre Ni y Cu en tres ciudades, aunque solo en Hermosillo fue significativa y de grado moderado. En cuanto a la relación entre Pb y Cu se identificó que en Obregón y Guaymas es positiva y en la última ciudad es significativa y de grado fuerte.

Se identificó una relación positiva y significativa entre infecciones respiratorias agudas y Cu en las ciudades de Hermosillo y Obregón, siendo en la primera de grado moderado y en la segunda de grado fuerte. Otra relación positiva se da entre PST y el número de casos de Neumonías y Bronconeumonías en Nogales y Hermosillo en grado moderado y no significativo, mientras que en Peñasco se identificó una relación negativa moderada. En Guaymas se identificó una relación positiva significativa de grado fuerte entre Ni y Neumonías y Bronconeumonías.

El coeficiente de correlación r es una herramienta matemática para medir la fuerza de una relación lineal entre dos variables. Como tal, no tiene implicaciones de causa o efecto. El hecho de que dos variables tiendan a aumentar o disminuir juntas no significa que el cambio en una cause un cambio en la otra. En estadística, cuando r indica una correlación lineal significativa entre x y y , se considera que cambios en los valores de y tienden a responder a cambios en los valores de x de acuerdo a un modelo lineal.

7. CONCLUSIONES

7.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)

De acuerdo a los criterios para evaluar la calidad del aire respecto de PST establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005), y con base en los resultados obtenidos para el año 2010 en seis ciudades de Sonora, México, se establece que en los sitios de muestreo en Hermosillo y Nogales se rebasaron la concentración y la frecuencia máximas permisibles incumpliendo con la norma.

Las ciudades de Agua Prieta, Puerto Peñasco, Guaymas y Obregón rebasaron en algún momento del año el valor de concentración máxima y la frecuencia máxima establecida en la norma pero debido a que no se alcanzó el criterio de cobertura de muestreos no fue posible aplicar la norma.

Este trabajo identifica una controversia en la aplicación de las normas de calidad del aire por motivos del requisito de cobertura o compleción de muestreos, y se presenta una propuesta para la determinación del incumplimiento a la norma, consistente en utilizar un criterio de número de días por arriba del valor máximo permisible omitiendo los requisitos de cobertura o compleción de datos, favoreciendo con ello la protección de la salud de la población susceptible y atendiendo el principio de precaución que toda norma ambiental y de protección de la salud debe considerar. Bajo dicha propuesta las seis ciudades en estudio estarían en incumplimiento en el año de estudio.

Según el índice anualizado (IMECA modificado) se estableció que la calidad del aire fue No Satisfactoria para las seis ciudades durante el período de estudio.

En lo referente a la distribución de días con buena, regular y mala calidad del aire, las seis ciudades presentan días con mala calidad del aire y es relevante mencionar que tres de ellas reportan más del 50% de los días muestreados con dicha situación.

7.2 Metales

Plomo. En las seis ciudades se identificó Pb en aire y el porcentaje de días con presencia de este metal va de 13.2 en Puerto Peñasco hasta el 98% en Hermosillo, los valores más altos ocurrieron en Guaymas y Obregón con concentraciones de 0.237 y 0.115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El promedio trimestral más alto se obtuvo en Obregón con 0.084 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que al compararlo con el máximo permisible de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la NOM-026-SSA1-1993 (SSA, 1993) permite establecer que durante el año 2010 se cumplió con esta norma en las seis ciudades, no representando peligro a la población.

Cadmio. No se detectaron valores de Cd por arriba de 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ninguna de las ciudades, no fue posible determinar la calidad del aire debido al límite de detección logrado con la metodología analítica utilizada.

Níquel. Este metal está presente en el aire ambiente de las seis ciudades, el porcentaje de días con presencia va de 71.9 en Guaymas al 100% en Obregón. Las concentraciones más altas se detectaron en Nogales y Guaymas con 0.062 y 0.043 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Considerando que el criterio de 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio anual (CE, 2005; EC, 2014), se establece que únicamente Nogales con 0.028 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual no cumplió con el criterio representando peligro a la población, el resto de las ciudades presentaron un promedio anual que va de 0.013 a 0.017 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cobre. Este metal tiene una presencia permanente en el aire ambiente de Nogales, Puerto Peñasco, y Obregón, mientras que en Agua Prieta, Hermosillo y Guaymas su presencia es superior al 95% de los días. Guaymas presentó la concentración más alta con 2.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Según el máximo permisible de referencia usado en este trabajo (OME, 2012) de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 hrs, se establece que las seis ciudades cumplieron con el criterio, por lo que no representó peligro a la población.

Cromo. No se identificó Cr en el aire ambiente de Agua Prieta, Puerto Peñasco y Hermosillo, mientras que en Nogales y Obregón solamente en un día se identificó

este metal, por otro lado Guaymas presentó presencia del metal en aire en más del 40% de los días muestreados, y la concentración más alta fue de $0.030 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El máximo permisible de referencia utilizado en este estudio es de $0.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas (OME, 2012), estableciéndose que no fue rebasado en ninguna de las seis ciudades, por lo que no representó peligro a la población.

De acuerdo a lo anterior, para el año 2010, se concluye que en las ciudades de Agua Prieta, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Obregón no ocurrió peligro de afectación a la salud de la población por motivos de la presencia en el aire ambiente de plomo, níquel, cobre y cromo. En la ciudad de Nogales no existió peligro a la salud por presencia de plomo, cobre y cromo en aire ambiente, pero si existió peligro a la salud de la población por Níquel.

Debido a las altas concentraciones de PST en las seis ciudades Sonora, los indicadores de calidad del aire utilizados en este estudio permiten concluir que la calidad del aire fue NO SATISFACTORIA durante el año 2010.

7.3 Relación entre contaminantes del aire, parámetros climatológicos y salud respiratoria

Según los resultados exploratorios de correlación entre datos diarios, los cambios en incremento en la presencia de partículas y de los metales en ellas pueden relacionarse con cambios en el descenso de la humedad, de la temperatura, del punto de rocío y de la velocidad del viento, así como por cambios en el aumento de la presión barométrica. Se identificó relación entre PST y Ni usando los datos diarios. En cuanto a datos mensuales, se identificó relación positiva de moderada a fuerte entre PST y Níquel, así como entre PST y Cu y entre Pb y Cu. Se encontró relación de moderada a fuerte entre Infecciones Respiratorias Agudas y Cu, así como moderada entre PST y casos de Neumonías-Bronconeumonías, también relación fuerte entre Ni y Neumonías-Bronconeumonías. No es posible establecer que los cambios en un parámetro son causa de los cambios en otro, debido a que pueden existir parámetros adicionales que también se relacionan con éstos y que no se analizaron. La información es relevante para la toma de decisión para protección de la población, así como por interés para futuras investigaciones.

9. RECOMENDACIONES

1. Que las ciudades evaluadas cuenten con un Programa de Gestión de la Calidad del Aire (PROAIRE) que permita atender bajo estrategias oportunas y a través de acciones pertinentes, los eventos de peligro a la salud de la población por motivo de la contaminación atmosférica.
2. Revisar la irrelevancia del requisito de cobertura o compleción de muestreos y en su caso eliminarlo de las normas de calidad del aire y se adopte un criterio más responsable para determinar el incumplimiento de dichas normas, garantizando el principio de precaución que toda norma de protección de la salud y del medio ambiente debe considerar (en el anexo 8 se presenta evidencia de recomendación a SEMARNAT).
3. Revisar y en su caso modificar el máximo permisible de la norma de calidad del aire relativa a plomo, a fin de ser congruentes con los criterios internacionales actuales de protección de la salud de la población.
4. Gestionar en las ciudades estudiadas, el monitoreo de todos los parámetros contaminantes del aire normados en México de manera permanente e informar a la sociedad de los eventos de peligro que se detecten en dicho monitoreo.
5. Continuar con estudios y diagnósticos de calidad del aire en Sonora, México a fin de suministrar a las autoridades ambientales y de salud información científica que les permita en la toma de decisión, el diseño de las mejores acciones de protección de la población y su entorno, a fin de reducir los índices de mortalidad prematura, ingresos a hospitales, afectación a la producción e impactos socio económico.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR (2004). Cobre. CAS #7740-50-8. ToxFAQs. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.pdf
- Barceloux, D.G. (1999). Journay of Toxicology. Clinical Toxicology. Volume 37. Number 2. Arcel Dekker, Inc
- Cafferatta, N.A. (2004) El principio precautorio. En: Introducción al Derecho Ambiental. Instituto Nacional de Ecología INE-SEMARNAT, Editorial del Deporte Mexicano, México, 161-174.
http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=445
- Canter, L.W., (1997). Air Pollution Ch. 5, In: Environmental Engineers´ Handbook. D.H.F. Liu and B.G. Liptak (Ed.), p. 232-331. Lewis Publishers, Boca Raton, New York.
- CCA (2012). Resolución de Consejo 12-04. Comisión para la Cooperación Ambiental. C/C.01/12/RES/04/Final. 3 pp. 15 de junio de 2012.
http://www.cec.org/Storage/139/16378_05-3-RES_es.pdf
- CE (2005). Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. Comisión Europea. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/txt/pdf/?uri=celex:32004l0107&from=en>
- Clavijo, A. (2002). Fundamentos de la química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico. Primera Edición. p.69. Preparación editorial e impresión Universidad Nacional de Colombia –UNILIBROS.
- Clean Air institute (2012). La calidad del aire en américa latina: Una visión panorámica. Clean Air institute. Washington D.C. 18 pp.
<http://cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/>

- CONABIO (2010). Valores de fondo. Catálogo de metadatos geográficos.
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/valor_fondogw.png
- Cruz-Campas, M.E. (2005) Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el periodo junio de 2001 a mayo de 2002. Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, Hermosillo, 195 p. http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg_tesisIndice.aspx?tesis=4066
- Cruz-Campas, M.E., Gómez-Álvarez, A., Quintero-Núñez, M. and Varela-Salazar, J., (2013) Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante un periodo anual. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 29, 269-283.
<http://www.journals.unam.mx/index.php/rica/article/view/31393>
- DDT (2011). Metales pesados en aire. Diario de Tabasco. Consultado en Mayo de 2013. <http://ddt.mx/metales-pesado-en-el-aire-de-tabasco/>
- Dickson T.R. (1996). Química. Enfoque Ecológico. Limusa, México D.F. 406 pp.
- EEA (2011) Air Quality in Europe—2011 Report. European Environment Agency (EEA) Technical Report No. 12/2011. Technical Report, Copenhagen, 84.
<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2011>
- EC (2014). Environment. Air Quality Standards. European Commission.
<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm#>
- EPA (2012). National Ambient Air Quality Standards.
<http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- Garibay-Chávez M.G. (2009). Aire y Salud. Editorial Pandora, S.A. de C.V. Guadalajara, Jal., México 159 pp.
- Gobierno de Chile (2001). Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana.

- Gobierno de Chile (2002). Estudio Caracterización de elementos inorgánicos presentes en el aire de la región metropolitana 1977-2000. Santiago de Chile.
- Gobierno del Distrito Federal (2006). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 154-165. <http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/NADF-009-AIRE-2006.pdf>
- IMCO (2014). La contaminación del aire: un problema que daña la salud y la economía. Instituto Mexicano para la Competitividad AC. Consultado en Junio de 2014. <http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2013/09/hermosillo.pdf>
- INECC (2014). Instituto Nacional de Ecología. Normas Mexicanas de Calidad del Aire. <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/559-calair-nom-cal-air>
- INEGI (2012). Anuario Estadístico de Sonora 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2012/son/702825045777.pdf
- INE-SEMARNAP (1997) Segundo Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1997 (Second Report on Air Quality in Mexican Cities 1997). Instituto Nacional de Ecología—Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Informe, México, 161. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=113
- Jiménez de Parga, P. (2003) Análisis del principio de precaución en “Derecho Internacional Público”: Perspectiva universal y perspectiva regional europea. *Política y Sociedad*, 40, 7-22. <http://revistas.ucm.es/index.php/POSO/article/view/24557/0>

- Lizardis, M. y Colbeck, Ian. (2010). Human exposure to pollutants via dermal absorption and inhalation. Environmental Pollution Volume 17. Springer New York. Pp. 4-6 308 p.
- Martínez, E.J. (2010). Química II. Con enfoque en competencias. Editorial CENGAGE Learning. pp. 73-74.
- Miller, J.C. y Miller, J.N. (1993). Estadística para química analítica. Editorial Addison-Wiley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, U.S.A. 211 p.
- Molina, L.T y Molina, M.J. (2005). La calidad del aire en la megaciudad de México: Un Enfoque Integral. Primera Edición en Español 2005. Editorial Fondo de Cultura Económica.
- Moody, J. R. y Lindstrom, R.M. (1977). Analytical Chem. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. 2265-2267. 49 (14):
- Mugica-Alvarez, V., Figueroa-Lara, J., Hernández-Moreno, A. (2010). Evaluación y seguimiento del programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco. 357p.
<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/Seguimiento%20y%20evaluaci%C3%B3n%202009/ZMVM/ProAire%20ZMVM%202002-2010.pdf>
- Municipio de Praga (2003). Prague Environment 2002. (Magistrat hl. m. Prahy) 41p.
- OCDE (2012), OECD Environmental Outlook to 2050 The Consequences of Inaction, OECD Publishing. 350 pp.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- OME (2012). Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards. Development Branch, Ontario Ministry of the Environment. PIBS # 6570e01 Regulación

419/05, 15pp.

<http://www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf>

Ramírez-Leal, R., Esparza-Ponce, H. and Duarte-Moller, A. (2007).

Characterization of Inorganic Atmospheric Particles in Air Quality Program with SEM, TEM and XAS. *Revista Mexicana de Física S*, 53, 102-107.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v53s3/v53s3a23.pdf>

SE (2001). NMX-AA-115-SCFI-2001. Análisis de Agua-Criterios Generales para el Control de la Calidad de Resultados Analíticos. Secretaría de Economía.

17/04/2001. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-115-scfi-2001.pdf>

SEMARNAP (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación.

<http://200.77.231.100/work/normas/noms/1993/035ecol.pdf>

SEMARNAP (1996). Concentración de partículas en aire ambiente para la ciudad de Hermosillo, Sonora, México durante el período 1990-1995. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca – Delegación Federal en el Estado de Sonora. Reporte, Hermosillo, Son. México 27 pp.

SEMARNAT (2000). Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Reporte 2000.

SEMARNAT (2003). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Compendio de Estadísticas Ambientales. México, D.F. 272 pp.

SEMARNAT (2007). Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT (2011). Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. pp. 362-363, 410 p.

http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=6
52

SEMARNAT-INECC (2012) Diagnóstico de la medición de la calidad del aire en México. 60 años monitoreando la calidad del aire. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. pp. 194-195, pp 239, 255p.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/693.pdf>

SFC (2000). Ordinance on air pollution control 814.318.142.1; Swiss Federal Council. 106 p.

SMA GDF (2012). Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe 2011.

Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 164 p.
www.sedema.df.gob.mx/flippingbook/informe_anual_calidad_aire_2011/

SSA (1994a). Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas totales (PST). Valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México. 23 de diciembre de 1994.

SSA (1994b). Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Secretaría de Salud. 23 de diciembre de 1994.

SSA (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de

partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México. 26 de septiembre de 2005.

Totonacapan (2012). Respira Coatzacoahuila aire de mala calidad. El Totonacapan.

Consultado en Octubre de 2013.

<http://www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatzacoahuila-aire-de-mala-calidad.html>

Trejo-Vázquez, R. (2006) El IMECA: Indicador del grado de contaminación de la atmósfera (The IMECA: Indicator of Air Pollution). Conciencia Tecnológica, Ene-Jun, No. 031, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México, 50-53.

<http://www.redalyc.org/pdf/944/94403111.pdf>

Triola, M.F. (2013). Estadística. Actualización Tecnológica. Décimo Primera Edición. Pearson. México. pp 516-535, 888 p.

UN (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. United Nations, Río de Janeiro.

<http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>

Urbinate, D. (1994), London's Historic "Pea-Soupers" Chronicle en EPA Journal Vol 20 Num. 1-2 Summer 1994, EPA-175-N-94-002. United States Environmental Protection Agency. p44

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/400008FH.PDF?Dockey=400008FH.PDF>

USEPA (1992a) 40 CFR Ch. I Pt. 50, App. B—Reference Method for the

Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Method). United States Environmental Protection Agency, Code of Federal Regulations, Washington DC. <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=fd96dfef9bfdb0dd2e4075d3f5212752&node=40:2.0.1.1.0.1.19.3&rgn=div9>

- USEPA (1992b). 40 CFR Ch. I Pt. 50, App. G—Reference method for the determination of lead in suspended particulate matter collected from ambient air. United States Environmental Protection Agency - Code of Federal Regulations. Código de Regulaciones, Washington, DC. 70 pp.
- USEPA (1992c) 40 CFR Ch. I Pt. 58, App. G—Uniform Air Quality Index (AQI) and Daily Reporting. United States Environmental Protection Agency, Code of Federal Regulations, Washington DC. <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=fd96dfef9bfdb0dd2e4075d3f5212752&node=40:6.0.1.1.6.7.1.3.40&rgn=div9>
- USEPA (1998). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Part 1. Environmental Protection Agency. EPA-454/R-98-004. August 1998.
- USEPA (1999) Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air EPA/625/R-96/010a. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati Ohio, 21. <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/iocompen.pdf>
- USEPA (2008). National Ambient Air Quality Standards for Lead. Federal Register / Vol. 73, No. 219 / Wednesday, November 12, 2008 / Rules and Regulations. United States - Environmental Protection Agency. pp. 66964-67062
- WHO (1984). Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. World Health Organization. Vienna Austria. 94 pp.
- WHO (2000a). Air Quality Guidelines. Second Edition. World Health Organization Regional Office for Europe. Guías, Copenhagen, Dinamarca 273 p.
- WHO (2000b). Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. World Health Organization. Report EUR/01/5026342 E74256

WHO (2003). EUR/03/5042688 Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organization. Reporte, Bonn, Alemania 94 p.

WHO (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. World Health Organization. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. Ginebra, 25 p.
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

WHO (2011), Organización Mundial de la Salud. Calidad del Aire y salud. Nota Descriptiva No 313, Septiembre de 2011. 6 pp.
who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 1
Control de Calidad

Anexo 1.1. Indicadores de Control de Calidad

Porcentaje de recuperación de metales y precisión en el análisis químico.

Estándar: 0.5 ppm

Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
Cu	0.487 ± 0.01581	97.5
Cd	0.492 ± 0.01581	98.5
Ni	0.483 ± 0.0141	96.75
Cr	0.46 ± 0.01549	92
Pb	0.477 ± 0.0271	95.5

Estándar: 1ppm

Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
Cu	0.99 ± 0.01	99.0
Cd	1.00 ± 0.00	99.8
Ni	0.96 ± 0.03	96.1
Cr	0.97 ± 0.07	96.7
Pb	0.98 ± 0.3	97.5

Estándar: 2ppm

Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
Cu	1.99 ± 0.011	100
Cd	1.98 ± 0.023	99
Ni	1.96 ± 0.036	98
Cr	1.91 ± 0.100	96
Pb	1.97 ± 0.059	98.5

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 2

Concentración de PST y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010

Anexo 2.1. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Agua Prieta, Sonora durante el año 2010.

AGUA PRIETA

Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
248	04/02/2010	120.98	ND	0.015	0.046	ND
249	10/02/2010	28.27	ND	ND	0.052	ND
250	17/02/2010	241.58	ND	0.010	0.084	ND
251	24/02/2010	215.58	ND	0.016	0.091	ND
252	04/03/2010	103.75	ND	0.010	0.026	ND
253	10/03/2010	208.24	ND	0.014	0.134	ND
254	18/03/2010	84.40	ND	0.013	0.014	ND
332	26/05/2010	182.76	ND	0.008	ND	ND
352	24/09/2010	121.21	0.017	0.013	0.114	ND
331	29/09/2010	241.73	0.017	0.011	0.128	ND
328	06/10/2010	164.50	ND	0.013	0.127	ND
327	13/10/2010	136.86	0.017	0.013	0.027	ND
353	20/10/2010	142.18	ND	0.009	0.046	ND
351	27/10/2010	156.82	ND	0.010	0.033	ND
330	04/11/2010	173.98	0.052	0.014	0.033	ND
354	11/11/2010	177.50	ND	0.011	0.086	ND
329	18/11/2010	159.45	0.050	0.008	0.078	ND
356	25/11/2010	257.26	ND	0.014	0.098	ND
355	02/12/2010	316.71	ND	0.014	0.116	ND
403	08/12/2010	410.44	0.017	0.021	0.164	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Anexo 2.2. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Nogales, Sonora durante el año 2010.

NOGALES

Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
55	01/01/2010	616.85	0.008	0.046	0.085	ND
56	07/01/2010	747.55	0.052	0.046	0.132	ND
57	13/01/2010	720.03	0.052	ND	0.132	ND
58	19/01/2010	173.04	0.051	0.025	0.045	ND
59	25/01/2010	439.18	0.008	0.022	0.114	ND
60	31/01/2010	422.44	0.008	0.028	0.122	ND
143	06/02/2010	409.03	0.008	0.027	0.149	ND
144	12/02/2010	338.71	0.008	0.040	0.125	ND
145	18/02/2010	611.63	0.008	0.009	0.101	ND
146	24/02/2010	312.66	0.008	ND	0.091	ND
147	02/03/2010	460.86	0.008	0.022	0.083	ND
61	09/03/2010	242.90	ND	0.035	0.052	ND
62	14/03/2010	274.56	0.052	0.030	0.053	ND
63	20/03/2010	245.26	0.008	0.022	0.045	ND
64	26/03/2010	253.50	ND	0.062	0.045	ND
65	01/04/2010	137.50	0.008	0.031	0.029	ND
66	07/04/2010	205.16	ND	0.019	0.053	ND
67	13/04/2010	221.27	0.008	0.030	0.053	ND
68	19/04/2010	209.69	ND	ND	0.046	ND
69	25/04/2010	283.55	0.052	0.021	0.062	ND
70	01/05/2010	172.27	ND	0.020	0.037	ND
71	07/05/2010	249.24	ND	ND	0.046	ND
74	13/05/2010	274.45	0.052	0.028	0.046	ND
75	19/05/2010	230.96	ND	ND	0.054	ND
76	25/05/2010	195.12	ND	0.031	0.045	ND
94	31/05/2010	163.21	0.008	ND	0.030	ND
95	06/06/2010	231.80	ND	0.007	0.046	0.016
96	12/06/2010	229.95	0.008	0.018	0.046	ND
97	18/06/2010	420.97	ND	0.012	0.079	ND
98	24/06/2010	243.47	ND	0.007	0.071	ND
99	30/06/2010	284.75	0.053	0.043	0.071	ND
100	06/07/2010	217.53	ND	ND	0.062	ND
92	12/07/2010	173.82	0.009	ND	0.062	ND
93	18/07/2010	209.89	ND	0.042	0.118	ND
211	24/07/2010	333.94	0.009	ND	0.167	ND
212	30/07/2010	66.53	ND	ND	0.142	ND
213	05/08/2010	539.79	0.009	0.014	0.127	ND
214	11/08/2010	185.32	0.009	0.048	0.079	ND
215	17/08/2010	235.57	ND	0.017	0.047	ND
216	23/08/2010	663.01	0.053	0.023	0.095	ND
217	29/08/2010	292.53	0.008	ND	0.030	ND
218	04/09/2010	595.14	0.053	0.021	0.038	ND
219	10/09/2010	793.50	ND	0.023	0.047	ND
88	27/11/2010	251.65	0.008	0.022	0.045	ND

Cont. Anexo 2.2 Concentración de PST y metales en aire ambiente en Nogales, Sonora durante el año 2010.

89	03/12/2010	1047.28	ND	0.047	0.109	ND
90	09/12/2010	977.67	0.008	ND	0.149	ND
91	15/12/2010	474.64	ND	0.029	0.077	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Anexo 2.3. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Puerto Peñasco, Sonora durante el año 2010.

PUERTO PEÑASCO

Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
274	08/01/2010	168.41	ND	0.015	0.063	ND
277	26/01/2010	109.86	ND	ND	0.096	ND
278	04/02/2010	171.14	ND	0.012	0.033	ND
279	11/02/2010	113.77	0.014	0.012	0.027	ND
280	17/02/2010	343.43	0.044	0.015	0.123	ND
301	26/02/2010	657.22	ND	0.027	0.080	ND
302	04/03/2010	263.63	ND	0.015	0.102	ND
303	10/03/2010	207.66	ND	0.010	0.046	ND
304	15/03/2010	138.57	ND	0.007	0.119	ND
305	21/03/2010	649.21	ND	0.029	0.171	ND
306	15/04/2010	348.11	ND	0.020	0.089	ND
307	21/04/2010	320.92	ND	0.013	0.117	ND
308	27/04/2010	618.3	ND	0.024	0.170	ND
309	06/05/2010	340.76	ND	0.020	0.099	ND
310	19/05/2010	403.44	ND	0.020	0.130	ND
311	25/05/2010	353.36	0.013	0.018	0.187	ND
312	04/06/2010	291.88	ND	0.025	0.247	ND
313	10/06/2010	629.25	ND	0.027	0.133	ND
314	15/06/2010	388.32	ND	0.022	0.273	ND
321	21/06/2010	272.31	ND	0.013	0.270	ND
322	08/07/2010	442.15	ND	0.016	0.313	ND
323	15/07/2010	312.18	ND	0.017	0.261	ND
324	02/09/2010	260.7	ND	0.018	0.035	ND
325	08/09/2010	626.6	ND	0.018	0.045	ND
326	13/09/2010	358.62	ND	0.018	0.025	ND
1	21/09/2010	1239.13	ND	0.039	0.059	ND
2	27/09/2010	195.48	ND	ND	0.027	ND
3	07/10/2010	290.51	ND	0.008	0.041	ND
4	14/10/2010	257.87	ND	0.010	0.025	ND
5	20/10/2010	126.44	ND	0.005	0.018	ND
6	26/10/2010	343.64	ND	0.017	0.026	ND
7	04/11/2010	335.54	0.014	0.012	0.075	ND
8	10/11/2010	286.57	ND	0.008	0.039	ND
9	17/11/2010	187.08	ND	0.013	0.100	ND
10	23/11/2010	216.25	ND	0.014	0.026	ND
11	02/12/2010	254.59	0.044	0.011	0.056	ND
12	09/12/2010	346.44	ND	0.015	0.099	ND
415	15/12/2010	257.92	ND	0.016	0.057	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Anexo 2.4. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Hermosillo,
Sonora durante el año 2010.

HERMOSILLO

Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
180	08/01/2010	305.38	0.061	0.027	0.094	ND
1690	20/01/2010	87.17	0.071	0.035	0.024	ND
1697	26/01/2010	126.66	0.059	0.017	0.087	ND
1705	01/02/2010	78.60	0.052	0.011	0.062	ND
1708	07/02/2010	83.98	0.033	0.015	0.069	ND
1716	13/02/2010	116.11	0.033	0.011	0.062	ND
1725	19/02/2010	82.40	0.033	0.011	0.036	ND
1729	25/02/2010	124.81	0.053	ND	0.037	ND
1739	03/03/2010	105.82	0.034	0.027	0.029	ND
1749	09/03/2010	84.44	0.033	0.022	0.029	ND
1753	15/03/2010	109.98	0.074	0.012	0.042	ND
1760	21/03/2010	84.69	0.034	0.008	0.018	ND
1764	27/03/2010	127.21	0.015	0.024	0.027	ND
1774	02/04/2010	71.30	0.054	0.012	0.045	ND
1783	08/04/2010	138.73	0.055	0.027	0.066	ND
1784	14/04/2010	99.43	0.016	ND	0.033	ND
1785	20/04/2010	92.93	0.015	ND	0.039	ND
1803	26/04/2010	115.79	0.055	0.012	0.027	ND
1807	02/05/2010	91.35	0.014	0.007	0.060	ND
1812	14/05/2010	74.10	0.009	0.017	0.016	ND
1808	20/05/2010	67.94	0.023	0.005	0.010	ND
1818	26/05/2010	82.48	0.023	0.020	0.010	ND
1825	01/06/2010	128.64	0.039	0.027	0.017	ND
1829	07/06/2010	125.86	0.016	0.017	0.038	ND
1833	13/06/2010	79.14	0.037	0.011	0.020	ND
1834	19/06/2010	76.58	0.024	0.019	ND	ND
1839	25/06/2010	125.01	0.026	0.023	0.014	ND
1842	01/07/2010	154.82	0.065	0.014	0.045	ND
1846	07/07/2010	141.91	0.040	ND	0.026	ND
1854	13/07/2010	68.75	0.026	0.006	0.023	ND
1850	06/08/2010	101.62	0.040	0.013	0.030	ND
1860	12/08/2010	92.22	ND	0.040	0.072	ND
1864	24/08/2010	56.42	0.040	0.009	0.031	ND
1900	11/09/2010	117.39	0.016	0.012	0.028	ND
1911	23/09/2010	51.91	0.028	0.009	0.034	ND
1913	29/09/2010	59.92	0.010	ND	0.024	ND
1919	05/10/2010	69.93	0.038	ND	0.020	ND
1923	11/10/2010	132.28	0.041	ND	0.049	ND
1927	17/10/2010	59.68	0.025	0.022	0.030	ND
1930	23/10/2010	80.65	0.010	0.008	0.053	ND
1935	29/10/2010	116.55	0.011	ND	0.045	ND

Cont. Anexo 2.4. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Hermosillo, Sonora durante el año 2010.

1939	04/11/2010	112.03	0.016	0.035	0.068	ND
1973	10/11/2010	139.12	0.016	ND	0.119	ND
1989	16/11/2010	108.64	0.027	ND	0.117	ND
1992	22/11/2010	101.58	0.012	0.006	0.117	ND
1994	28/11/2010	108.84	0.012	0.018	0.103	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Anexo 2.5. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Guaymas, Sonora durante el año 2010.

GUAYMAS						
Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
227	07/01/2010	119.79	ND	0.014	0.133	ND
228	14/01/2010	148.6	0.039	0.018	0.095	ND
229	21/01/2010	158.92	0.041	0.011	0.148	ND
230	28/01/2010	84.12	0.038	0.011	0.107	0.027
291	18/02/2010	131.55	0.039	0.043	0.151	0.013
292	25/02/2010	79.97	ND	0.013	0.195	0.030
293	04/03/2010	123.14	0.039	0.024	0.189	ND
294	11/03/2010	163.16	0.075	0.010	0.143	ND
295	18/03/2010	67.56	ND	ND	0.257	ND
296	25/03/2010	113.49	0.038	0.009	0.174	0.023
297	08/04/2010	98.75	0.038	ND	0.226	0.019
298	14/04/2010	5.71	ND	0.019	0.108	ND
299	22/04/2010	76.6	ND	0.009	0.255	0.017
300	29/04/2010	87.91	ND	ND	ND	ND
63	08/06/2010	53.78	0.161	ND	0.042	ND
60	10/06/2010	62.49	0.040	0.006	0.062	ND
61	17/06/2010	100.17	0.040	0.016	0.187	0.012
64	22/07/2010	72.36	0.040	0.006	0.076	ND
343	05/08/2010	119.89	0.080	0.006	0.048	ND
344	12/08/2010	71.17	0.079	ND	0.034	ND
345	19/08/2010	68.13	0.237	ND	0.027	ND
346	26/08/2010	102.11	0.078	0.014	2.083	0.018
347	02/09/2010	62.57	0.020	0.007	0.051	ND
348	09/09/2010	51.27	ND	ND	0.053	0.021
349	21/09/2010	32.2	0.039	ND	0.061	0.023
350	23/09/2010	107.48	0.039	0.018	0.074	0.020
383	29/10/2010	68.34	0.075	ND	0.066	ND
384	05/11/2010	128.65	0.039	0.024	0.122	0.013
385	19/11/2010	132.92	0.038	0.017	0.320	0.016
386	09/12/2010	244.56	0.076	0.024	0.582	ND
387	22/12/2010	109.77	ND	0.013	0.487	ND
388	30/12/2010	103.43	ND	0.010	0.118	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Anexo 2.6. Concentración de PST y metales en aire ambiente en Obregón,
Sonora durante el año 2010.

CD, OBREGON

Filtro	Fecha	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
262	01/01/2010	187.80	0.034	0.015	0.032	ND
270	07/01/2010	191.83	0.034	0.012	0.045	ND
246	13/01/2010	299.48	ND	0.019	0.087	ND
247	19/01/2010	220.50	ND	0.016	0.033	0.013
241	25/01/2010	239.27	0.035	0.018	0.124	ND
257	06/02/2010	257.58	ND	0.012	0.065	ND
258	12/02/2010	116.61	ND	0.012	0.033	ND
260	18/02/2010	224.01	0.035	0.012	0.066	ND
259	24/02/2010	180.51	ND	0.012	0.026	ND
243	03/03/2010	148.36	ND	0.007	0.033	ND
282	08/03/2010	161.73	ND	0.011	0.033	ND
287	14/03/2010	195.11	ND	0.005	0.052	ND
288	20/03/2010	350.23	0.035	0.005	0.040	ND
281	26/03/2010	272.46	0.035	0.009	0.065	ND
283	07/04/2010	361.62	ND	0.017	0.047	ND
290	19/04/2010	293.06	0.091	0.019	0.033	ND
285	25/04/2010	289.57	ND	0.015	0.034	ND
286	01/05/2010	276.45	ND	0.010	0.022	ND
289	07/05/2010	266.16	0.034	0.018	0.026	ND
284	13/05/2010	295.45	0.092	0.019	0.027	ND
315	20/05/2010	297.93	0.038	0.013	0.085	ND
317	26/05/2010	274.47	0.035	0.009	0.033	ND
316	01/06/2010	240.09	0.093	0.019	0.034	ND
318	06/06/2010	215.21	ND	0.007	0.016	ND
319	12/06/2010	303.26	0.035	0.018	0.039	ND
320	18/06/2010	277.86	ND	0.012	0.034	ND
333	24/06/2010	296.39	ND	0.017	0.027	ND
334	30/06/2010	254.19	0.036	0.019	0.034	ND
358	10/09/2010	124.79	0.047	0.010	0.020	ND
357	16/09/2010	174.41	0.092	0.011	0.027	ND
359	22/09/2010	54.49	ND	0.010	0.021	ND
360	28/09/2010	173.58	0.115	0.011	0.083	ND
361	04/10/2010	155.66	0.037	0.012	0.034	ND
362	10/10/2010	202.65	0.036	0.010	0.103	ND
LD=			0.005	0.005	0.010	0.010

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 3

Análisis de correlación entre PST y metales en aire ambiente en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010

Matriz de correlación de Pearson entre PST y metales en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010

AGUA PRIETA

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	0.058				
Cd					
Ni	0.644	0.069			
Cu	0.665	0.021	0.467		
Cr					

NOGALES

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	0.201				
Cd					
Ni	0.128	0.164			
Cu	0.477	0.032	-0.004		
Cr	-0.087	-0.104	-0.121	-0.117	

PUERTO PEÑASCO

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	-0.090				
Cd					
Ni	0.831	-0.102			
Cu	0.158	-0.048	0.308		
Cr					

Cont. Matriz de correlación de Pearson entre PST y metales en seis ciudades de Sonora, México durante el año 2010

HERMOSILLO

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	0.313				
Cd					
Ni	0.193	0.112			
Cu	0.390	-0.054	-0.034		
Cr					

GUAYMAS

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	0.043				
Cd					
Ni	0.531	-0.197			
Cu	0.211	0.041	0.181		
Cr	-0.128	-0.217	0.093	0.179	

OBREGÓN

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
PST					
Pb	0.036				
Cd					
Ni	0.398	0.232			
Cu	0.165	0.117	0.088		
Cr	-0.028	-0.153	0.139	-0.082	

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 4

Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

AGUA PRIETA	Temperatura			Humedad				presión a nivel del mar pB	Viento Km/h	
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media	máxima		mínima	velocidad	velocidad máxima
04/02/2010	9	15	4	5	74	100	47	1012	7	21
10/02/2010	8	13	3	1	69	92	46	1011	16	40
17/02/2010	11	21	0	-1	52	82	22	1014	7	21
24/02/2010	7	18	-5	-8	50	88	12	1020	5	19
04/03/2010	13	22	4	-3	36	57	15	1010	15	45
10/03/2010	6	14	-3	-6	48	75	21	1009	14	42
18/03/2010	14	26	2	-8	27	44	9	1010	17	48
26/05/2010	21	34	8	-8	17	27	7	1009	12	23
24/09/2010	24	33	14	14	65	100	29	1014	9	23
29/09/2010	22	34	10	4	42	71	13	1009	5	16
06/10/2010	22	30	13	10	50	80	20	1016	13	40
13/10/2010	21	31	10	3	33	48	17	1018	19	32
20/10/2010	16	23	9		56	80	31	1013	14	37
27/10/2010	17	26	8	6	54	77	31	1015	8	16
04/11/2010	17	24	9	-2	29	42	16	1020	17	35
11/11/2010	11	20	1	-2	49	75	22	1015	13	34
18/11/2010	11	23	-2	-7	33	53	13	1020	8	21
25/11/2010	5	13	-3	-7	46	63	28	1016	13	34
02/12/2010	8	22	-5	-18	18	30	6	1021	1	11
08/12/2010	9	22	-4	-11	30	50	10	1022	5	19

Cont. Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

NOGALES	Temperatura			Humedad			Presión a nivel del mar	Viento		
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media		máxima	mínima	velocidad	velocidad máxima
01/01/2010	10	20	0	-11	26	48	11	1020	11	21
07/01/2010	10	20	1	-10	28	46	12	1015	2	14
13/01/2010	11	19	4	-8	30	49	13	1016	5	19
19/01/2010	13	17	9	-1	43	66	26	1008	19	26
25/01/2010	7	17	-2	-3	60	85	20	1015	3	11
31/01/2010	10	17	3	2	65	89	35	1011	3	19
06/02/2010	11	19	3	-1	53	86	16	1013	6	24
12/02/2010	9	18	1	0	63	92	25	1018	3	16
18/02/2010	11	20	3	-4	40	67	15	1012	3	24
24/02/2010	9	19	-1	-9	35	69	8	1019	5	19
02/03/2010	12	20	4	0	53	82	20	1014	3	16
09/03/2010	9	16	1	1	67	92	34	1011	8	37
14/03/2010	12	18	6	-3	44	70	13	1012	6	24
20/03/2010	12	20	4	-8	31	70	9	1018	8	23
26/03/2010	13	21	5	-9	23	40	9	1012	8	26
01/04/2010	10	14	6	1	58	83	19	1010	23	35
07/04/2010	12	22	2	-11	21	40	9	1014	8	21
13/04/2010	14	24	6	-4	30	53	12	1009	11	34
19/04/2010	19	24	14	3	39	64	21	1011	10	24
25/04/2010	19	24	14	3	39	64	21	1011	10	24
01/05/2010	9	18	1	-8	29	52	15	1008	8	26
07/05/2010	21	31	11	-6	17	35	8	1011	6	26
13/05/2010	17	27	6	-9	19	41	5	1010	5	27
19/05/2010	19	29	10	-1	27	50	13	1010	6	19
25/05/2010	17	28	6	-9	16	31	8	1010	8	23
31/05/2010	23	33	13	-1	21	35	13	1011	10	26
06/06/2010	28	38	17	-1	17	34	9	1010	5	19
12/06/2010	22	27	15	2	29	54	17	1008	26	40
18/06/2010	25	36	14	-9	11	23	4	1010	8	29
24/06/2010	31	39	23	-1	15	31	8	1009	8	26
30/06/2010	30	37	23	7	24	40	14	1009	11	39
06/07/2010	27	36	18	6	28	48	13	1007	6	14
12/07/2010	27	34	19	16	57	93	26	1011	11	37
18/07/2010	27	34	19	17	56	90	33	1013	5	13
24/07/2010	26	33	19	15	52	84	27	1009	5	23
30/07/2010	24	31	18	18	82	100	40	1016	3	23
05/08/2010	28	37	19	15	53	76	22	1011	8	40
11/08/2010	27	36	19	16	52	84	27	1010	3	11
17/08/2010	27	33	21	17	59	90	36	1012	3	23
23/08/2010	28	35	21	17	58	84	31	1011	5	26
29/08/2010	23	29	17	17	76	93	48	1010	11	39
04/09/2010	26	34	18	12	44	73	20	1011	6	19
10/09/2010	21	29	14	8	46	81	23	1012	5	19
27/11/2010	9	21	-2	-12	23	35	9	1013	8	23
03/12/2010	14	25	3	-14	16	25	7	1017	5	11
09/12/2010	13	25	2	-12	21	37	7	1017	3	11
15/12/2010	13	22	4	-4	34	60	17	1011	6	26

Cont. Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

P. PEÑASCO	Temperatura			Humedad				Presión a nivel del mar	Viento	
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media	máxima		mínima	velocidad	velocidad máxima
08/01/2010	14	20	7	12	74	84	66	1019.33	11	54
26/01/2010	12	16	8	11	82	87	79	1015	3	7
04/02/2010	14	19	10	15	86	90	82	1014.5	10	18
11/02/2010	12	18	7	11	74	86	68	1020.75	6	11
17/02/2010		18	11	12	56	56	56	1017	4	7
26/02/2010	15	20	10	14	71	79	62	1019.5	7	18
04/03/2010	13	19	8	11	64	70	57	1015.5	4	7
10/03/2010	13	19	8	11	64	70	57	1015	4	7
15/03/2010	18	26	9	11	50	68	40	1021.4	8	18
21/03/2010	18	25	12	11	45	52	41	1020	10	25
15/04/2010										
21/04/2010		21	21	9	37	37	37	1009	27	54
27/04/2010	20	25	16	13	48	62	35	1011.5	8	14
06/05/2010	21	27	15	12	39	58	29	1010.17	7	11
19/05/2010	22	29	16	15	43	56	35	1012.4	6	11
25/05/2010	20	28	13	15	48	54	46	1012.83	4	11
04/06/2010	22	30	17	16	43	58	32	1011	7	11
10/06/2010	25	28	22	17	47	62	37	1008.5	15	29
15/06/2010	25	31	20	16	44	60	31	1009.25	7	11
21/06/2010	24	30	18	10	26	52	17	1010.8	9	14
08/07/2010	27	34	20	19	47	68	33	1009.17	6	11
15/07/2010	30	35	26	23	54	63	43	1011.67	8	14
02/09/2010	27	35	24	23	60	70	47	1009	5	11
08/09/2010	28	32	25	22	54	66	50	1008	19	29
13/09/2010	33	33	30	25	60	63	56	1010.67	4	7
21/09/2010	30	33	28	26	65	74	51	1004.33	24	43
27/09/2010	30	35	24	26	70	79	66	1009	6	14
07/10/2010	23	29	17	19	61	74	54	1017	10	22
14/10/2010	27	34	22	23	68	86	57	1016	9	14
20/10/2010	22	24	20	19	81	87	76	1015.4	19	29
26/10/2010	18	24	15	17	76	81	70	1011	6	14
04/11/2010	26	32	19	15	41	61	29	1017	6	11
10/11/2010	16	22	9	12	63	76	55	1014.4	8	11
17/11/2010	17	25	11	13	58	61	54	1018.67	7	11
23/11/2010	12	19	6	8	65	74	60	1017.8	6	11
02/12/2010	8	18	5	2	43	59	27	1020.67	5	7
09/12/2010	12	17	9	7	54	64	45	1019.22	3	11
15/12/2010	12	18	9	10	60	66	54	1013	7	11

Cont. Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

HERMOSILLO	Temperatura			Humedad			presión a nivel del mar	Viento		
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media		máxima	mínima	velocidad	velocidad máxima
08/01/2010	16	27	6	-1	32	71	12	1016.5	1	17
20/01/2010	18	21	15	9	60	100	48	1010.66	8	26
26/01/2010	16	25	7	5	51	87	24	1013.53	3	18
01/02/2010	16	25	8	8	59	88	26	1012.86	1	7
07/02/2010	14	22	6	8	64	94	40	1011.96	3	22
13/02/2010	19	28	10	7	57	94	15	1012.99	3	15
19/02/2010	18	28	8	5	40	62	20	1013.56	2	18
25/02/2010	18	28	9	1	34	62	9	1014.95	4	20
03/03/2010	18	27	10	4	41	71	16	1013.8	1	11
09/03/2010	16	24	8	5	46	81	18	1013.89	5	28
15/03/2010	20	31	9	-2	26	54	10	1016.87	4	24
21/03/2010	22	31	12	-8	14	26	4	1015.96	4	18
27/03/2010	22	32	11	-3	23	62	6	1015.59	5	22
02/04/2010	20	29	10	3	36	66	14	1014.73	3	24
08/04/2010	22	32	12	-3	24	51	7	1011.2	3	18
14/04/2010	23	33	13	4	33	63	11	1012.09	4	20
20/04/2010	26	31	20	15	58	78	31	1012.09	6	28
26/04/2010	26	34	17	3	24	39	12	1009.96	3	24
02/05/2010	20	28	13	0	27	52	11	1012.99	8	37
14/05/2010	26	35	16	0	21	56	6	1012.3	5	24
20/05/2010	28	38	19	4	21	38	9	1008.23	5	22
26/05/2010	27	38	16	0	17	35	6	1009.22	4	20
01/06/2010	32	39	24	10	28	51	11	1012.59	6	30
07/06/2010	34	44	25	17	45	78	18	1011.2	6	24
13/06/2010	26	35	16	7	30	59	12	1013.22	4	26
19/06/2010	32	41	24	13	34	65	15	1012.23	9	22
25/06/2010	36	43	29	14	30	51	19	1010.45	8	37
01/07/2010	38	47	30	9	18	33	8	1004.51	7	30
07/07/2010	34	41	28	10	26	66	9	1007.27	5	30
13/07/2010	36	44	29	15	29	42	15	1008.23	5	26
06/08/2010	34	39	29	22	50	74	27	1008.72	9	39
12/08/2010	36	43	30	21	45	70	18	1006.75	4	26
24/08/2010	37	44	30	21	41	66	21	1006.59	4	17
11/09/2010	32	40	24	17	46	83	17	1010.63	4	22
23/09/2010	30	35	24	23	69	94	14	1009.17	5	15
29/09/2010	32	39	26	20	51	74	26	1006.15	2	13
05/10/2010	29	35	23	19	58	84	39	1014.1	8	28
11/10/2010	26	36	17	6	30	60	10	1011.88	2	11
17/10/2010	24	31	16	13	56	94	27	1015.47	4	26
23/10/2010	22	29	14	12	56	82	27	1015.88	3	15
29/10/2010	27	37	17	9	39	77	12	1015.12	1	9
04/11/2010	28	35	18	0	16	34	9	1015.07	19	37
10/11/2010	18	27	10	4	37	62	17	1013.61	3	13
16/11/2010	18	27	9	5	43	72	17	1015.77	1	7
22/11/2010	15	23	7	7	60	93	29	1018.38	2	11
28/11/2010	16	22	9	5	54	71	28	1013.9	5	26

Cont. Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

GUAYMAS	Temperatura			Humedad			Presión a nivel del mar	Viento		
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media		máxima	mínima	velocidad	velocidad máxima
07/01/2010	18	23	12	7	47	7		1014.57	4	22
14/01/2010	18	22	14	5	44	83	25	1012.5	20	46
21/01/2010	21	23	19	14	63	68	57	1008.61	31	65
28/01/2010	17	20	14	11	66	88	46	1014.49	7	28
18/02/2010	18	24	11	7	44	71	27	1012.04	6	24
25/02/2010	22	27	16	3	28	41	10	1014.19	6	28
04/03/2010	17	23	11	8	48	71	33	1012.98	7	28
11/03/2010	18	24	11	1	33	67	15	1016.13	12	37
18/03/2010	20	28	13	4	28	47	20	1011.35	7	18
25/03/2010	22	28	17	6	32	49	23	1013.7	10	28
08/04/2010	22	28	15	24	97	100	94	1009.97	10	28
14/04/2010	22	26	17	22	96	100	89	1012.37	10	28
22/04/2010	19	20	18	17	87	94	78	1010.53	19	43
29/04/2010	23	25	21	13	56	83	24	1009.93	12	37
08/06/2010	28	30	27	20	60	70	37	1012.31	15	30
10/06/2010	28	29	27	22	68	79	62	1010.46	20	37
17/06/2010	30	34	25	13	35	61	17	1008.41	10	28
22/07/2010	32	34	30	23	56	70	49	1009.06	15	30
05/08/2010	34	36	31	25	60	79	44	1006.58	10	30
12/08/2010	34	36	32	24	58	70	44	1006.1	11	28
19/08/2010	34	35	32	26	66	75	53	1008.08	14	37
26/08/2010	34	35	32	24	60	75	52	1009.95	12	37
02/09/2010	34	36	31	25	61	75	47	1006.1	11	37
09/09/2010	32	33	30	24	62	79	55	1009.14	13	28
21/09/2010	30	32	29	24	70	84	59	1005.71	10	28
23/09/2010	30	32	28	25	72	100	62	1008.64	12	18
29/10/2010	28	34	22	16	50	74	29	1013.72	11	28
05/11/2010	25	30	20	8	40	94	16	1013.67	6	24
19/11/2010	25	30	20	8	40	94	16	1013.67	6	24
09/12/2010	20	25	16	7	41	60	24	1015.02	5	24
22/12/2010	18	22	15	16	84	100	69	1016.61	7	22
30/12/2010	18	20	17	10	61	72	55	1010.02	17	37

Cont. Condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

OBREGÓN	Temperatura			Humedad			Presión a nivel del mar	Viento		
	Fecha	media	máxima	mínima	punto de rocío	media		máxima	mínima	velocidad	velocidad máxima
01/01/2010	18	26	9	3	39	62	23	1016.1	7	20
07/01/2010	16	28	5	5	37	62	13	1013.9	5	15
13/01/2010	18	26	11	6	44	77	28	1015.73	3	18
19/01/2010	18	24	12	9	53	72	31	1013.21	12	22
25/01/2010	14	24	5	4	46	92	21	1011.5	12	22
06/02/2010	16	25	7	10	60	100	33	1014.15	4	18
12/02/2010	16	26	6	7	48	77	25	1015.4	16	37
18/02/2010	20	27	12	10	54	72	26	1011.41	6	25
24/02/2010	17	26	8	-1	24	43	12	1016.06	17	25
03/03/2010	18	28	7	9	50	82	23	1013.08	5	22
08/03/2010	16	24	9	9	55	99	24	1016.55	10	29
14/03/2010	18	25	12	11	56	82	38	1012.25	8	18
20/03/2010	18	29	7	9	47	87	26	1016.42	10	30
26/03/2010	18	29	7	9	47	87	26	1016.42	10	30
07/04/2010	20	30	9	10	50	88	20	1011.29	8	36
19/04/2010	24	29	19	16	61	78	42	1011.48	5	28
25/04/2010	22	31	14	7	33	63	18	1011.53	6	26
01/05/2010	18	25	11	2	34	67	18	1009.41	7	30
07/05/2010	26	40	12	4	18	40	5	1010.09	6	29
13/05/2010	24	32	17	4	28	49	13	1008.89	10	22
20/05/2010	26	38	13	11	33	61	16	1006.94	7	40
26/05/2010	24	38	11	4	20	42	7	1007.72	6	36
01/06/2010	29	35	23	16	48	94	20	1013.32	16	36
06/06/2010	28	32	24	20	61	83	46	1011.83	10	33
12/06/2010	26	30	21	18	63	88	45	1011.09	17	37
18/06/2010	30	39	21	15	38	78	15	1009.45	16	36
24/06/2010	30	35	26	19	48	69	34	1009.45	9	30
30/06/2010	32	42	23	18	37	65	17	1003.84	10	36
10/09/2010	30	36	25	23	63	79	44	1010.35	15	32
16/09/2010	31	37	25	22	55	83	39	1006.81	4	22
22/09/2010	26	28	25	24	82	94	66	1004.69	25	47
28/09/2010	30	35	25	23	65	94	32	1008.15	2	18
04/10/2010	30	37	24	21	60	83	32	1011.99	8	56
10/10/2010	27	35	19	12	38	68	19	1010.02	4	28

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 5

Análisis de correlación entre PST y metales en aire ambiente y condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

Matriz de correlación de Pearson entre PST y metales en aire ambiente y condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

AGUA PRIETA

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
Temperatura Media	-0.270	0.230	-0.102	-0.219	
Temperatura Máxima	-0.029	0.246	0.023	-0.125	
Temperatura Mínima	-0.483	0.140	-0.225	-0.308	
Punto de Rocío	-0.509	0.029	-0.187	-0.049	
humedad media	-0.411	-0.289	-0.221	0.113	
humedad máxima	-0.329	-0.286	-0.133	0.237	
humedad mínima	-0.491	-0.245	-0.359	-0.125	
presión a nivel del mar pB	0.511	0.459	0.455	0.315	
velocidad del viento km/h	-0.625	0.048	-0.314	-0.540	
velocidad máxima viento km/h	-0.547	-0.153	-0.226	-0.298	

NOGALES

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
temperatura media	-0.189	0.003	-0.289	-0.090	0.205
temperatura máxima	-0.098	-0.070	-0.293	-0.044	0.242
temperatura mínima	-0.244	0.073	-0.276	-0.106	0.142
punto de rocío	-0.235	0.036	-0.179	0.090	-0.023
humedad media	-0.130	-0.006	-0.010	0.273	-0.181
humedad máxima	-0.141	-0.004	-0.003	0.248	-0.188
humedad mínima	-0.176	-0.016	-0.049	0.139	-0.132
presión a nivel del mar pB	0.447	-0.048	0.141	0.444	-0.097
velocidad del viento km/h	-0.3584493	0.055015	0.0242457	-0.4866633	-0.0745531
velocidad máxima viento km/h	-0.3746389	0.0569623	-0.104409	-0.3817266	-0.0885467

Cont. Matriz de correlación de Pearson entre PST y metales en aire ambiente y condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

PUERTO
PEÑASCO

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
temperatura media	0.380	-0.307	0.236	0.238	
temperatura máxima	0.312	-0.279	0.225	0.302	
temperatura mínima	0.425	-0.283	0.277	0.155	
punto de rocío	0.324	-0.349	0.164	-0.062	
humedad media	-0.223	-0.154	-0.315	-0.637	
humedad máxima	-0.229	-0.208	-0.344	-0.546	
humedad mínima	-0.274	-0.134	-0.367	-0.641	
presión a nivel del mar pB	-0.449	0.333	-0.351	-0.250	
velocidad del viento km/h	0.450	-0.229	0.271	-0.089	
velocidad máxima viento km/h	0.342	-0.241	0.251	-0.104	

HERMOSILLO

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
temperatura media	-0.148	-0.194	0.005	-0.526	
temperatura máxima	-0.063	-0.172	-0.028	-0.521	
temperatura mínima	-0.189	-0.187	0.008	-0.494	
punto de rocío	-0.329	-0.245	-0.097	-0.191	
humedad media	-0.268	-0.108	-0.088	0.284	
humedad máxima	-0.110	-0.052	-0.022	0.273	
humedad mínima	-0.266	0.015	0.029	0.176	
presión a nivel del mar pB	0.184	-0.002	-0.010	0.379	
velocidad del viento km/h	-0.111	-0.094	0.335	-0.241	
velocidad máxima viento km/h	-0.020	0.021	0.3317	-0.349	

Cont. Matriz de correlación de Pearson entre PST y metales en aire ambiente y condiciones climáticas en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

GUAYMAS

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
temperatura media	-0.411	0.432	-0.436	0.092	0.010
temperatura máxima	-0.349	0.421	-0.376	0.083	0.015
temperatura mínima	-0.427	0.416	-0.476	0.087	-0.006
punto de rocío	-0.552	0.296	-0.462	0.046	-0.023
humedad media	-0.427	-0.025	-0.244	-0.000	0.002
humedad máxima	-0.181	0.018	0.005	-0.001	0.135
humedad mínima	-0.420	-0.083	-0.249	0.046	0.0137
presión a nivel del mar pB	0.405	-0.156	0.398	0.120	0.022
velocidad del viento km/h	-0.061	0.119	-0.280	-0.097	-0.248
velocidad máxima viento km/h	0.111	0.114	-0.150	0.029	-0.228

CD. OBREGÓN

	PST	Pb	Ni	Cu	Cr
temperatura media	-0.034	0.445	0.147	-0.239	-0.150
temperatura máxima	0.135	0.402	0.136	-0.142	-0.228
temperatura mínima	-0.172	0.392	0.1339	-0.275	-0.069
punto de rocío	-0.291	0.302	-0.088	-0.148	-0.062
humedad media	-0.418	0.046	-0.211	-0.012	0.076
humedad máxima	-0.184	0.007	-0.180	0.219	-0.036
humedad mínima	-0.393	-0.008	-0.208	-0.154	0.063
presión a nivel del mar pB	0.027	-0.279	-0.127	0.062	0.090
velocidad del viento km/h	-0.307	-0.218	0.037	-0.348	0.094
velocidad máxima viento km/h	-0.081	-0.091	0.009	-0.286	-0.140

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 6

Información proporcionada por la Dirección General de Epidemiología del Sistema Nacional de Salud para el año 2010



**Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's**

Fecha 24/11/2014
Hora 08:36:12

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 03 Santa Ana - Mun: 002 Agua Prieta

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Infecciones Respiratorias Agudas	13,305	330	1,556	1,272	1,162	846	1,043	748	665	824	813	1,385	1,404	1,587
Neumonías Y Bronconeumonías	335	6	60	66	30	26	7	18	9	8	24	40	25	22
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	531	10	53	42	56	35	55	46	56	42	45	33	26	42
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	14	-	1	2	-	2	-	2	3	-	3	1	-	-
Total:	14,185	346	1,670	1,382	1,248	909	1,105	814	733	874	885	1,459	1,455	1651



**Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's**

Fecha 24/11/2014
Hora 08:35:02

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 03 Santa Ana - Mun: 043 Nogales

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Faringitis Y Amigdalitis	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Infecciones Respiratorias Agudas	43,491	692	5,373	4,428	3,435	3,160	3,428	2,416	1,834	2,579	2,891	4,186	5,146	4,615
Neumonías Y Bronconeumonías	234	4	33	34	19	11	12	6	5	19	23	24	24	24
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	691	7	89	40	53	49	51	31	58	66	30	66	76	82
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	42	-	4	2	5	7	5	-	2	2	-	9	3	3
Total:	44,459	703	5,500	4,504	3,512	3,227	3,496	2,453	1,899	2,666	2,944	4,285	5,249	4724



**Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's**

Fecha 24/11/2014
Hora 08:37:07

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 02 Caborca - Mun: 048 Puerto Peñasco

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Faringitis Y Amigdalitis	106	-	85	-	-	-	-	-	4	-	-	-	9	8
Infecciones Respiratorias Agudas	11,272	190	1,474	1,127	861	709	852	593	547	528	852	1,225	1,438	1,066
Neumonías Y Bronconeumonías	248	6	65	49	21	10	6	7	3	2	11	9	31	34
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	352	10	47	37	10	15	29	13	20	18	29	38	53	43
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	34	-	5	3	4	3	2	2	3	5	2	2	2	1
Total:	12,012	206	1,676	1,216	896	737	889	615	577	553	894	1,274	1,533	1152



Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's

Fecha 24/11/2014

Hora 08:37:54

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 01 Hermosillo - Mun: 030 Hermosillo

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Faringitis Y Amigdalitis	3,388	39	295	241	206	173	246	192	223	265	334	520	426	267
Infecciones Respiratorias Agudas	224,791	6,699	27,525	22,039	16,335	12,732	15,948	11,197	10,980	9,486	14,572	23,794	29,936	30,247
Neumonías Y Bronconeumonías	5,852	263	787	618	556	331	393	225	251	220	242	549	609	1,071
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	5,975	165	668	555	403	339	474	323	469	455	434	578	650	627
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	197	2	20	21	17	20	23	9	18	18	14	19	7	11
Total:	240,203	7,168	29,295	23,474	17,517	13,995	17,084	11,946	11,941	10,444	15,596	25,460	31,628	32,223



Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's

Fecha 24/11/2014

Hora 08:38:34

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 04 Cajeme - Mun: 029 Guaymas

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Faringitis Y Amigdalitis	384	-	125	1	23	-	-	-	25	11	42	101	56	-
Infecciones Respiratorias Agudas	52,313	1,242	5,203	4,292	3,670	3,232	3,916	2,860	2,846	2,641	3,797	6,933	6,440	6,483
Neumonías Y Bronconeumonías	834	21	81	211	72	58	49	57	31	15	40	66	65	89
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	1,567	16	124	90	82	93	155	88	215	162	165	150	113	130
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	53	-	3	8	4	6	9	4	6	-	5	5	-	3
Total:	55,151	1,279	5,536	4,602	3,851	3,389	4,129	3,009	3,123	2,829	4,049	7,255	6,674	6,705



Sistema Nacional de Salud
Secretaría de Salud
Dirección General de Epidemiología
Casos Nuevos de Enfermedad
De la Semana 1 Hasta la Semana 52 Del 2010
Ira's

Fecha 24/11/2014

Hora 08:39:24

Page 1

Masculinos y Femeninos

Est: 26 Sonora - Jur: 04 Cajeme - Mun: 018 Cajeme

Diagnóstico	Acumulado	Semanal	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Faringitis Y Amigdalitis	135	11	-	1	3	11	21	1	5	19	13	15	30	16
Infecciones Respiratorias Agudas	132,617	2,865	15,143	11,572	9,798	7,896	9,133	7,931	6,865	6,340	8,838	16,475	17,965	14,661
Neumonías Y Bronconeumonías	394	51	35	45	30	40	41	14	17	16	15	19	33	89
Otitis Media Aguda H65.0-H65.1	2,502	43	211	196	173	171	345	174	266	216	180	217	196	157
Tuberculosis Respiratoria A15-A16	151	3	11	5	16	16	18	21	18	13	7	8	11	7
Total:	135,799	2,973	15,400	11,819	10,020	8,134	9,558	8,141	7,171	6,604	9,053	16,734	18,235	14,930

Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

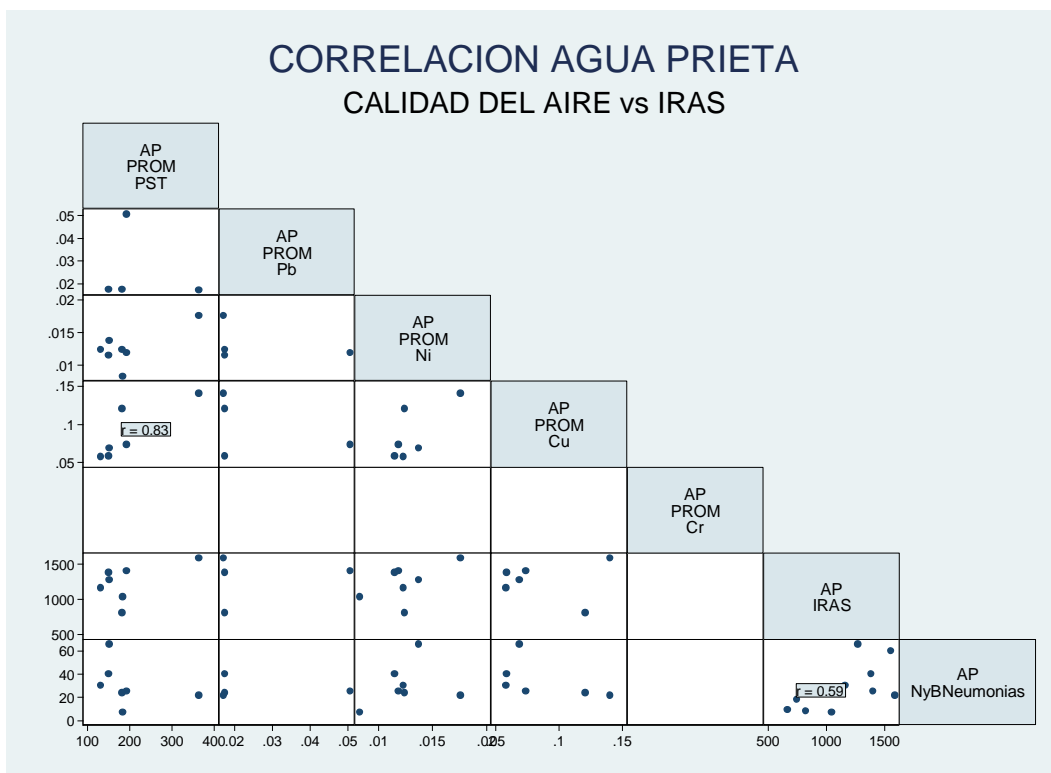
ANEXO 7

Análisis de correlación entre PST y metales en aire ambiente y salud respiratoria en seis ciudades de Sonora durante el año 2010

Agua Prieta, Sonora

Matriz de correlación de AP (promedios) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

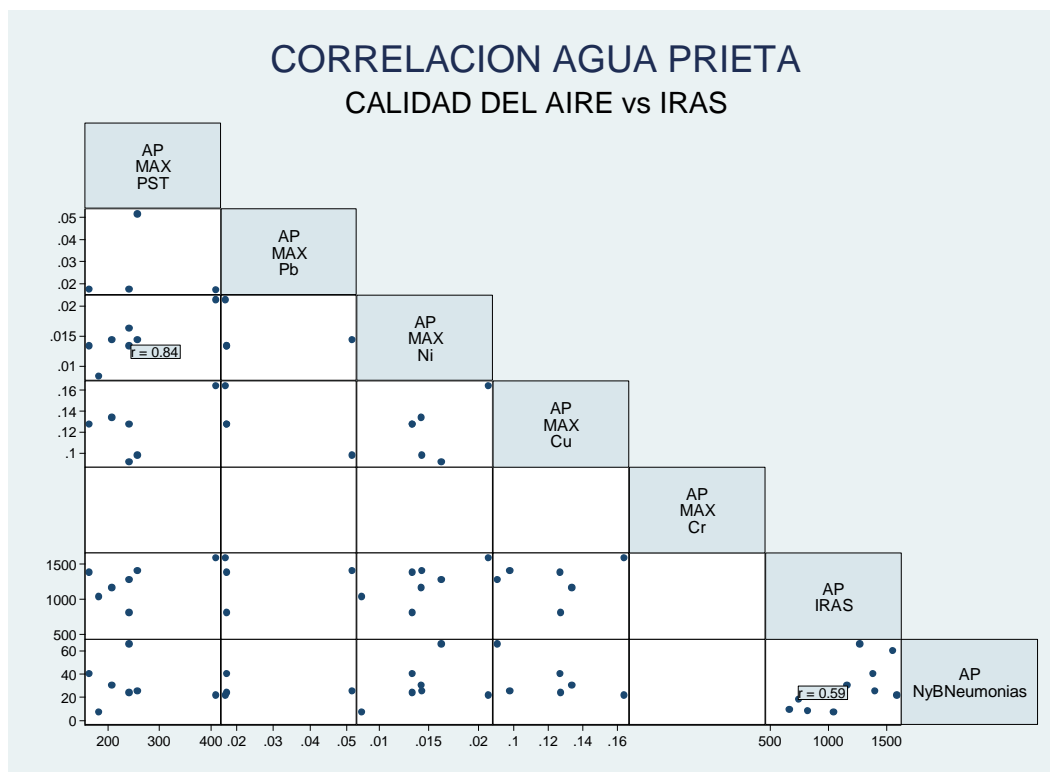
	APPROM~T	APPROMPb	APPROMNi	APPROMCu	APPROMCr	APIRAS	APNyBN~s
APPROMPST	1.0000						
	7						
APPROMPb	-0.2160	1.0000					
	0.7840	4	4				
APPROMNi	0.7002	-0.3556	1.0000				
	0.0798	0.6444	7	7			
APPROMCu	0.8327*	-0.4302	0.7274	1.0000			
	0.0396	0.5698	0.1014	6	6		
APPROMCr	.	.	.	.	.
	0	0	0	0	0		
APIRAS	0.5245	0.2049	0.5667	-0.0109	.	1.0000	
	0.2268	0.7951	0.1847	0.9836	.	12	
	7	4	7	6	0		
APNyBNeumo~s	-0.3438	-0.2164	0.3045	-0.5127	.	0.5954*	1.0000
	0.4502	0.7836	0.5067	0.2983	.	0.0411	
	7	4	7	6	0	12	12



Agua Prieta, Sonora

Matriz de correlación de AP (máximas) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

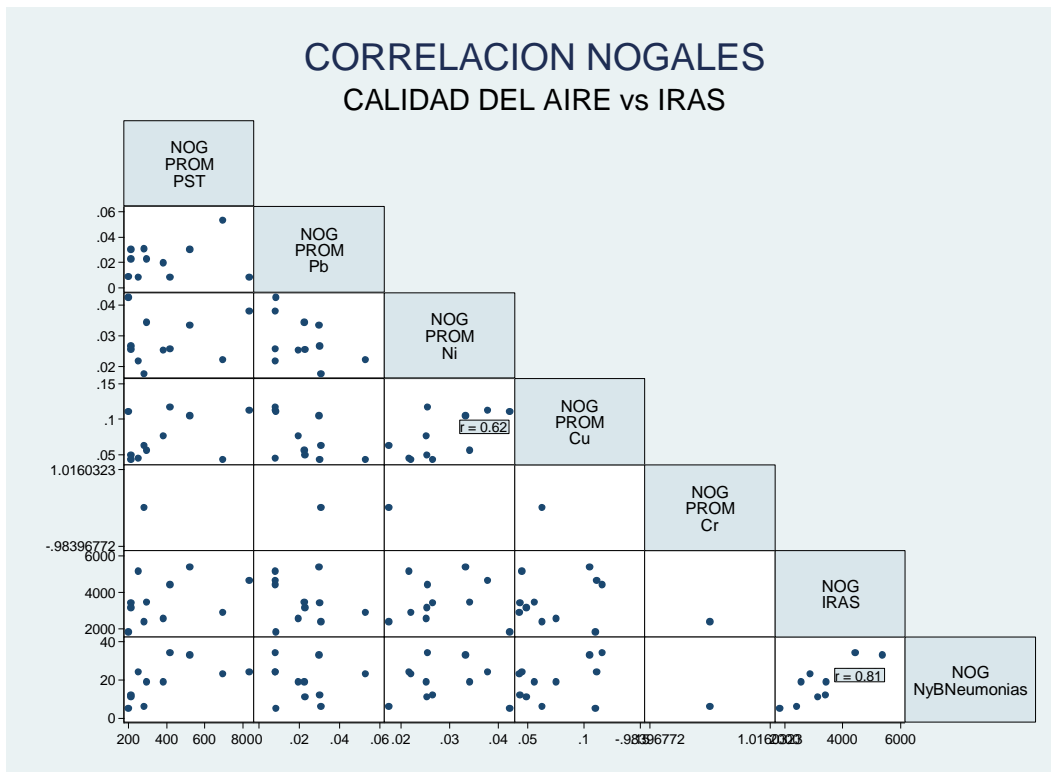
	APMAXPST	APMAXPb	APMAXNi	APMAXCu	APMAXCr	APIRAS	APNyBN~s
APMAXPST	1.0000						
	7						
APMAXPb	-0.0821	1.0000					
	0.9179	4					
APMAXNi	0.8435*	-0.2294	1.0000				
	0.0171	0.7706	7				
APMAXCu	0.5267	-0.7768	0.5206	1.0000			
	0.2830	0.2232	0.2897	6			
APMAXCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
APIRAS	0.5142	0.2047	0.6547	0.1934	.	1.0000	
	0.2377	0.7953	0.1105	0.7135	.	12	
APNyBNeumo~s	-0.0956	-0.2167	0.3584	-0.6117	.	0.5954*	1.0000
	0.8384	0.7833	0.4299	0.1969	.	0.0411	12



Nogales, Sonora

Matriz de correlación de NOGALES (promedios) (*significancia: primer renglón
debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

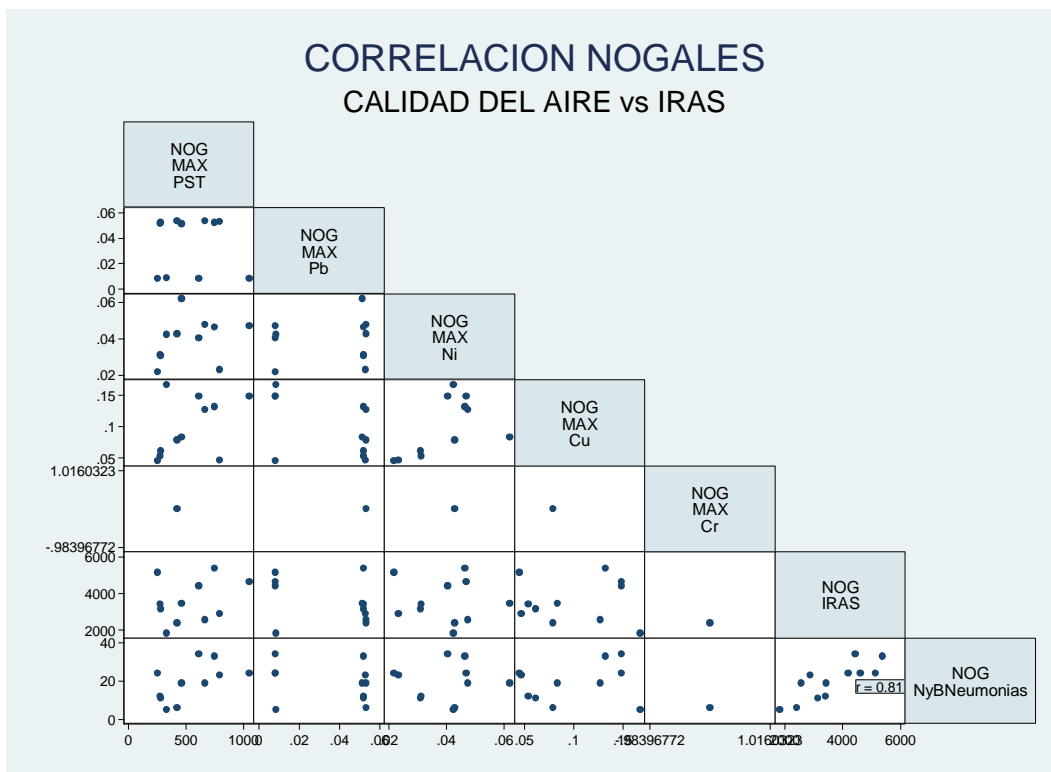
	NOGPRO~T	NOGPRO~b	NOGPRO~i	NOGPRO~u	NOGPRO~r	NOGIRAS	NOGNyB~s
NOGPROMPST	1.0000						
	11						
NOGPROMPb	0.2022 0.5510	1.0000					
	11	11					
NOGPROMNi	0.1618 0.6345	-0.4228 0.1951	1.0000				
	11	11	11				
NOGPROMCu	0.3452 0.2985	-0.5419 0.0850	0.6159* 0.0436	1.0000			
	11	11	11	11			
NOGPROMCr	. .	. .	. .	. .	. .
	0	0	0	0	0		
NOGIRAS	0.3533 0.2866	-0.2515 0.4556	0.0224 0.9478	0.2027 0.5499	. .	1.0000	
	11	11	11	11	0	12	
NOGNyBNeum~s	0.5642 0.0706	-0.0725 0.8322	-0.0064 0.9852	0.3459 0.2974	. .	0.8096* 0.0014	1.0000
	11	11	11	11	0	12	12



Nogales, Sonora

Matriz de correlación de NOGALES (máximas) (*significancia: primer renglón
debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

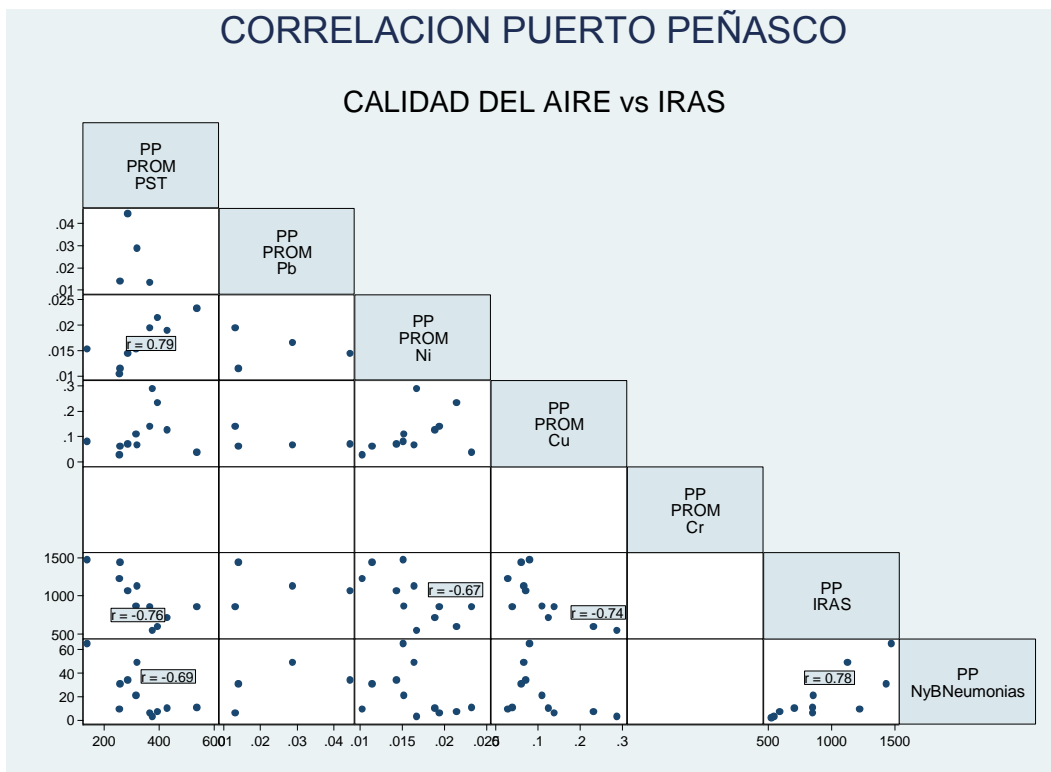
	NOGMAX~T	NOGMAXPb	NOGMAXNi	NOGMAXCu	NOGMAXCr	NOGIRAS	NOGNyB~s
NOGMAXPST	1.0000						
	11						
NOGMAXPb	-0.0730	1.0000					
	0.8311	11					
NOGMAXNi	0.2873	0.1150	1.0000				
	0.3917	0.7363	11				
NOGMAXCu	0.4427	-0.4776	0.5743	1.0000			
	0.1728	0.1374	0.0646	11			
NOGMAXCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
NOGIRAS	0.2880	-0.3067	-0.0842	0.0113	.	1.0000	
	0.3904	0.3590	0.8055	0.9738	.		
	11	11	11	11	0	12	
NOGNyBNeum~s	0.5690	-0.2200	0.0274	0.1994	.	0.8096*	1.0000
	0.0677	0.5158	0.9362	0.5567	.	0.0014	
	11	11	11	11	0	12	12



Puerto Peñasco, Sonora

Matriz de correlación de PPEÑASCO (promedio) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

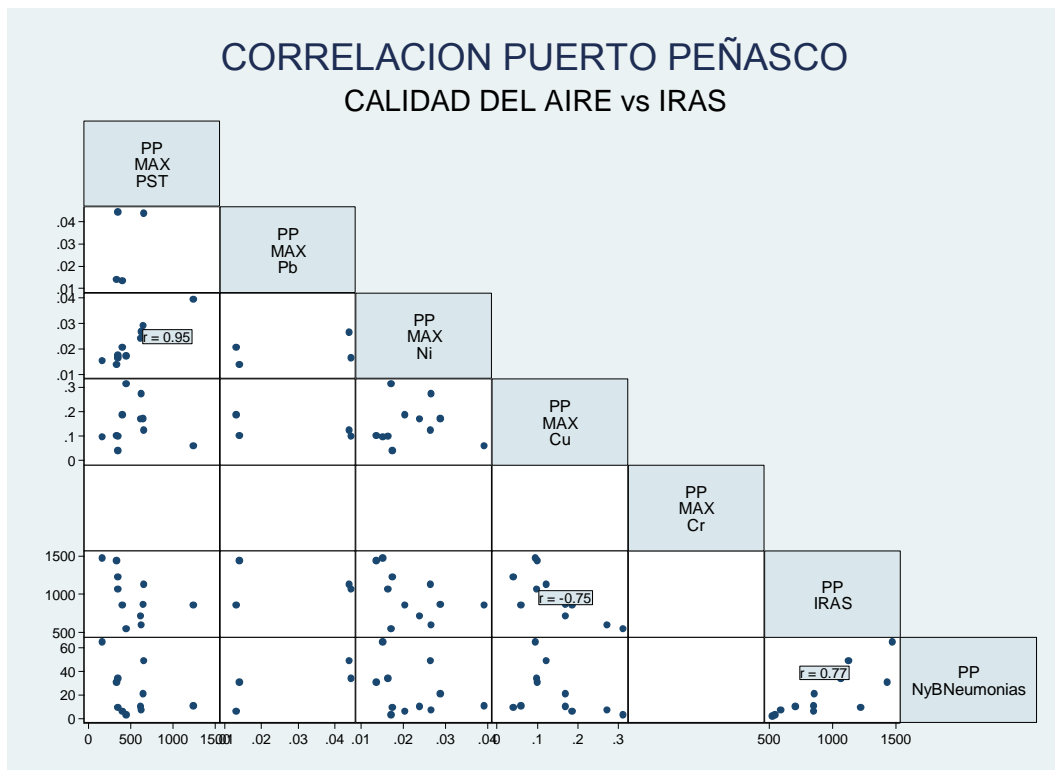
	PPPROM~T	PPPROMPb	PPPROMNi	PPPROMCu	PPPROMCr	PPIRAS	PPNyBN~s
PPPROMPST	1.0000						
	11						
PPPROMPb	-0.2312	1.0000					
	0.7688	4					
PPPROMNi	0.7901*	-0.1357	1.0000				
	0.0038	0.8643	4				
	11	4	11				
PPPROMCu	0.2552	-0.4359	0.3634	1.0000			
	0.4488	0.5641	0.2719	11			
	11	4	11	11			
PPPROMCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
PPIRAS	-0.7643*	-0.1286	-0.6740*	-0.7395*	.	1.0000	
	0.0062	0.8714	0.0229	0.0093	.	12	
	11	4	11	11	0	12	
PPNyBNeumo~s	-0.6883*	0.5334	-0.3461	-0.4504	.	0.7763*	1.0000
	0.0192	0.4666	0.2971	0.1645	.	0.0030	12
	11	4	11	11	0	12	12



Puerto Peñasco, Sonora

Matriz de correlación de P. PEÑASCO (máximas) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

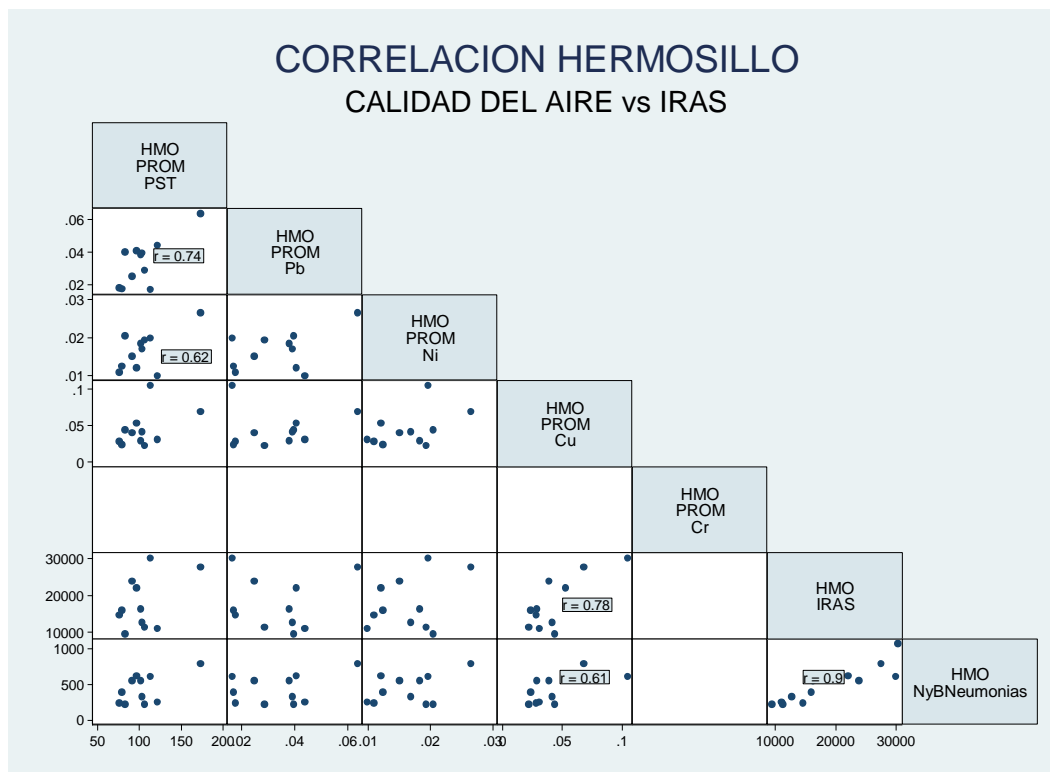
	PPMAXPST	PPMAXPb	PPMAXNi	PPMAXCu	PPMAXCr	PPIRAS	PPNyBN~s
PPMAXPST	1.0000						
	11						
PPMAXPb	0.4936	1.0000					
	0.5064	4					
PPMAXNi	0.9575*	0.4405	1.0000				
	0.0000	0.5595	11				
PPMAXCu	-0.0482	-0.4768	-0.0322	1.0000			
	0.8882	0.5232	0.9251	11			
PPMAXCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
PPIRAS	-0.4700	-0.1000	-0.4631	-0.7540*	.	1.0000	
	0.1447	0.9000	0.1515	0.0073	.	12	
PPNyBNeumo~s	-0.3549	0.7500	-0.2777	-0.4327	.	0.7763*	1.0000
	0.2842	0.2500	0.4083	0.1838	.	0.0030	12
	11	4	11	11	0	12	12



Hermosillo, Sonora

Matriz de correlación de HERMOSILLO (promedios) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

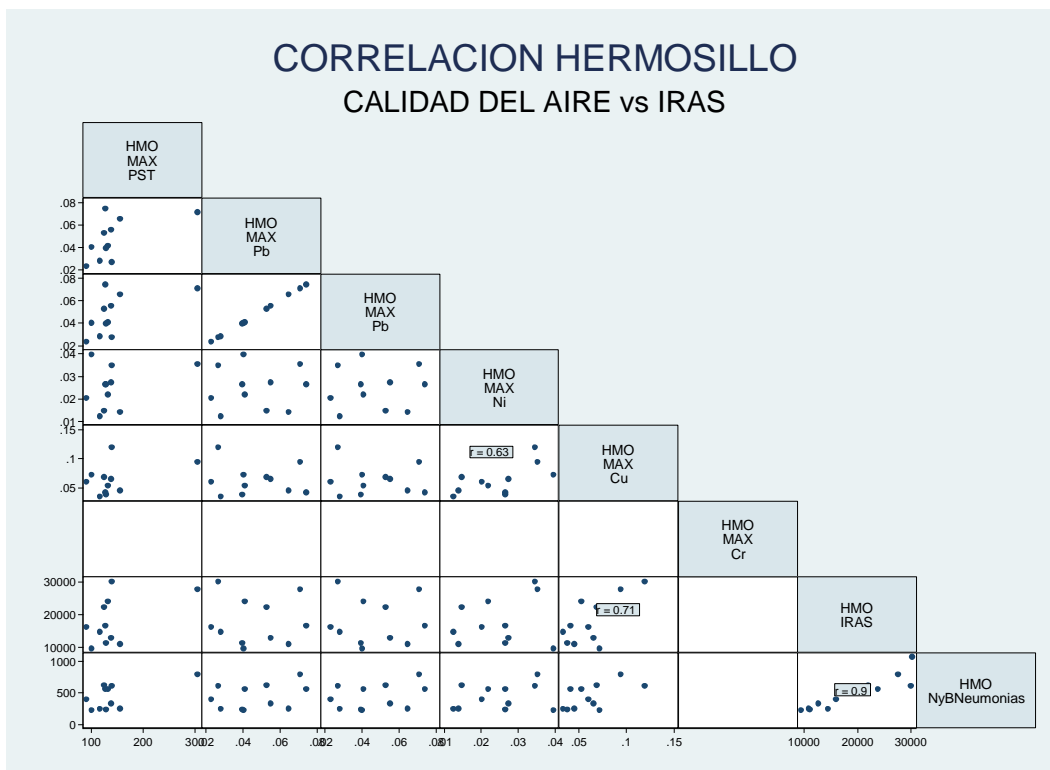
	HMO PRO~T	HMO PRO~b	HMO PRO~i	HMO PRO~u	HMO PRO~r	HMO IRAS	HMONyB~s
HMO PROM PST	1.0000						
	11						
HMO PROM Pb	0.7377*	1.0000					
	0.0096	11					
HMO PROM Ni	0.6193*	0.4686	1.0000				
	0.0422	0.1460	11				
HMO PROM Cu	0.4504	0.0802	0.4642	1.0000			
	0.1645	0.8146	0.1503	11			
HMO PROM Cr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
HMO IRAS	0.4554	0.0229	0.3472	0.7798*	.	1.0000	
	0.1593	0.9467	0.2955	0.0046	.	11	
	11	11	11	11	0	12	
HMONyBNeum~s	0.5694	0.3354	0.4345	0.6131*	.	0.8967*	1.0000
	0.0675	0.3133	0.1818	0.0449	.	0.0001	11
	11	11	11	11	0	12	12



Hermosillo, Sonora

Matriz de correlación de HERMOSILLO (máximas) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

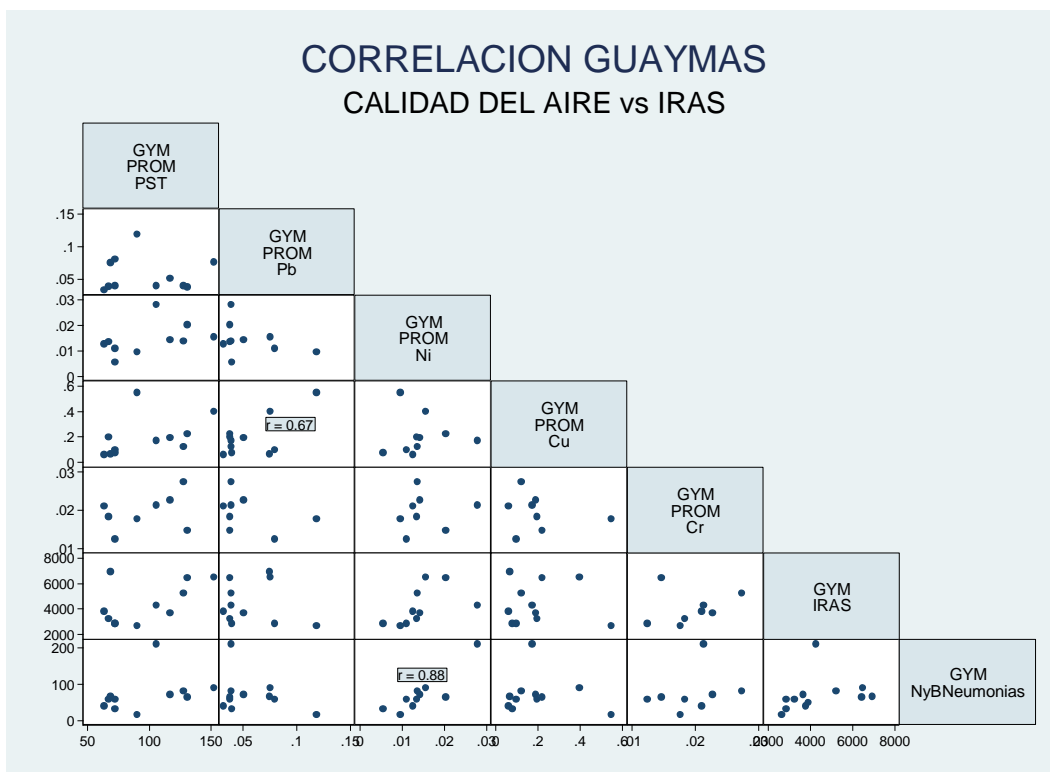
	HMOMAX~T	HMOMAXPb	HMOMAXNi	HMOMAXCu	HMOMAXCr	HMOIRAS	HMONYB~s
HMOMAXPST	1.0000						
	11						
HMOMAXPb	0.5690 0.0677	1.0000					
	11	11					
HMOMAXNi	0.3144 0.3464	0.0716 0.8344	1.0000				
	11	11	11				
HMOMAXCu	0.3965 0.2273	-0.0906 0.7910	0.6270* 0.0389	1.0000			
	11	11	11	11			
HMOMAXCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
HMOIRAS	0.4908 0.1253	-0.0106 0.9753	0.2103 0.5348	0.7058* 0.0152	.	1.0000	
	11	11	11	11	0	12	
HMONYBNeum~s	0.5987 0.0516	0.3442 0.2999	0.2356 0.4855	0.5940 0.0540	.	0.8967* 0.0001	1.0000
	11	11	11	11	0	12	12



Guaymas, Sonora

Matriz de correlación de GUAYMAS (promedios) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

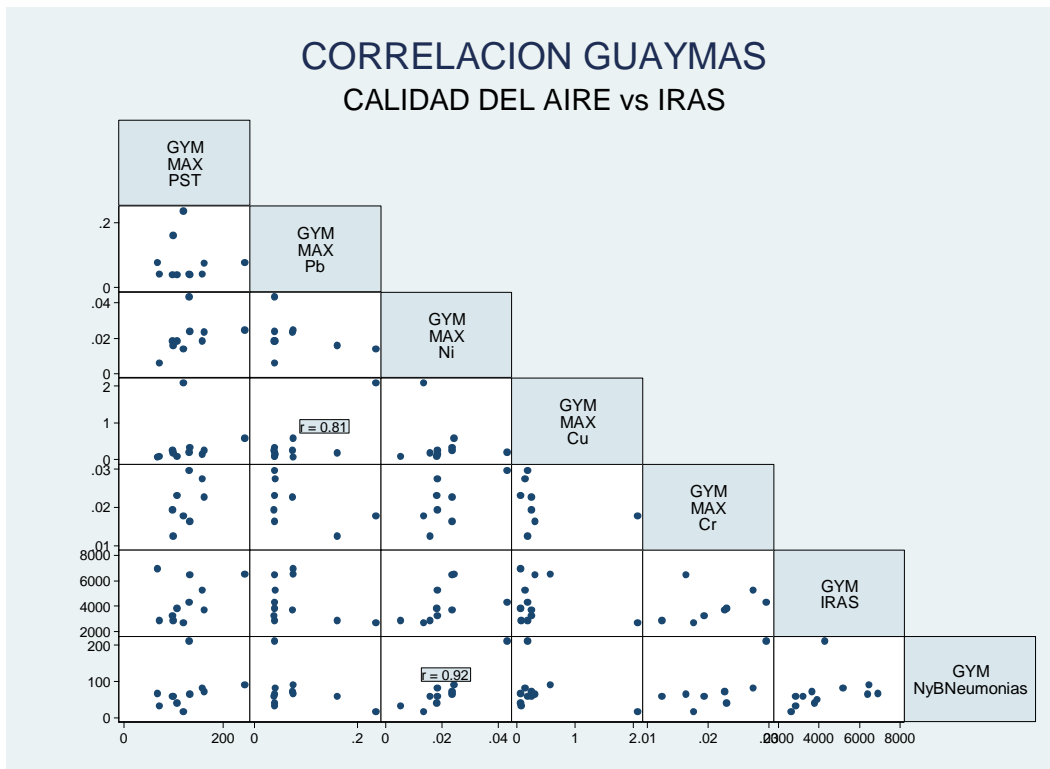
	GYMPRO~T	GYMPRO~b	GYMPRO~i	GYMPRO~u	GYMPRO~r	GYMIRAS	GYMnyB~s
GYMPROMPST	1.0000						
	11						
GYMPROMPb	-0.0134	1.0000					
	0.9687	11					
GYMPROMNi	0.4468	-0.3141	1.0000				
	0.1955	0.3768	10				
GYMPROMCu	0.4360	0.6698*	0.0053	1.0000			
	0.1801	0.0241	0.9883	11			
GYMPROMCr	0.3603	-0.3959	0.0991	-0.1838	1.0000		
	0.3806	0.3316	0.8153	0.6631	8		
GYMIRAS	0.5286	-0.0932	0.5298	-0.0480	0.1916	1.0000	
	0.0946	0.7853	0.1152	0.8886	0.6494	8	12
GYMnyBNeum~s	0.3526	-0.3161	0.8796*	-0.1192	0.2713	0.2779	1.0000
	0.2876	0.3437	0.0008	0.7271	0.5158	0.3819	11
	11	11	10	11	8	12	12



Guaymas, Sonora

Matriz de correlación de GUAYMAS (máximas) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

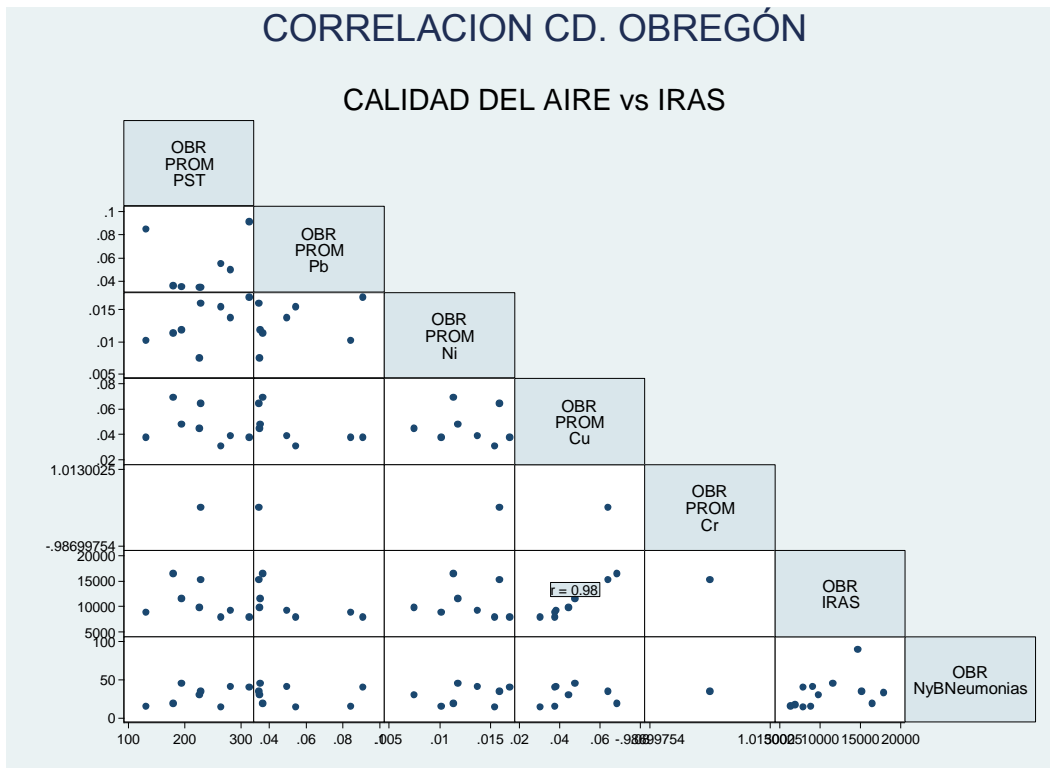
	GYMMAX~T	GYMMAXPb	GYMMAXNi	GYMMAXCu	GYMMAXCr	GYMIRAS	GYMNYB~s
GYMMAXPST	1.0000						
	11						
GYMMAXPb	-0.0378	1.0000					
	0.9121	11					
GYMMAXNi	0.4075	-0.2829	1.0000				
	0.2424	0.4283	10				
GYMMAXCu	0.1673	0.8087*	-0.1672	1.0000			
	0.6229	0.0026	0.6443	11			
GYMMAXCr	0.5400	-0.5464	0.6204	-0.2764	1.0000		
	0.1671	0.1611	0.1008	0.5076	8		
GYMIRAS	0.3656	-0.3816	0.4308	-0.2647	0.2623	1.0000	
	0.2689	0.2469	0.2139	0.4315	0.5303	8	12
GYMNYBNeum~s	0.2879	-0.3773	0.9212*	-0.3102	0.6587	0.2779	1.0000
	0.3907	0.2527	0.0002	0.3533	0.0757	0.3819	11
	11	11	10	11	8	12	12



Obregón, Sonora

Matriz de correlación de CD. OBREGÓN (promedios) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

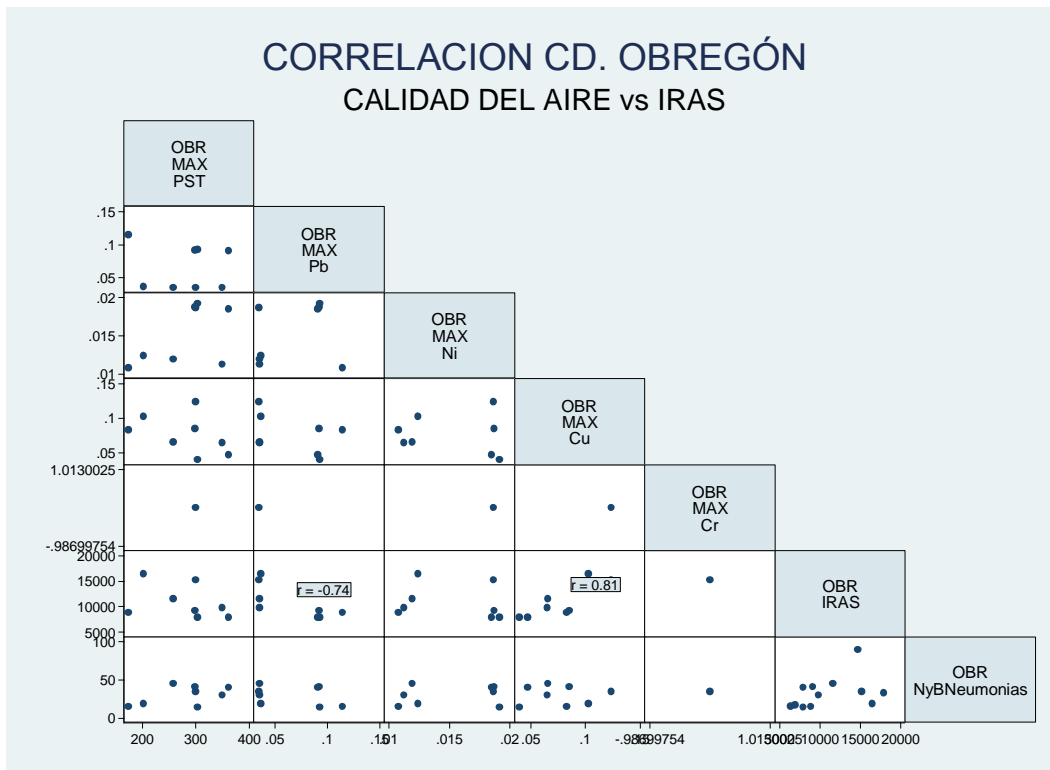
	OBRPRO~T	OBRPRO~b	OBRPRO~i	OBRPRO~u	OBRPRO~r	OBRIRAS	OBRNyB~s
OBRPROMPST	1.0000						
	8						
OBRPROMPb	0.1709	1.0000					
	0.6858	8					
OBRPROMNi	0.6555	0.2986	1.0000				
	0.0776	0.4725	8				
OBRPROMCu	-0.3624	-0.5905	-0.0977	1.0000			
	0.3777	0.1233	0.8179	8			
OBRPROMCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
OBRIRAS	-0.4098	-0.6425	-0.0815	0.9848*	.	1.0000	
	0.3133	0.0858	0.8478	0.0000	.	0	12
OBRNyBNeum~s	0.4594	-0.1653	0.2361	0.0636	.	0.3821	1.0000
	0.2521	0.6957	0.5734	0.8810	.	0.2203	0
	8	8	8	8	0	12	12



Obregón, Sonora

Matriz de correlación de CD. OBREGÓN (máximas) (*significancia: primer renglón debajo del valor de r; pares: segundo renglón)

	OBRMAX~T	OBRMAXPb	OBRMAXNi	OBRMAXCu	OBRMAXCr	OBRIRAS	OBRNyB~s
OBRMAXPST	1.0000						
	8						
OBRMAXPb	-0.1137	1.0000					
	0.7887	8					
OBRMAXNi	0.5444	0.2862	1.0000				
	0.1630	0.4920	8				
OBRMAXCu	-0.4223	-0.4131	-0.0958	1.0000			
	0.2973	0.3090	0.8215	8			
OBRMAXCr	.	.	.	.	1.0000		
	0	0	0	0	0		
OBRIRAS	-0.3740	-0.7435*	-0.1967	0.8068*	.	1.0000	
	0.3614	0.0345	0.6405	0.0155	.	0	12
OBRNyBNeum~s	0.4964	-0.3075	0.2204	0.0356	.	0.3821	1.0000
	0.2108	0.4588	0.6000	0.9333	.	0.2203	0
	8	8	8	8	0	12	12



Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora México, durante un periodo anual

ANEXO 8

Propuesta de revisión del criterio de cobertura o compleción en las normas de calidad del aire

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES
PRESENTE**

Los que suscribimos integrantes de la Agenda Gris del Consejo Consultivo Nacional para el Desarrollo Sustentable (CCNDS), con fundamento en los artículos 157 y 159 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y el Acuerdo mediante el cual se crean el Consejo Consultivo Nacional, 6 Consejos Consultivos Regionales y 32 Consejos Consultivos Nucleo para el Desarrollo Sustentable (publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 14 de marzo de 2008), emitimos en nuestro carácter de asesores de la SEMARNAT, la siguiente recomendación de conformidad con los siguientes:

Antecedentes
<p>Breve descripción de la problemática, situación, historia o aspectos del entorno dentro del que se genera la recomendación:</p> <p>A lo largo de la historia la humanidad ha estado en contacto con los contaminantes atmosféricos, sin embargo a medida que se desarrollaron las ciudades y se consolidó la revolución industrial la contaminación del aire se ha ido convirtiendo en algo común y cotidiano (Cicco, 1996), los efectos de esta situación han sido suficientemente documentados estimándose que en el mundo alrededor de 2 millones de muertes prematuras al año son atribuibles a la contaminación del aire (OMS, 2011) y de éstas 1.3 millones ocurren en zonas urbanas y principalmente en países con ingresos medios. Se estima que en México 36 mil personas mueren entre 2001 y 2005 a causa de la contaminación atmosférica y que de ellas, aproximadamente 5,000 fueron niños (SEMARNAT, 2011), incrementándose anualmente este efecto ya que para el 2008 el estimado fue de 15,000 muertes (Clean Air Institute, 2012). El futuro tampoco se ve optimista, la OCDE (2012) señala en su estudio de escenario al 2050 que de no implementarse acciones en contra de la contaminación del aire el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a partículas suspendidas aumentará más del doble y alcanzará 3.6 millones cada año en el mundo, convirtiéndose en la principal causa ambiental de mortalidad prematura.</p> <p>La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) que establece los máximos permisibles de concentración de partículas en aire ambiente (PST, PM10, PM2.5), establece que para poder verificar su observancia se requiere cumplir con una cobertura o colección de muestreos mínima de 75% de muestreos válidos por trimestre y tres trimestres cumpliendo el requisito para evaluar el año. Es importante señalar que la Norma no establece fundamento que justifique dichos requisitos. Se asume que dichos criterios garantizan que se cuente con información suficiente para poder establecer el cumplimiento con la norma, pero esos criterios resultarían irrelevantes para determinar el incumplimiento con la norma (a fin de activar en su caso las correspondientes acciones de protección de la salud humana y control de la contaminación ambiental que las autoridades debieran implementar), toda vez que por el hecho de rebasarse el valor de concentración máxima e ignorar tal información, quedaría sin efectos el objetivo de la norma de proteger la salud de la población más susceptible, identificándose controversia en su aplicación.</p> <p>Un ejemplo es el parámetro de Partículas Suspendidas Totales (PST), ya que al corresponder el muestreo de PST al tipo manual con una frecuencia de cada 6 días, bastaría con que se excediera dos días en el año el valor máximo permisible para una cobertura del 100% (60 muestreos válidos al año) o se excediera un día para una cobertura del 75% (45 muestreos válidos al año) para que se rebasara el 2% permisible de frecuencia de días por arriba del valor máximo permisible de 210 µg/m³. Dado esta perspectiva, sería suficiente señalar como criterio de incumplimiento la cantidad de días que se permitiera rebasar el valor de concentración máxima, descartándose el criterio de cobertura, el cual no favorece ni permite aplicar esta norma de protección a la salud de la población en muchos casos, aun cuando las concentración diarias de PST rebasen el valor máximo permisible frecuentemente, como ocurre en muchas ciudades de México.</p>
Considerandos
<p>Descripción de los razonamientos, aspectos de orden normativo, estrategias y acciones de los tres órdenes de gobierno que sustentan la emisión de la recomendación:</p>

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) señala que estudios epidemiológicos atribuyen los efectos más severos a la salud a la contaminación por partículas en el aire y al ozono, y que además para estos contaminantes aun no han sido identificados niveles seguros ya que incluso concentraciones por debajo de los criterios de calidad del aire pueden representar riesgos a la salud. Así pues, a pesar de la existencia de normatividad respecto de la protección del aire que respiramos, la mala calidad de este sigue representando una amenaza importante para la salud de la población, del medio ambiente, del bienestar social y del desarrollo económico (OMS, 2006; Clean Air Institute, 2012), por lo que es imperiosa la necesidad de definir en cada caso particular el por qué permanece o se incrementa dicha amenaza y como actualizar la estrategia de protección de la salud de la población y del medio ambiente a fin de que sea efectiva.

Con base en lo anterior y bajo el principio precautorio que toda norma de protección ambiental y de la salud debe considerarse (Coffey, 2004; Jiménez de Benavente, 2005; UN, 1992) resulta ineluctable el criterio de cobertura solicitado por las normas de calidad del aire, en particular la NOM-025-SSA1-2003 (SSA, 2005) en términos de la protección de la salud de la población, por lo que, bajo la filosofía de la norma de proteger la salud de la población susceptible, se deberán establecer criterios de incumplimiento para calidad del aire dando con ello la relevancia y la importancia al instrumento normativo, en aras de su objetivo principal que es proteger a la población. Un análisis de esta condición que desfavorece la aplicación de la norma y un ejemplo de diseño de criterio de incumplimiento para PST fue publicado por Cruz-Campos, et al (2014) <http://dx.doi.org/10.4236/ep.2014.510088> documento del cual se anexa copia.

Por lo anterior, los miembros del Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable, la Comisión Técnica de la Agenda Gris del CCNDS

Recomendación
<p>Escribir de manera clara, entendible y concreta el texto de la recomendación:</p> <p>Se recomienda a la SEMARNAT ordenar atención especial a lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se evalúe la pertinencia de los requisitos de cobertura o colección de muestreos para el CUMPLIMIENTO y aplicación de las normas de Calidad del Aire, analizando la posibilidad de que dichas normas solo establezcan criterios de INCUMPLIMIENTO considerando los valores máximos permisibles. Así mismo evaluar la pertinencia de establecer UNIVERSALES para la atención a los problemas de contaminación del aire si identificarse concentraciones de 50 y 75% de máximo permisible según cada norma.

Esta recomendación fue elaborada por Martín Eusebio Cruz Campos y el CCDS Nucleo Sonora.

Comisión Técnica o Grupo de Trabajo:	Agenda Gris del CCNDS
Coordinador de la Comisión Técnica o Grupo de Trabajo:	José Carmelo Zavala
Consejeros integrantes:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Josafat García Servín 2. José Carmelo Zavala 3. Alfonso de la Torre 4. Jesús Armando Barajas 5. Patricia Gómez Rivera 6. Jorge Pérez Martínez 7. Salvador Solís Dávalos 8. León Mauro Gutiérrez Ferratés 9. Ma. Isabel Muñoz Larios 10. María Dolores Barrientos

Recomendación:

Se recomienda a la SEMARNAT, mediante una revisión previa de la legislación y normatividad aplicable, así como los efectos negativos sobre la calidad del aire y sus efectos en salud pública, gestione la eliminación de requisitos de cobertura o compleción de datos de muestreo en la aplicación de cumplimiento de normas sobre calidad del aire, a fin de hacer factible y oportuna su aplicación y evitar el peligro de daños a la salud y al medio ambiente considerando el principio de precaución. Se recomienda se evalúe y en su caso proponga el INCUMPLIMIENTO a dichas normas solo a partir de rebasar máximos permisibles de concentración (por hora, 8 horas, 24 horas, trimestre o anual, en su caso según el parámetro contaminante) y se proponga incorporar en la normativa el uso de umbrales de protección para activar acciones de protección o contingencia, las cuales garanticen la salud de la población susceptible y la protección del medio ambiente.

Fundamentación de la recomendación.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

- ARTÍCULO 1o.- La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:
 - I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar;
 - VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
 - VII.- Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente;
- ARTÍCULO 5o.- Son facultades de la Federación:
 - XII.- La regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y el control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal;
 - XVIII.- La emisión de recomendaciones a autoridades Federales, Estatales y Municipales, con el propósito de promover el cumplimiento de la legislación ambiental;
- ARTÍCULO 110.- Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:

- La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y
- Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.
- ARTÍCULO 111.- Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:
 - I.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud.