

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Evaluación espacio-temporal del potencial oxidativo asociado a material  
particulado en la ciudad de Tijuana, B.C.**

**Tesis**

**Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias**

**Presenta**

**Q.I. Rita María Zurita Frías**

**Director de Tesis**

**Dr. José Guillermo Rodríguez Ventura<sup>†</sup>**

**Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones**

**Co-Directora**

**Dra. Nina Bogdanchikova**

**Tijuana, Baja California**

**Junio 2016**

**Universidad Autónoma de Baja California**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**  
**COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FOLIO No. 172

Tijuana, B. C., a 1 de junio de 2016

C. Rita María Zurita Frías  
Pasante de: Maestro en Ciencias  
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la  
Opción TESIS

Es propuesto, por los C. Dres. Javier Emmanuel Castillo Quiñones y Nina  
Bogdanchikova

quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,  
referido al tema: "Evaluación espacio-temporal del potencial oxidativo  
asociado a material particulado en la ciudad de Tijuana, B.C."

el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- ANTECEDENTES
- III.- SITIO DE ESTUDIO
- IV.- PARTE EXPERIMENTAL
- V.- RESULTADOS Y DISCUSION
- VI.- CONCLUSION
- VII.- RECOMENDACIONES
- VIII.- REFERENCIAS
- IX.- ANEXOS

Dr. José Luis González Vázquez  
Sub-Director Secretario

  
Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones  
Director de Tesis  
Dra. Nina Bogdanchikova  
Co-Directora  
Dr. Luis Enrique Palafox Maestre  
Director

## RESUMEN

La variación espacio-temporal de potencial oxidativo asociado a  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$  se evaluó en 5 puntos de muestreo con actividad urbana dentro de la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Tijuana, Baja California. En el material particulado ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$ ) se identificaron metales y metales traza, entre los que se encuentran Cu, Pb, Ni, Zn y Se los cuales mostraron niveles altos, además de que presentaron factores de enriquecimiento elevados, indicando que la fuente de emisión que los genera proviene del parque vehicular. El potencial oxidativo se determinó mediante el ensayo de Ditiotreitól (DTT) el cual mide la actividad de las Especies Reactivas Oxigenadas (ROS). Existe preocupación con los metales y metales traza que presentaron buenas correlaciones ( $r_s \geq 0.7$ ) con la actividad de las ROS. Para  $PM_{10}$  se observó una fuerte correlación con Cu, Ba y Zn, así como un valor de  $r_s = -0.983$  ( $p = 0.017$ ) con la masa de  $PM_{10}$ , lo cual nos indica que la concentración en masa de este tipo de material particulado presenta una correlación inversa asociada con el potencial oxidativo, brindado evidencia de que es necesario hacer un análisis de la composición del material particulado. En cuanto a  $PM_{2.5}$  presentó una fuerte correlación con Mn ( $r_s > 0.7$ ,  $p = 0.05$ ) y para  $PM_{0.49}$  se encontró una fuerte correlación con Ni y Se, sin embargo es necesario ampliar la información sobre el mecanismo de acción de Se. Por otra parte en s-Industrial, s-Tráfico Vehicular y s-Habitacional I se mostró una dependencia entre la disminución del tamaño de partícula y un incremento de potencial oxidativo. En cuanto a s-Comercial y s-Habitacional II no se observó este comportamiento, pero el potencial oxidativo se vio influenciado por la concentración de metales asociados a PM. En cuanto a otras áreas urbanas como la de Los Ángeles CA., los resultados obtenidos de potencial oxidativo inducido por  $PM_{2.5}$  coinciden con los rangos de consumo de DTT, sin embargo se presentan medias mayores en este estudio. Por último, los hallazgos sugieren un papel dominante de metales de transición en la generación de ROS, sin dejar de lado la importancia de la contribución de otras especies asociadas a PM como quinonas que debe de ser consideradas para brindar un panorama más amplio del efecto redox.

## DEDICATORIA

*Al Dr. José Guillermo Rodríguez Ventura, gracias por dejarme aprender de usted, por su confianza, apoyo y amistad durante esta aventura.*

*A mis padres y mi hermana por siempre confiar en mí, por estar conmigo en cada paso, tanto para observar mis logros, como para ayudarme a levantarme, los quiero*

*A mi esposo por apoyarme en todo momento y no dejar que olvide mis sueños, por ser mi amor, mi cómplice y todo.*

*A un niño guapo llamado Santiago, que está en mi pancita (hasta el momento), por portarse tan bien y acompañarme en el final de este proyecto, te amo pequeñito.*

*A María Fernanda.....*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones por apoyarme ampliamente y encaminarme, durante la última fase del desarrollo del proyecto.

Al Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM, Campus Ensenada en especial a mi codirectora de tesis la Dra. Nina Bogdanchikova por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la Dra. Elena Smolentseva del Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM y el Dr. Mario Vega del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por su apoyo en el análisis de concentración de metales asociados a PM.

A la Secretaria de Protección al Ambiente del Estado de Baja California, por el soporte durante los muestreos en las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire, en especial al Biol. Raúl Tovar y al Ing. Enrique Duran, compartiendo su conocimiento y experiencia en todo momento.

Al Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECYTE), campus Villa del Sol por permitirnos colocar el Muestreador de Alto volumen en sus instalaciones, así como por su interés en el desarrollo de este proyecto y su disponibilidad para difundir temas de calidad del aire a su comunidad estudiantil.

Al Ing. Julián Torres por su apoyo y consejos, por ser un ejemplo y darme la fortuna de aprender de usted, gracias por ser mi amigo.

A Lic. Michelle Rodríguez por su apoyo durante el comienzo de esta travesía, gracias por verme como una inversión.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
2.1.-Material Particulado .....	5
2.2 Legislación ambiental .....	7
2.3.- Material particulado en la región Tijuana- San Diego.....	8
2.4.-Metales.....	12
2.5 Especies carbonáceas.....	14
2.6.-Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA 's).....	16
2.6.1.- <i>Quinonas</i> .....	18
2.7.- Toxicidad .....	20
2.8.- Especies Reactivas Oxigenadas (ROS) .....	22
2.8.1.- <i>Generación en el organismo</i> .....	22
2.8.2.- <i>Formación de ROS asociada a PM</i> .....	23
<b>3. SITIO DE ESTUDIO</b> .....	<b>25</b>
3.1.-Orografía .....	25
3.2.- Meteorología .....	26
3.2.1.- <i>Clima</i> .....	26
3.2.2.- <i>Dinamica de vientos</i> .....	27
3.3.- Sitios de Muestreo .....	29
<b>4. PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>30</b>
4.1.-Equipos, materiales y reactivos .....	30
4.1.1 <i>Muestreo</i> .....	30
4.1.2.- <i>Extracción y análisis de metales</i> .....	30
4.1.3.- <i>Extracción y análisis de potencial oxidativo</i> .....	30
4.2.- Metodología .....	32
4.2.1- <i>Muestreo</i> .....	32
4.2.3.- <i>Parámetros meteorológicos</i> .....	35
4.2.4.- <i>Determinacion contenido de metales</i> .....	35
4.2.5.- <i>Factor de enriquecimiento</i> .....	36
4.2.6.- <i>Carbono Orgánico y Carbono Elemental</i> .....	37
4.2.7.- <i>Potencial Oxidativo</i> .....	38
4.2.8.- <i>Analisis estadístico</i> .....	40
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>42</b>
5.1- Meteorología .....	42
5.2.-Análisis del comportamiento de Material Particulado .....	45
5.2.1.- <i>Comportamiento de PM<sub>2,5</sub></i> .....	45

5.2.2.-Comportamiento de $PM_{0,49}$ en s-Habitacional II .....	50
5.2.3.-Distribución de diámetro de partícula en s-Habitacional II.....	532
5.3.-Análisis de comportamiento de metales traza asociados al material particulado. ....	554
5.3.1.-Variación espacio-temporal de metales traza asociados a $PM_{2,5}$ .....	54
5.3.2.-Variación temporal de metales traza asociados a $PM_{0,49}$ .....	73
5.4.- Análisis de Contenido de Carbono Orgánico y Elemental .....	86
5.5.- Evaluación de potencial oxidativo .....	910
5.5.1.-Análisis del comportamiento de potencial oxidativo en muestras de $PM_{10}$ .....	910
5.5.2.- Análisis del comportamiento de potencial oxidativo asociado a $PM_{2,5}$ .....	976
5.5.3.- Análisis del comportamiento de potencial oxidativo asociado a $PM_{0,49}$ .....	99
5.5.4.- Comparativo de potencial oxidativo entre las distintas fracciones de PM.....	1043
5.5.5.-Comparativo con otras partes del mundo .....	1054
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>1065</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>1087</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>10908</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>117</b>
I.Calibración del muestreador de alto volumen .....	117
II.Cálculos del Ensayo de DTT .....	126
III.Límites de Detección ICP-EOS .....	130
IV.Condiciones Meteorológicas durante 2012-2013 .....	131
V.Factores de Enriquecimiento $PM_{10}$ .....	133
VI.Concentración de $PM_{10}$ y metales asociados a la superficie (2012-2013).....	134
VII.Factores de Enriquecimiento $PM_{0,49}$ .....	137
VIII.Concentración de $PM_{0,49}$ y metales asociados a la superficie (2012-2013).....	138
IX.Concentración de PM obtenidas mediante impactador de cascada durante el periodo de muestreo 2015. ....	140
X.Distribución del tamaño de partícula.....	141
XI.Concentración de metales asociados a $PM_{0,49}$ en s-Habitacional II durante la primavera de 2015. ....	143
XII.Concentración de $PM_{2,5}$ y metales asociados a la superficie (2014).....	144
XIII.Carbono orgánico, carbono elemental y carbono total en $PM_{2,5}$ en s-Habitacional II.....	146
XIV.Pruebas de Normalidad .....	147
XV.Prueba de Grubbs.....	186
XVI.Pruebas de Fisher y t-student .....	195
XVII.Gráficos de caja y bigotes .....	208

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Esquemática idealizada de la distribución del diámetro de las partículas, tipos, fuentes y mecanismos de formación-eliminación de un aerosol atmosférico (Seinfeld, 2006).....	5
Figura 2-2. Distribución de $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$ presentes en las estaciones MD y PM. Periodo de Muestreo 2 meses, 18 muestras (MCE2 et al., 2010). .....	9
Figura 2-3. Promedios diarios de $PM_{2.5}$ 2013 en el zona de Muestreo sitio Industrial (SPA, 2013). .....	10
Figura 2-4. Perfil de contaminantes Monóxido de carbono y $PM_{2.5}$ dentro del auto durante el cruce fronterizo México-Estados Unidos.....	11
Figura 2-5. Perfil de contaminantes dentro del auto durante el cruce fronterizo México-Estados Unidos de carbón Negro e Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos. ....	16
Figura 2-6. a) Concentración de BC contra tiempo durante toda la campaña en Cecyte (s-Habitacional II); b) Concentraciones de BC contra dirección del viento con diferentes colores en cada hora del día (Zavala et al., 2013). .....	17
Figura 2-7. Mecanismo de fotooxidación de Naftoquinona. ....	18
Figura 2-8. Sitio de bioacumulación de $PM_{>10}$ , $PM_{10-2.5}$ , $PM_{2.5}$ . ....	20
Figura 2-9. Mecanismo de formación de ROS en el organismo. ....	22
Figura 2-10. Mecanismo de respuesta del organismo en presencia de ROS. ....	22
Figura 2-11. Mecanismo de formación de ROS en presencia de PM. ....	23
Figura 3-1. Orografía representativa de la Ciudad de Tijuana, Baja California (TOMADO DE GOOGLE EARTH). .....	26
Figura 3-2. Rosas de vientos para los cuatro trimestres del año en la estación La Mesa (sitio de Tráfico Vehicular) para el año 2005. ....	27
Figura 3-3. Patrones de transporte de la pluma a) sureste, b) suroeste, c) este y d) norte, identificados durante la campaña Cal-Mex 2010 (Bei et al., 2013).....	28
Figura 3-4. Vista panorámica de las áreas de muestreo en la zona de Tijuana (TOMADO DE GOOGLE EARTH).....	29
Figura 4-1. Mecanismo de reacción para la cuantificación del remanente de DTT. ....	39
Figura 5-1. Rosas de los vientos para el periodo primavera-verano-otoño 2014. ....	43
Figura 5-2. Rosa de los vientos para la primavera de 2015. ....	44
Figura 5-3. Variación espacial de $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para s-Comercial, s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular en comparación el LMP (NOM-025-SSA-2014).....	465
Figura 5-4. Variación espacial de $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para s-Comercial, s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular en comparación el Limite de la OMS. ....	476
Figura 5-5. Variación temporal de concentración de $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para s-Habitacional II. ....	476
Figura 5-6. Gráfico de caja y bigotes (boxplot), de la variación estacional de $PM_{2.5}$ en s-Habitacional II (Las cajas y líneas representan el 25, 50 y 75% de los cuartiles; los símbolos representan la Media). ....	48
Figura 5-7.- Variación de $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II (Febrero-Abril 2015). ....	51
Figura 5-8 Variación espacial de $PM_{0.49}$ en los 5 sitios de muestreo. ....	521
Figura 5-9. Distribución de partículas en s-Habitacional II. ....	532
Figura 5-10. Variación espacial de Cobre durante la primavera de 2014. ....	587
Figura 5-11. Variación espacial de Níquel durante la primavera de 2014. ....	59
Figura 5-12. Variación espacial de Plomo durante la primavera de 2014. ....	610
Figura 5-13. Variación espacial de Zn durante la primavera de 2014. ....	632
Figura 5-14. Variación espacial de Al para la primavera del 2014. ....	665
Figura 5-15. Variación espacial de Bario durante la primavera de 2014. ....	687
Figura 5-16. Variación espacial de Cd en la primavera de 2014. ....	69
Figura 5-17. Variación espacial de Mn durante la primavera del 2014. ....	710
Figura 5-18. Variación de Cobre en s-Habitacional II durante la primavera de 2015. ....	765
Figura 5-19. Variación de Ni en s-Habitacional II durante la primavera de 2015. ....	787
Figura 5-21. Variación espacial de Se asociado a $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II.....	798
Figura 5-20. Variación de Pb en s-Habitacional II durante la primavera de 2015. ....	79

Figura 5-22. Variación de Zn en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.....	810
Figura 5-23. Variación de Al en s-Habitacional durante la primavera de 2015. ....	832
Figura 5-24. Variación de Ba en s-Habitacional durante la primavera de 2015. ....	843
Figura 5-25. Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación espacial de Ba durante la primavera de 2014. ....	854
Figura 5-26. Variación de Cd en s-Habitacional durante la primavera de 2015. ....	86
Figura 5-27. Variación de CO y CE asociado a PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional II. ....	876
Figura 5-28. Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM <sub>10</sub> en s-Comercial. ....	921
Figura 5-29. Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM <sub>10</sub> en s-Habitacional I. ....	932
Figura 5-30. Concentración de metales asociados a PM <sub>10</sub> durante el año 2013 en s-Habitacional I. ....	932
Figura 5-31. Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM <sub>10</sub> en s-Industrial. ....	943
Figura 5-32. Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM <sub>10</sub> en s-Tráfico vehicular. ....	943
Figura 5-33. Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM <sub>2,5</sub> en la primavera de 2014. ....	976
Figura 5-34. Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a PM <sub>0,49</sub> para el Grupo 1 *Muestreo realizado por Gutiérrez 2012-2013. ....	99
Figura 5-35. Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a PM <sub>0,49</sub> para el Grupo 2 *Muestreo realizado por Gutiérrez 2012-2013. ....	101
Figura 5-36. Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a PM <sub>0,49</sub> para el Grupo 3. ....	1010
Figura 5-37. Potencial oxidativo asociado a PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>0,49</sub> . ....	1043
Figura I-1. Equipo de Calibración (izquierda adaptador de platos, derecha calibrador). ....	117
Figura I-2. Calibrador y adaptador de platos colocados en el muestreador de alto volumen. ....	117
Figura I-3. Ejemplo de conexión de manómetro a calibrador. ....	119
Figura I-4. a) Calibrador con orificios abiertos b) Calibrador con orificios parcialmente cerrados. ....	120
Figura I-5. Diferencia de pulgadas de agua registradas durante la calibración. ....	121
Figura IV-1. Rosas de viento para el periodo otoño-invierno (2012-2013), verano 2012 y primavera 2013 (Gutiérrez, 2014). ....	132
Figura X-1. Distribución de partículas en s-Industrial. ....	141
Figura X-2. Distribución de partículas en s-Comercial. ....	141
Figura X-3. Distribución de partículas en s-Tráfico vehicular. ....	141
Figura X-4. Distribución de partículas en s-Habitacional I. ....	142
Figura XIV-1. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	147
Figura XIV-2. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	147
Figura XIV-3. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Al asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	148
Figura XIV-4. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cd asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	148
Figura XIV-5. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cu asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	149
Figura XIV-6. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Mn asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	149
Figura XIV-7. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Ni asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	150
Figura XIV-8. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Zn asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	150
Figura XIV-9. Prueba de Ryan-Joiner para In[Ba] asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	151
Figura XIV-10. Prueba de Ryan-Joiner para In[Pb] asociada a PM <sub>2,5</sub> en s-Comercial. ....	151
Figura XIV-11. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cu asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	152
Figura XIV-12. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Pb asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	152
Figura XIV-13. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Se asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	153
Figura XIV-14. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Zn asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	153
Figura XIV-15. Prueba de Ryan-Joiner para la In[Cd] asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	154
Figura XIV-16. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ba asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	154
Figura XIV-17. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociada a PM <sub>0,49</sub> en s-Comercial. ....	155
Figura XIV-18. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional I. ....	156
Figura XIV-19. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM <sub>0,49</sub> en s-Habitacional I. ....	156
Figura XIV-20. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional I. ....	157
Figura XIV-21. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Mn asociado a PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional I. ....	157
Figura XIV-22. Prueba de Ryan-Joiner para In[Ba] asociado a PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional I. ....	158
Figura XIV-23. Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Al asociado a PM <sub>2,5</sub> en s-Habitacional I. ....	158



Figura XIV-76. Prueba de Ryan-Joiner para $\ln[\text{Ni}]$ asociado a $\text{PM}_{0.49}$ en s- Habitacional II. ....	185
Figura XVII-1. Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación temporal de Zn en s-Habitacional II. ....	208
Figura XVII-2. Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación temporal de Cd en s-Habitacional II. ....	208

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Comparativo de Límites máximos permisibles establecidos por la OMS y la República Mexicana, con respecto a $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ (NOM-025 SSA1-2014; Organización Mundial de la Salud 2014).....	7
Tabla 1-2. Inventario de Emisiones de PM 2005, en la ZMT. ....	8
Tabla 1-3. Concentración de metales asociadas a $PM_{10}$ en la Ciudad de Tijuana de Marzo 2012-Abril- 2013 (Gutiérrez, 2014). ....	13
Tabla 1-4. Resultados de análisis cualitativo (HAP's, O-HAP's) asociado a filtros de $PM_{2.5}$ , en los sitios CECYTE, UABC, LCA-SPA (Correll, 2015). ....	19
Tabla 2-1. Descripción de sitios de muestreo. ....	29
Tabla 3-1. Sitios y periodos de muestreo por fracción de material particulado. ....	33
Tabla 3-2. Puntos de corte por etapa para un flujo de 40 CFM.....	34
Tabla 5-1. Concentración (Media) de $PM_{2.5}$ en distintas partes del mundo. ....	5049
Tabla 5-2. Relación de metales identificados y no identificados en los sitios de muestreo. ....	554
Tabla 5-3. Factores de Enriquecimiento asociado a $PM_{2.5}$ en los 5 sitios de muestreo para la primavera del 2014. ....	565
Tabla 5-4. Tabla comparativa de metales asociados a $PM_{2.5}$ .....	732
Tabla 5-5. Factores de Enriquecimiento asociado a $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II para la primavera del 2015. ....	743
Tabla 5-6. Factores de Enriquecimiento asociado a $PM_{0.49}$ reportados por Gutiérrez (2014).....	754
Tabla 5-7. Comparativa de concentración de CO y CE asociado a $PM_{2.5}$ en distintas partes del mundo.....	887
Tabla 5-8. Proporciones de CO/CE asociadas a $PM_{2.5}$ en s-Habitacional II.....	898
Tabla 5-9. Coeficientes de correlación de Sperman entre el potencial oxidativo y el contenido de metales en muestras de $PM_{10}$ . ....	96
Tabla 5-10. Coeficientes de correlación de Sperman entre potencial oxidativo y contenido de metales en muestras de $PM_{0.49}$ . ....	98
Tabla 5-11. Coeficientes de correlación de Sperman entre el potencial oxidativo y el contenido de metales en muestras de $PM_{0.49}$ . ....	1032
Tabla 5-12. Comparativo del consumo de DTT en distintas partes del mundo. ....	1054
Tabla IV-1. Descripción de condiciones meteorológicas durante 2012-2013. ....	131
Tabla VI-1. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Comercial. ....	134
Tabla VI-2. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Habitacional I.....	135
Tabla VI-3. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Industrial. ....	135
Tabla VI-4. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Tráfico vehicular.....	136
Tabla VIII-1. Concentración de metales y $PM_{0.49}$ durante 2012-2013 asociado a s-Comercial. ....	138
Tabla VIII-2. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Habitacional I. ....	138
Tabla VIII-3. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Industrial. ....	139
Tabla VIII-4. Concentración de metales y $PM_{10}$ durante 2012-2013 asociado a s-Tráfico vehicular. ....	139
Tabla IX-1 Concentración de PM muestreada mediante un impactador de cascada durante la primavera de 2015 en s-Habitacional II. ....	140
Tabla XI-1. Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Habitacional II.....	143
Tabla XII-1. Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Comercial. ....	144
Tabla XII-2. Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Habitacional I.....	144
Tabla XII-3. Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Industrial.....	144
Tabla XII-4. Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Tráfico vehicular.....	144
Tabla XII-5. Concentración de metales y $PM_{2.5}$ durante 2014 en el s-Habitacional II. ....	145
Tabla XIII-1. Concentración de CO, CE y CT ( $\mu g/m^3$ ) asociado a $PM_{2.5}$ en s-Habitacional II.....	146
Tabla XVI-1. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a $PM_{2.5}$ en s-Comercial.....	186
Tabla XVI-2. Prueba de Grubbs para la Concentración de Pb asociado a $PM_{2.5}$ en s-Comercial.....	186
Tabla XVI-3. Prueba de Grubbs para la Concentración de Cr asociado a $PM_{2.5}$ en s-Comercial. ....	187
Tabla XVI-4. Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a $PM_{2.5}$ en s-Comercial.....	187

Tabla XVI-5. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a $PM_{2.5}$ en s-Habitacional I. ....	188
Tabla XVI-6. Prueba de Grubbs para la Concentración de Cu asociado a $PM_{2.5}$ en s-Habitacional I. ....	188
Tabla XVI-7. Prueba de Grubbs para la Concentración de Cu asociado a $PM_{2.5}$ en s-Tráfico vehicular. ....	189
Tabla XVI-8. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a $PM_{2.5}$ en s-Tráfico vehicular. ....	189
Tabla XVI-9. Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a $PM_{2.5}$ en s-Tráfico vehicular. ....	190
Tabla XVI-10. Prueba de Grubbs para la Concentración de Pb asociado a $PM_{0.49}$ en s-Industrial. ....	190
Tabla XVI-11. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ni asociado a $PM_{0.49}$ en s-Industrial. ....	191
Tabla XVI-12. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a $PM_{0.49}$ en s-Industrial. ....	191
Tabla XVI-13. Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a $PM_{2.5}$ en s-Industrial. ....	192
Tabla XVI-14. Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a $PM_{2.5}$ en s-Industrial. ....	192
Tabla XVI-15. Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a $PM_{2.5}$ en s-Habitacional II. ....	193
Tabla XVI-16. Prueba de Grubbs para la Concentración de Mo asociado a $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II. ....	194
Tabla XVII-1. Concentración media y desviación estándar asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	195
Tabla XVII-2. Resultados de Prueba de varianzas para la concentración de $PM_{2.5}$ . ....	195
Tabla XVII-3. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración de $PM_{2.5}$ . ....	195
Tabla XVII-4. Concentración media y desviación estándar asociada a $PM_{0.49}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	195
Tabla XVII-5. Resultados de Prueba de varianzas para la concentración de $PM_{0.49}$ . ....	196
Tabla XVII-6. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración de $PM_{0.49}$ . ....	196
Tabla XVII-7. Concentración media y desviación estándar de Cu asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	196
Tabla XVII-8. Resultados de Prueba de varianzas para Cu asociado a $PM_{2.5}$ . ....	196
Tabla XVII-9. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cu asociado a $PM_{2.5}$ . ....	197
Tabla XVII-10. Concentración media y desviación estándar de Ni asociado a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	197
Tabla XVII-11. Resultados de Prueba de varianzas para Ni asociado a $PM_{2.5}$ . ....	197
Tabla XVII-12. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ni asociado a $PM_{2.5}$ . ....	197
Tabla XVII-13. Concentración media y desviación estándar de Pb asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	198
Tabla XVII-14. Resultados de Prueba de varianzas para Pb asociado a $PM_{2.5}$ . ....	198
Tabla XVII-15. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Pb asociado a $PM_{2.5}$ . ....	198
Tabla XVII-16. Concentración media y desviación estándar de Zn asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	198
Tabla XVII-17. Resultados de Prueba de varianzas para Zn asociado a $PM_{2.5}$ . ....	198
Tabla XVII-18. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Zn asociado a $PM_{2.5}$ . ....	199
Tabla XVII-19. Concentración media y desviación estándar de Al asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	199
Tabla XVII-20. Resultados de Prueba de varianzas para Al asociado a $PM_{2.5}$ . ....	199
Tabla XVII-21. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Al asociado a $PM_{2.5}$ . ....	199
Tabla XVII-22. Concentración media y desviación estándar de Ba asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	200
Tabla XVII-23. Resultados de Prueba de varianzas para Ba asociado a $PM_{2.5}$ . ....	200
Tabla XVII-24. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ba asociado a $PM_{2.5}$ . ....	200
Tabla XVII-25. Concentración media y desviación estándar de Cd asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	200
Tabla XVII-26. Resultados de Prueba de varianzas para Cd asociado a $PM_{2.5}$ . ....	200
Tabla XVII-27. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cd asociado a $PM_{2.5}$ . ....	201
Tabla XVII-28. Concentración media y desviación estándar de Mn asociada a $PM_{2.5}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	201
Tabla XVII-29. Resultados de Prueba de varianzas para Mn asociado a $PM_{2.5}$ . ....	201
Tabla XVII-30. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Mn asociado a $PM_{2.5}$ . ....	201
Tabla XVII-31. Concentración media y desviación estándar de Cu asociada a $PM_{0.49}$ en los cinco distintos de muestreo. ....	201

Tabla XVII-32. Resultados de Prueba de varianzas para Cu asociado a $PM_{0,49}$ .	202
Tabla XVII-33. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cu asociado a $PM_{0,49}$ .	202
Tabla XVII-34. Concentración media y desviación estándar de Ni asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	202
Tabla XVII-35. Resultados de Prueba de varianzas para Ni asociado a $PM_{0,49}$ .	202
Tabla XVII-36. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ni asociado a $PM_{0,49}$ .	203
Tabla XVII-37. Concentración media y desviación estándar de Se asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	203
Tabla XVII-38. Resultados de Prueba de varianzas para Se asociado a $PM_{0,49}$ .	203
Tabla XVII-39. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Se asociado a $PM_{0,49}$ .	203
Tabla XVII-40. Concentración media y desviación estándar de Pb asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	204
Tabla XVII-41. Resultados de Prueba de varianzas para Pb asociado a $PM_{0,49}$ .	204
Tabla XVII-42. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Pb asociado a $PM_{0,49}$ .	204
Tabla XVII-43. Concentración media y desviación estándar de Zn asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	204
Tabla XVII-44. Resultados de Prueba de varianzas para Zn asociado a $PM_{0,49}$ .	204
Tabla XVII-45. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Zn asociado a $PM_{0,49}$ .	205
Tabla XVII-46. Concentración media y desviación estándar de Cd asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	205
Tabla XVII-47. Resultados de Prueba de varianzas para Cd asociado a $PM_{0,49}$ .	205
Tabla XVII-48. Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cd asociado a $PM_{0,49}$ .	205
Tabla XVII-49. Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a $PM_{10}$ en los cuatro distintos de muestreo.	206
Tabla XVII-50. Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a $PM_{10}$ .	206
Tabla XVII-51. Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a $PM_{10}$ .	206
Tabla XVII-52. Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a $PM_{2,5}$ en los cinco distintos de muestreo.	206
Tabla XVII-53. Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a $PM_{2,5}$ .	206
Tabla XVII-54. Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a $PM_{2,5}$ .	207
Tabla XVII-55. Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a $PM_{0,49}$ en los cinco distintos de muestreo.	207
Tabla XVII-56. Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a $PM_{0,49}$ .	207
Tabla XVII-57. Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a $PM_{0,49}$ .	207

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire, constituye un grave problema de salud medioambiental que afecta a los países desarrollados y en desarrollo por igual (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Las ciudades ubicadas dentro de la frontera de EU-México se encuentran en una región compleja debido al transporte de contaminantes en ambas direcciones de esta, lo cual hace imposible establecer un macro régimen que capture todos los elementos que la componen (Molina Center for Energy and the Environment, 2010).

La ciudad de Tijuana, al igual que otras ciudades fronterizas con los EEUU, presenta un crecimiento acelerado del 7% anual que a su vez representa una relación directa con el incremento del parque vehicular e industria, viéndose así afectada la calidad de aire (INEGI, 2005).

El parque vehicular es una de las principales fuentes de emisión de contaminantes que consisten en gases y partículas, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), carbono negro (BC) y material particulado (PM) (Castillo, 2014).

Según el Programa Pro-Aire 2012-2021 de la Zona Metropolitana de Tijuana (ZMT), la generación de material particulado  $\leq 10 \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>) y material particulado  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico (PM<sub>2.5</sub>) es de 6, 233,600 kg/año y 5, 071,200 kg/año, respectivamente (Gobierno del Estado de Baja California, 2012).

Estudios recientes han reportado una asociación entre la exposición de PM y una alta variedad de efectos epidemiológicos, incluyendo enfermedades cardiovasculares, respiratorias, arritmias, derrame cerebral, trombosis, así como la disminución del tiempo de vida e incremento de la mortalidad de la población (Haberzettl et al., 2012; Keeve E. Nachman et al., 2012; Neal Fann et al., 2013).

Actualmente se realizan esfuerzos aislados para determinar el impacto del PM en el medio ambiente y en la salud. Sin embargo es necesario impulsar investigaciones que relacionen los niveles de PM con su impacto en la salud (Gobierno del estado de Baja California, 2012).

Una manera de evaluar el impacto en la salud asociado a PM es mediante la cuantificación del potencial oxidativo (generación de especies reactivas oxigenadas), relacionado directamente con daño y muerte celular.

Para abordar la problemática anterior se propone como hipótesis que el aire urbano de la Ciudad de Tijuana podría presentar una variación espacio-temporal del potencial oxidativo asociado a metales traza unidos a PM.

Como objetivo general se plantea evaluar la variación espacio temporal del potencial oxidativo de PM en la Ciudad de Tijuana. De igual manera, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el potencial oxidativo del material particulado grueso o  $PM_{10}$ , fino o  $PM_{2.5}$  y cuasiultrafino o partículas con diámetros  $\leq 0.49$  micrómetros de diámetro aerodinámico ( $PM_{0.49}$ ).
- Determinar la relación entre la concentración de metales traza y la variación de potencial oxidativo.
- Identificar las áreas urbanas más afectadas y las posibles fuentes.
- Difundir los resultados de la investigación.

Asimismo se proponen las siguientes metas:

- Contar con una base de datos de concentración de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{0.49}$  y metales traza, del periodo 2012-2014,
- Contar con una Tesis que documente la variación estacional del potencial oxidativo asociado a  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$  para su correspondiente defensa de obtención de Maestría en Ciencias.
- Presentar un reporte final a las estancias participantes y divulgar los resultados en congresos internacionales.
- Publicar los resultados obtenidos de la investigación en una revista arbitrada.

El presente proyecto permitirá conocer y comparar la toxicidad relacionada a PM, lo cual será fundamental para establecer el riesgo ambiental y de salud pública en la ciudad de Tijuana, e identificar las posibles fuentes. Además permitirá la generación de conocimiento científico y tecnológico en materia de calidad de aire, brindando información para la toma de decisiones relacionadas al diseño e implementación de programas de mejora de calidad de aire.

# **CAPÍTULO II**

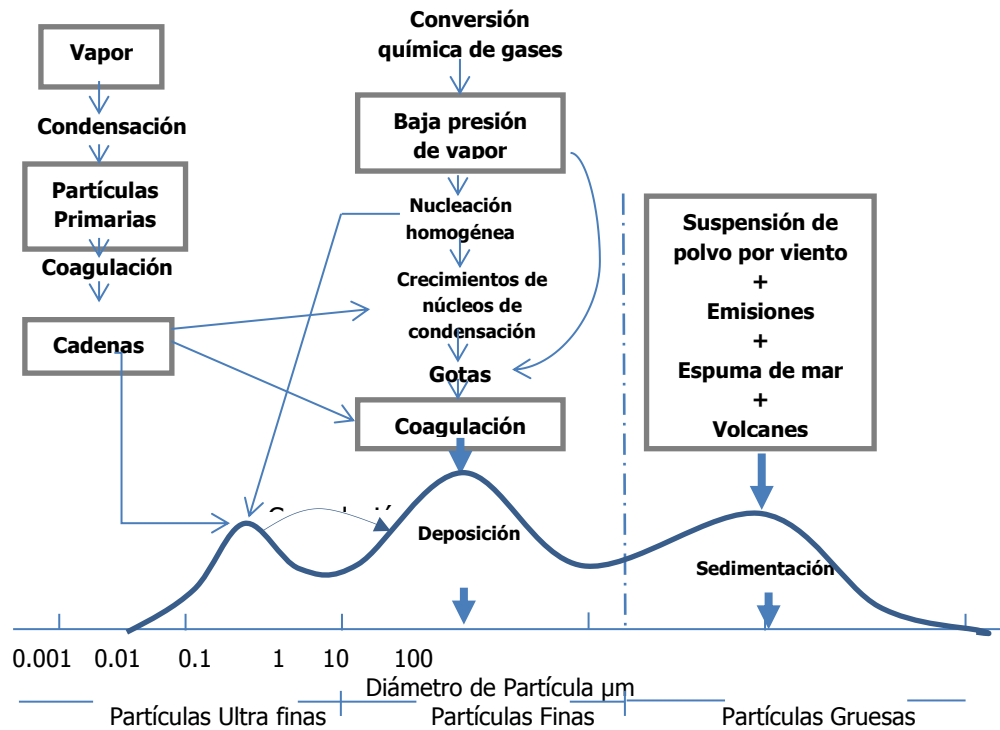
## **ANTECEDENTES**

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1.-Material Particulado

Las grandes ciudades son importantes fuentes de emisión de contaminantes en el aire, las cuales presentan un aumento en sus niveles en vez de disminuirlos. Estas emisiones se caracterizan por estar conformadas por gases y partículas tales como bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ),  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , material particulado  $\leq 0.1 \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico o partículas ultrafinas ( $\text{PM}_{0.1}$ ) entre otros (OMS, 2011).

El material particulado (PM) puede consistir de una sola asociación de diversas moléculas gaseosas, sólidas o líquidas, formadas por fuerzas adhesivas, de tal manera que se comportan como una única suspensión. Existen diferentes procesos de formación, dependiendo del diámetro aerodinámico de la partícula, representados en la Figura 2-1.



**Figura 2-1.** Esquemática idealizada de la distribución del diámetro de las partículas, tipos, fuentes y mecanismos de formación-eliminación de un aerosol atmosférico (Seinfeld, 2006).

El PM está formado de mezclas de componentes naturales y antropogénicos tales como: benceno, tolueno, sulfatos, nitratos, amonio, metales pesados, ácido nítrico, ácido sulfúrico, Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA's), bioaerosoles, partículas vegetales, polvos, cenizas y sales como NaCl (Gobierno del Estado de Baja California, 2011).

En el caso de la fracción del material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ), este se encuentra constituido por:

- Contaminantes primarios: Carbono Orgánico (OC), Carbono Elemental (EC), polvo, sales marinas, bioaerosoles y cenizas.
- Contaminantes secundarios: sulfatos, nitratos, amonio y Aerosoles Orgánicos Secundarios (SOA) que se forma a través de reacciones en fase gaseosa.

## 2.2 Legislación ambiental

México cuenta con normatividad vigente donde se estipula los límites máximos permisibles para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  (Tabla 2-1). La concentración  $PM_{10}$ , no deben rebasar el límite permisible de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio 24 horas una vez al año y  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en una media aritmética anual. En el caso de  $PM_{2.5}$  no deben rebasar el límite permisible de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio 24 horas una vez al año y  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en una media aritmética anual para protección a la salud de la población susceptible (NOM-025-SSA1-2014; Organización Mundial de la Salud, 2014).

**Tabla 2-1.** Comparativo de Límites máximos permisibles establecidos por la OMS y la República Mexicana, con respecto a  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  (NOM-025 SSA1-2014; Organización Mundial de la Salud 2014).

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>OMS</b>	<b>NOM-025-SSA-2014</b>
<b><math>PM_{2.5}</math></b>	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual	$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual
	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas
<b><math>PM_{10}</math></b>	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual
	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas	$75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas

Sin embargo en este momento no se cuenta con límites máximos permisibles para la fracción ultrafina o  $PM_{0.1}$ . Esta fracción debido a su menor diámetro aerodinámico cuenta con mayor área superficial, conteniendo un número elevado de componentes adheridos a su superficie.

### 2.3.- Material particulado en la región Tijuana- San Diego

Las intensas actividades antropogénicas de la región fronteriza, junto con la presencia de importantes fuentes biogénicas y geológicas, contribuyen significativamente a los altos niveles de PM, NO<sub>x</sub>, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), compuestos tóxicos y Ozono (O<sub>3</sub>) (INE et al. 2010).

En la Tabla 2-2 se muestra los niveles de emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> estimados durante los años 2005-2010, por tipo de fuente contaminante en la ZMT, se observa que las fuentes de área son el mayor contribuyente con un 74% PM<sub>10</sub>, 75% PM<sub>2.5</sub>. Es importante mencionar que en estas fuentes están incluidos los incendios forestales, cuya contribución en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> es del 70% y 60% respectivamente (Gobierno del Estado de Baja California, 2012).

**Tabla 2-2.** Inventario de Emisiones de PM 2005, en la ZMT.

FUENTE	MEGA GRAMOS/AÑO	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
<b>Fuentes fijas</b>	1,066.8	927.4
<b>Fuentes móviles</b>	537.9	364.3
<b>Fuentes de área</b>	4,628.8	3,779.4
<b>Fuentes naturales</b>	NE	NE
<b>TOTAL</b>	6,233.6	5,071.2

NE= No estimado, Fuentes móviles=fuentes móviles que circulan por carreteras +fuentes móviles que no circulan por carreteras

FUENTE: Pro Aire 2012-2020

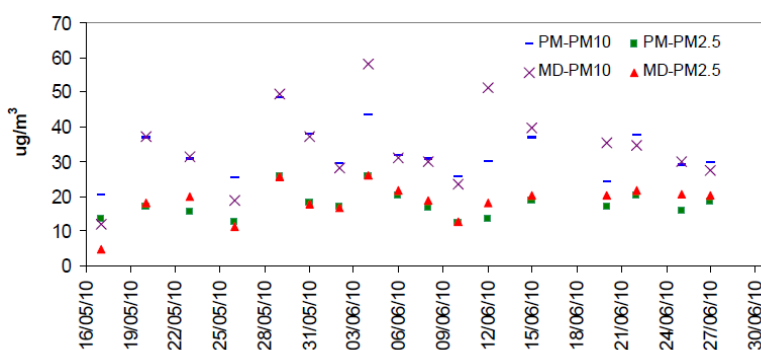
En el periodo comprendido del 15 de mayo al 30 junio del año 2010, se desarrolló la campaña Cal-Mex 2010 en la cual se plateó como objetivo analizar en comportamientos de los contaminantes a lo largo de la franja fronteriza.

En el marco de la campaña Cal-Mex 2010 se determinó el comportamiento para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en los sitios de muestreo ubicados en Parque Morelos (PM) y Metales y Derivados (MD).

En la Figura 2-2 se muestran valores promedio para  $PM_{10}$  en el sitio PM y MD de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Ambos sitios muestras promedios de  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2.5}$ .

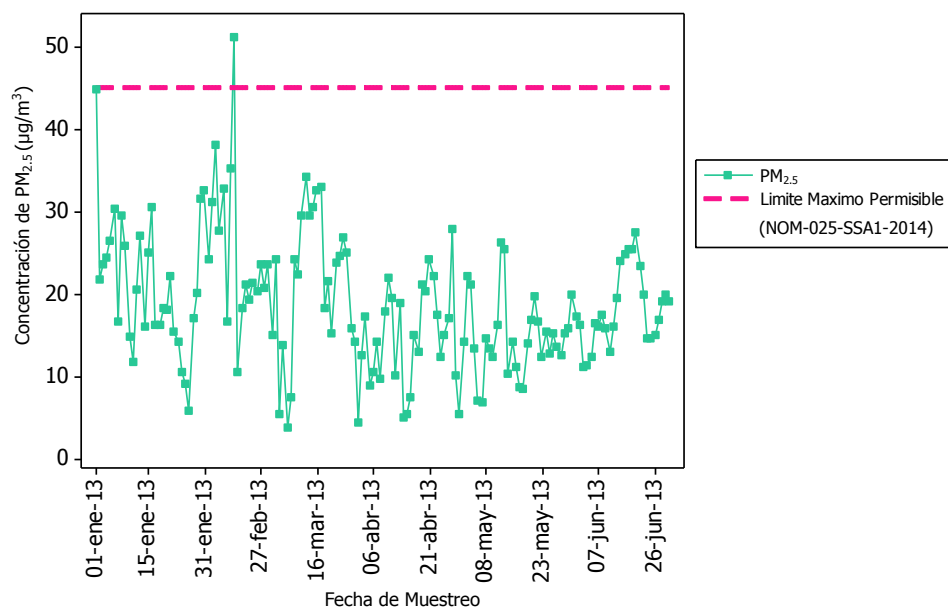
Sin embargo el nivel promedio de partículas no excede los límites señalados por la normatividad correspondiente (NOM-025-SSA1-2014).

En el Sitio MD se encontraron mayores concentraciones en comparación con PM. Cabe mencionar que el sitio MD se ubica en donde actualmente se encuentra el Laboratorio de Calidad del Aire de la Secretaria de Protección al Ambiente del Estado de Baja California (s-Industrial).



**Figura 2-2.** Distribución de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  presentes en las estaciones MD y PM. Periodo de Muestreo 2 meses, 18 muestras (MCE2 et al., 2010).

La Figura 2-3 muestra los promedios diarios de  $PM_{2.5}$  para el sitio Industrial durante 2013 con una concentración promedio de  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo se muestran dos días durante el periodo de seis meses donde se observa el incumplimiento de la normatividad.



**Figura 2-3.** Promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> 2013 en el zona de Muestreo sitio Industrial (SPA, 2013).

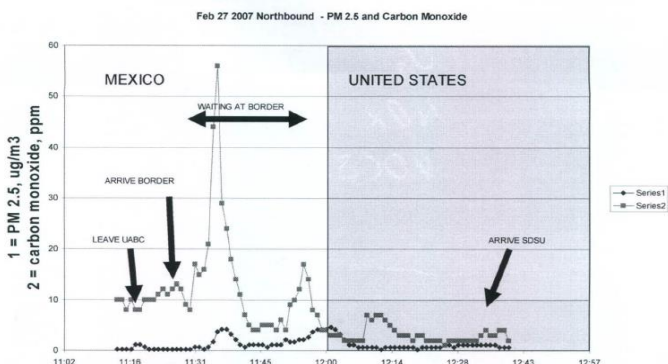
Es importante señalar que el sitio Industrial se encuentra en una zona con uso de suelo industrial, por lo cual la composición del material particulado presenta diversidad de características y compuestos que podrían potenciar el efecto toxicológico de este contaminante.

Por otra parte la Ciudad de Tijuana cuenta con 2 cruces fronterizos en los cuales la población que las transita se encuentra expuesta a los contaminantes emitidos por los vehículos, por ejemplo en San Ysidro cruzan aproximadamente 8, 454,391 peatones al año (Quintana et al, 2012).

En la Figura 2-4 se muestran los resultados obtenidos del día 27 de Febrero de 2007, investigación relacionada a la exposición de contaminantes dentro de los vehículos durante el cruce fronterizo de Tijuana- San Isidro en el periodo comprendido de los años en 2006-2008.

Se observa que los niveles de material particulado PM<sub>2.5</sub> dentro de los vehículos en el cruce fronterizo sobrepasan los 45 µg/m<sup>3</sup> durante el tiempo de espera, en estos sitios el tiempo de espera puede ser variado, por lo cual el tiempo de exposición a concentraciones elevadas puede ser un factor determinante en la salud (Quintana et al, 2012).

A su vez se presentan concentraciones mayores en el territorio Mexicano con respecto a Estados Unidos, sin embargo los niveles de  $PM_{2.5}$  en territorio mexicano son mayores en zonas de tráfico vehicular respecto a la zona de cruce fronterizo (Gutierrez, 2014).



**Figura 2-4.** Perfil de contaminantes Monóxido de carbono y  $PM_{2.5}$  dentro del auto durante el cruce fronterizo México-Estados Unidos.

Investigaciones han determinado un patrón creciente de concentración de  $PM_{2.5}$  desde la costa hacia el sureste de la cuenca atmosférica, debido a la dirección del viento predominante de la Ciudad.

Estudios de evaluación simultánea en ambos lados de la frontera de  $PM_{2.5}$  en la Campaña Cal-Mex 2010 mostraron que las concentraciones promedio por hora fueron 1.6 veces más grandes en Tijuana con respecto a San Ysidro, CA. En este mismo estudio se reportaron valores mayores de la concentración promedio por hora de  $PM_{2.5}$  en la zona este de la ciudad de Tijuana, lo cual es consistente con la dirección predominante del viento observado durante la campaña. Así mismo la evaluación de  $PM_{0.1}$  en Cal-Mex 2010 mostro un patrón similar al de  $PM_{2.5}$ , con una concentración promedio por hora 1.7 veces mayor en Tijuana con respecto a San Ysidro (Castillo, 2014).

## 2.4.-Metales

Durante la campaña Cal-Mex 2010 se observó en el sitio Industrial concentraciones de Pb de 255ng/m<sup>3</sup> y 286 ng/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> respectivamente. Otros metales medidos en el mismo sitio con altas concentraciones son As, Cd y Ti con valores de 0.8 ng/m<sup>3</sup>, 1.3ng/m<sup>3</sup> 0.2 ng/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> y 0.6 ng/m<sup>3</sup>, 1.3 ng/m<sup>3</sup>, 0.01 ng/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub> (Minguillón et al, 2014).

En el sitio PM se observaron solamente concentraciones elevadas de As, Cd, 0.3 ng/m<sup>3</sup> 0.2 ng/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub> y 0.2 ng/m<sup>3</sup>, 0.2 ng/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub> respectivamente (Minguillón et al, 2014).

Durante los años 2012-2013 se llevó a cabo una campaña de muestreo la cual proporciono información sobre la concentración de metales en PM<sub>10</sub> en la Ciudad de Tijuana, dicha campaña contó 4 puntos de muestreo con distintas características ITT (Zona habitacional I), La Mesa (Zona de tráfico vehicular), COLEF (Zona comercial), y Laboratorio (Zona industrial).

En la Tabla 2-3 se observa que el sitio Industrial muestra promedios mayores con respecto a otros sitios Las concentraciones de Pb en este sitio presentaron una media de 327 ng/m<sup>3</sup>. Los metales con mayor concentración en s-Habitacional I son Zn, Cu, Pb; sitio de tráfico vehicular Zn, Ba, Cu, sitio comercial Zn, Ba, Cu, Pb; sitio industrial Pb, Zn, Ba, Cu. La concentración de cada metal varía en cada sitio dependiendo del tipo de fuente localizada en el área.

**Tabla 2-3.** Concentración de metales asociadas a PM<sub>10</sub> en la Ciudad de Tijuana de Marzo 2012-Abril- 2013 (Gutiérrez, 2014).

Sitio	Parámetro	As (ng/m <sup>3</sup> )	Se (ng/m <sup>3</sup> )	Cu (ng/m <sup>3</sup> )	Pb (ng/m <sup>3</sup> )	Zn (ng/m <sup>3</sup> )	Ba (ng/m <sup>3</sup> )	Ni (ng/m <sup>3</sup> )	Cr (ng/m <sup>3</sup> )	Co (ng/m <sup>3</sup> )
Habitacional I	Med ± DS	1.9± 1.0	2.8 ± 3.5	27.6± 18.2	12.4± 41.3	46.2± 22.2	2.1± 16.3	1.6± 2.2	3.0± 1.7	0.5± 0.2
	Max-Min	3.3-0.1	11.4-0.2	85.4-1.9	136.9-0.2	110.4-15.2	70.5-6.0	9.7-0.2	5.6-0.01	1.0-0.3
Tráfico Vehicular	Med ± DS	0.9± 1.8	2.5± 2.0	24.1± 12.4	10.7± 10.9	55.9± 31.1	34.1± 26.8	1.9± 0.9	4.1± 1.7	0.6± 0.2
	Max-Min	5.8-0.02	8.6-0.8	53.6-9.0	36.2-0.04	122.8-21.0	103.5-1.3	4.1-0.9	7.7-0.7	0.9-0.02
Comercial	Med ± DS	1.9± 1.5	2.5± 3.2	32.3± 18.3	12.2± 28.4	51.1± 35.4	33.0± 43.7	2.0± 3.2	3.6± 2.4	0.6± 0.2
	Max-Min	4.9-0.05	10.9-1.0	78.0-13.9	102.2-1.0	147.0-19.6	166.9-1.8	13.4-0.3	9.0-0.4	1.0-0.3
Industrial	Med ± DS	2.3± 5.8	4.1± 2.8	35.0± 20.8	327.4± 228.0	97.1± 39.1	40.5± 24.0	7.6± 9.2	4.2± 3.5	0.5± 0.3
	Max-Min	21.9-0.1	9.6-0.1	103.7-12.5	9773.9-9.8	206.3-46.8	98.4-4.2	30.9-1.0	13.5-0.4	1.2-0.1

Esta información recalca la importancia de analizar las características fisicoquímicas del material particulado y su efecto en la toxicidad de PM.

## 2.5 Especies carbonáceas

Las partículas carbonáceas de tipo primario son producto de procesos de combustión de hidrocarburos, quema de biomasa y fuentes orgánicas tales como las partículas biológicas, fragmentos de plantas, humus, entre otros. Las de tipo secundario pertenecen al grupo de los aerosoles conocidos como Aerosoles Orgánicos Secundarios (SOA por sus siglas en inglés).

Las especies carbonáceas se presentan en tres formas: Carbono Orgánico (CO), Carbono Elemental (CE) y Carbonato (es ignorado por sus mínimos valores), de las cuales las dos primeras constituyen entre el 70 y el 10% del material particulado. La sumatoria de estas tres especies es denominada Carbono Total (CT) (Fujita et al., 2007; Kupiainen & Klimont, 2007).

El CO representa una gran variedad de compuestos orgánicos formados por variados procesos, incluyendo combustión y formación Carbón Orgánico Secundario (SOC, por sus siglas en inglés), el cual se origina en mayor cantidad en presencia de precursores gaseosos (compuestos alifáticos o policíclicos) y altas temperaturas. Las fuentes del CO son los combustibles fósiles, la vegetación, los residuos de aceites y petróleo y la combustión de combustibles, sobre todo de motores a diésel (Lee et al., 2007).

El CE es en realidad una mezcla de partículas de grafito y materia orgánica. Además, la superficie de las partículas de CE contiene numerosos sitios de adsorción que son capaces de mejorar los procesos catalíticos. Como resultado de sus propiedades catalíticas, EC puede intervenir en algunas reacciones químicas importantes que implican el dióxido de azufre atmosférico (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y otros compuestos gaseosos (Gundel et al., 1989).

Las especies carbonosas en partículas también juegan un papel importante en el cambio climático global (Jacobson, 2001). Un ejemplo de esto se presenta en las partículas de Carbono Negro (BC, por sus siglas en inglés), las cuales presentan un potencial de calentamiento global (GWP) de 3,200 sobre una base de 100 años con respecto a la del

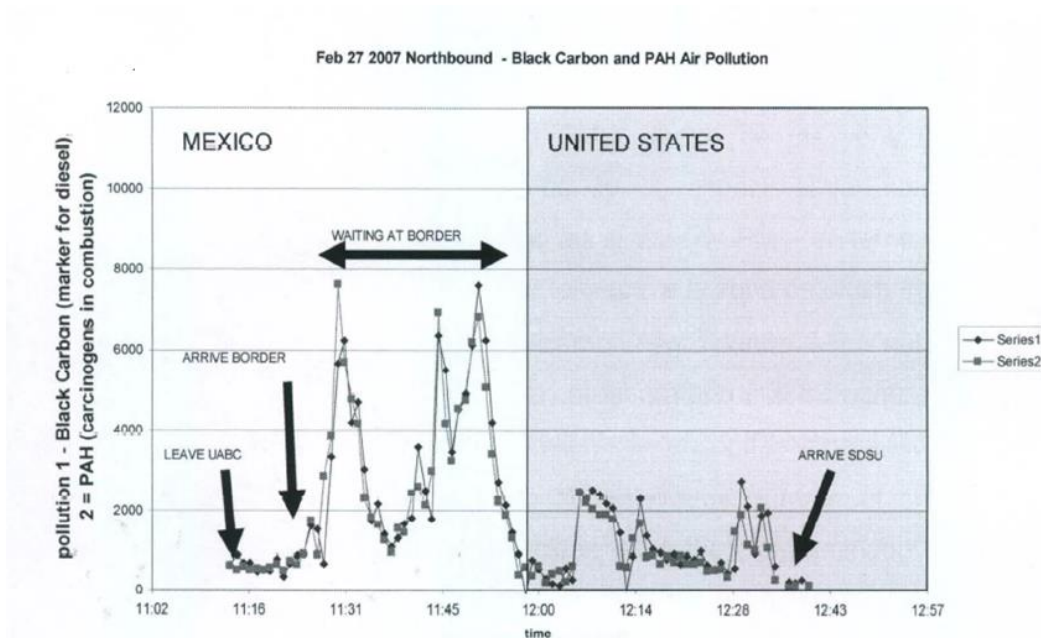
CO<sub>2</sub> (Bond, et al., 2013) y su forzamiento radiactivo se estima en 0.9 W/m<sup>2</sup> (rango de +0.4 a +1.2 W/m<sup>2</sup>) justo por debajo del CO<sub>2</sub> (Ramanathan & Carmichael, 2008).

## 2.6.-Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA's)

Los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA's) constituyen una fuente importante de contaminación en la atmósfera, la principal fuente la constituyen las emisiones de fuentes móviles, como los automóviles y vehículos pesados.

Como fuentes adicionales se encuentran las originadas a través de diferentes procesos como emisiones antropogénicas provocadas productos del carbón, diésel, alquitranes, los cremadores industriales, etc. Las emisiones de automóviles constituyen la fuente principal de contaminación de los HAP's en la atmósfera (Zavala, et al., 2013).

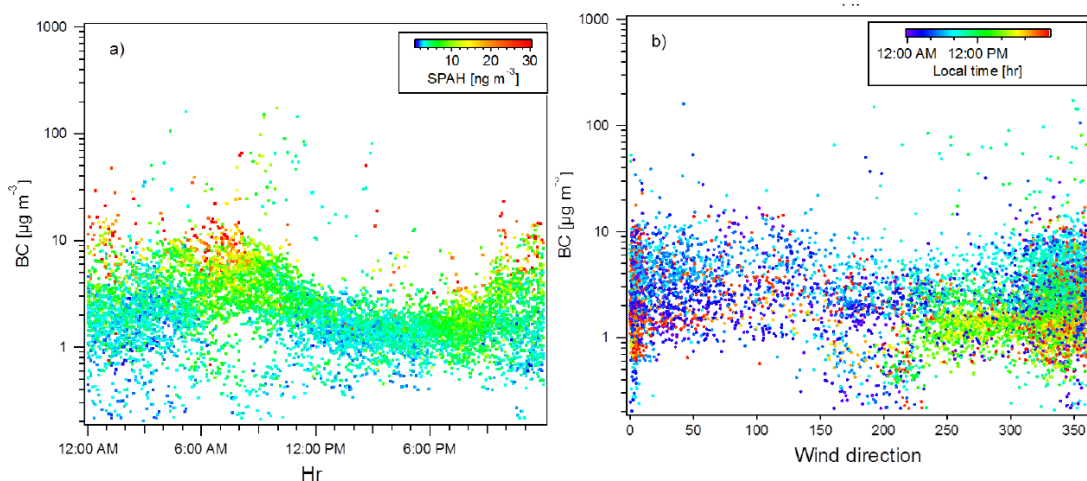
En la Figura 2-5 se muestra los niveles de Carbono Negro y HPA's durante la espera en el cruce fronterizo Tijuana-San Diego, podemos observar que los valores durante el tiempo de espera son alrededor del 2.5 veces mayores en Tijuana con respecto a San Diego.



**Figura 2-5.** Perfil de contaminantes dentro del auto durante el cruce fronterizo México-Estado Unidos de carbón Negro e Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos.

Estos compuestos están presentes como vapores o se encuentran adheridos a las superficies de pequeñas partículas sólidas. Los HPA's pueden viajar largas distancias antes de regresar a la tierra por deposición húmeda o seca.

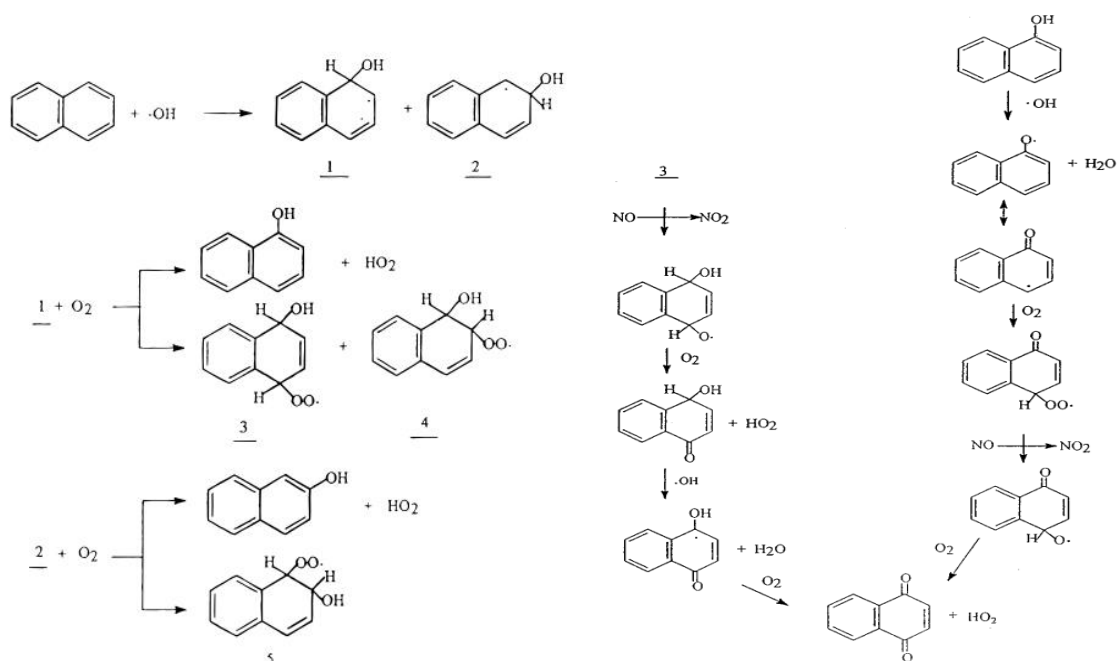
La Figura 2-6 muestra que las concentraciones altas de BC están asociadas con altas concentraciones de HPA's a lo largo del día. Se observa en el sitio CECYTE altas concentraciones de BC y HPA's a menudo entre las 0:00 a 4:00 horas, esta información sugiere que las fuentes de combustión nocturnas pueden ser fuentes importantes de estos contaminantes y otros productos de combustión incompleta.



**Figura 2-6.** a) Concentración de BC contra tiempo durante toda la campaña en Cecyte (s-Habitacional II); b) Concentraciones de BC contra dirección del viento con diferentes colores en cada hora del día (Zavala et al., 2013).

## 2.6.1.-Quinonas

Se sabe que la foto-oxidación de HPA's genera especies oxigenadas (O-HPA's), como lo son las quinonas las cuales contienen dos grupos carbonilo y un anillo conjugado. La Figura 2-7 muestra el mecanismo de fotoxidación de naftaleno a 1,4-naftoquinona.



**Figura 2-7.** Mecanismo de fotoxidación de Naftoquinona.

Recientemente se ha reportado que los O-HPA's presentan mayor toxicidad que sus precursores (HPA's), debido a que no requieren activación enzimática, siendo capaces de producir mutaciones y efectos cancerígenos (Pedersen et al., 2004; Walgraeve, et al., 2010 ).

En el análisis de muestras de  $\text{PM}_{2.5}$  colectadas en los sitios CECYTE (s-Habitacional II), UABC, LCA-SPA (s-Industrial) se detectó la presencia de diversos HPA's y O-HPA's especificadas en la Tabla 2-4 Los muestreos se realizaron en el sitio Laboratorio de Calidad de Aire (catalogado como zona industrial) y en la Universidad Autónoma de Baja California (catalogado como zona de tráfico vehicular) (Correll, 2015).

**Tabla 2-4.** Resultados de análisis cualitativo (HAP's, O-HAP's) asociado a filtros de PM<sub>2.5</sub>, en los sitios CECYTE, UABC, LCA-SPA (Correll, 2015).

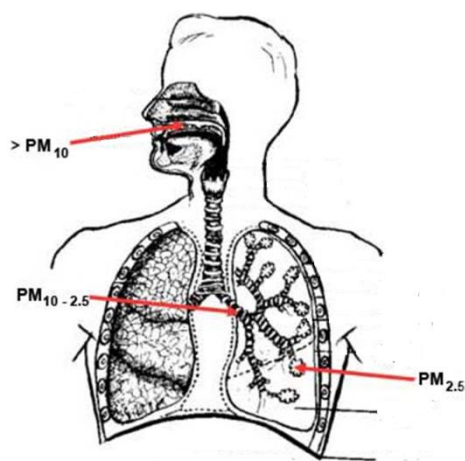
HPA's	O-HPA's
Benzo[k]fluoranteno	1(2H)-Acenaphthylene
Benzo[ghi]fluoranteno	11H-Benzo[a]fluoren-11-one
Benzo[ghi]perileno	9,10-Anthracenedione
Pireno	9,10-Anthracenedione,2,7-imethyl
Bez[a]antraceno	9,10-Anthracenedione, 2-methyl
Benzo[e]acefenantileno	6H-Benz[de]anthracen-6-one
	Methyl dehydroabietate
	1-Phenanthrenecarboxylicacid, 1,2,3,4,4a,9,10,10a-octahydro-1,4a- dimethyl-, methyl ester, [1S- (1à,4aà,10aá)]

## 2.7.- Toxicidad

Diversos estudios epidemiológicos muestran claramente la relación entre la exposición e inhalación de material particulado y el incremento de enfermedades cardiovasculares y muertes (Bell et al, 2007). Entre los efectos adversos de material particulado se encuentran problemas cardiovasculares, disminución de tono vascular y la reactividad alterada, aumento de la presión arterial, cambios en la coagulación de la sangre, y la progresión acelerada de aterosclerosis (Simkhovich, et al., 2011) y el aumento del número de personas con problemas de sinusitis (Nachman & Parker, 2012).

Las partículas pueden acumularse en el sistema respiratorio y provocar problemas de salud, principalmente en niños y adultos mayores. En la Figura 2-8 se muestra la zona de bioacumulación del material particulado en el sistema respiratorio. En la primera parte del tracto respiratorio podemos encontrar a las partículas con diámetro aerodinámico mayores a 10 micrómetros.

Otra porción de las partículas se bioacumulan en los bronquios.  $PM_{2.5}$  tiende a acumularse en los alveolos, en los cuales se lleva el intercambio de gases al organismo por lo cual es importante conocer la fracción soluble en agua que pueda difundirse a través del organismo.



**Figura 2-8.** Sitio de bioacumulación de  $PM_{>10}$ ,  $PM_{10-2.5}$ ,  $PM_{2.5}$ .

A su vez  $PM_{0.1}$  llega al torrente sanguíneo, distribuyendo a lo largo del organismo los compuestos que lo conforman.

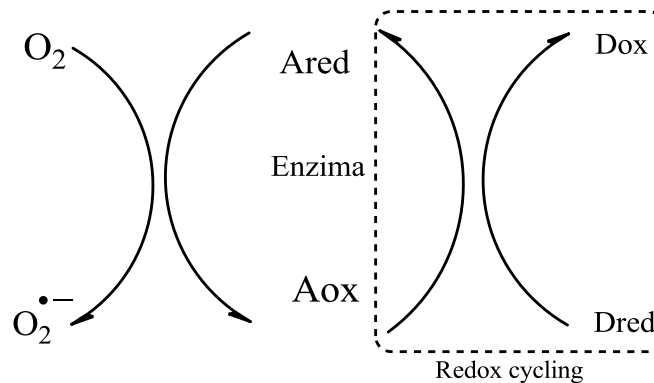
Se ha encontrado una alta correlación entre  $PM_{10}$  y ataques de asma para la población en edades de 5 a 17 años al incrementar las concentraciones en un 25 a 75 percentil de la concentración promedio ( $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Dimitrova et al., 2012).

Estudios toxicológicos y epidemiológicos muestran una relación entre los efectos adversos en la salud y la exposición a materiales particulado (Peters et al., 2001). Se ha observado que la toxicología está asociada con la generación de especies reactivas oxigenadas (ROS por sus siglas en ingles), uno de los diversos precursores del estrés oxidativo (Daher, et al., 2014).

## 2.8.- Especies Reactivas Oxigenadas (ROS)

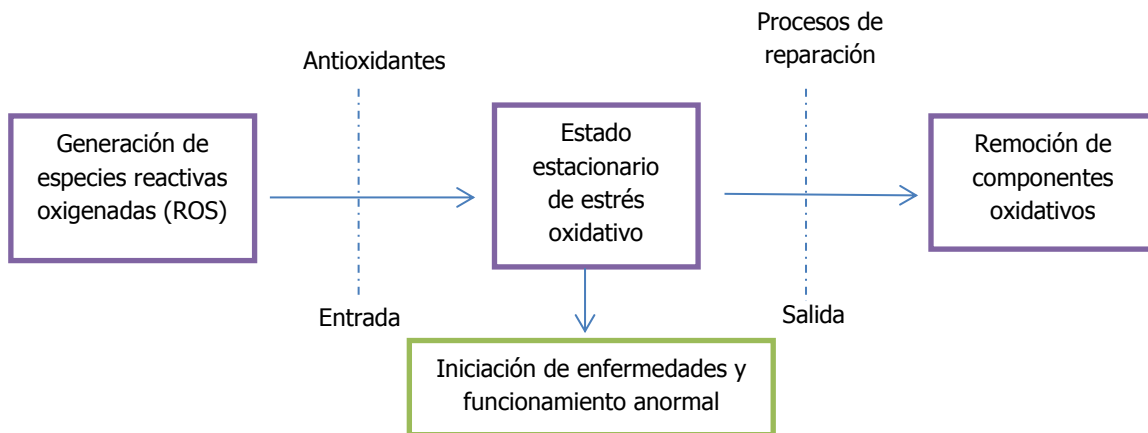
### 2.8.1.- Generación en el organismo

Las especies reactivas oxigenadas (ROS) son producidas normalmente durante la función celular (Figura 2-9), ROS incluye radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\bullet$ ), anión superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) y al peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).



**Figura 2-9.** Mecanismo de formación de ROS en el organismo.

Bajo condiciones normales el sistema de antioxidantes de las células minimiza las perturbaciones ocasionadas por los compuestos ROS, los antioxidantes ejercen la función de excretar los ROS o proceden a la activación de una serie de proteínas que actúan defendiendo y desintoxicando el sistema (Figura 2-10).



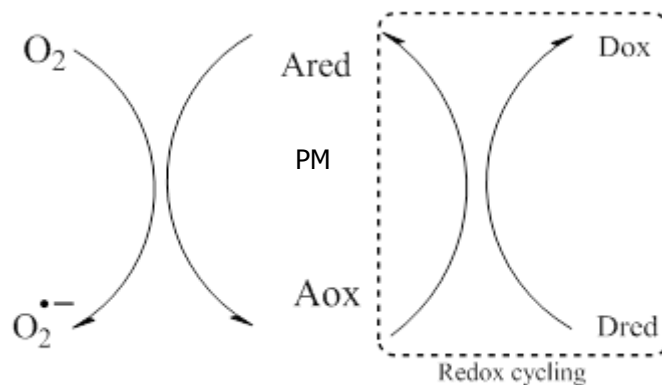
**Figura 2-10.** Mecanismo de respuesta del organismo en presencia de ROS.

La prevención es esencial debido a que disminuyendo la concentración de antioxidantes, disminuye su protección y con esto se eleva el grado de intoxicación, representado por ROS.

Cuando la generación de ROS sobrepasa los niveles de antioxidantes celulares el resultado es el **estrés oxidativo**, dañando las células y formando mutaciones y enfermedades con alto potencial cancerígeno.

### 2.8.2.-Formación de ROS asociada a PM

PM presenta la capacidad de catalizar la generación de ROS. La habilidad de PM se encuentra asociada a las diferentes fuentes, composición química y a las características del medio ambiente (Cho, et al., 2005). En la Figura 2-11 se muestra el mecanismo de producción de ROS catalizado por PM.



**Figura 2-11.** Mecanismo de formación de ROS en presencia de PM.

Uno de los mecanismos que explican la generación de ROS asociada a PM, señala la presencia de metales de transición solubles en agua, los cuales promueven la formación de radicales hidroxilo (Sorensen et al., 2005).

Leonard et al., (2004) señalaron que las partículas que contienen metales causan daño oxidativo in vivo e in vitro. Se han considerado numerosos metales como

contribuyentes de toxicidad, entre los que se encuentran As, Be, Cd, Co, Cr, Hg, Mg, Ni, Pb, Sb, Se (Pakbin et al., 2011).

El análisis de especies como carbón elemental, compuestos solubles en agua y O-HPA's han sido fuertemente correlacionados con la generación de ROS.

Charrier & Anastasio, (2012) encontraron una contribución de 80% y 20% en potencial oxidativo de PM en la Ciudad de Los Ángeles CA., asociado a metales traza ( $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{V}^{+2}$ ) y quinonas (1,2-naftoquinona, 1,4-naftoquinona), respectivamente.

McWhinney et al.,(2013) señalo que existen otros compuestos que tienen actividad redox, incrementando los datos obtenidos en el ensayo de Ditiotreitol (DTT). A su vez en el grupo de compuestos solubles en agua se encuentran las sustancias del tipo húmicas (HULIS), sustancias con alta hidrofobicidad, grupo que ha sido asociado a la generación de ROS (Verma et al., 2015).

Por lo tanto una visión más clara de la contribución relativa de los componentes del PM a los efectos adversos para la salud permitiría un enfoque más sencillo para la gestión de la calidad del aire, centrada en los componentes y las fuentes específicas más que en la concentración de PM que se utiliza actualmente para la calidad del aire (Steenhof et al., 2011).

# **CAPÍTULO III**

## **SITIO DE ESTUDIO**

### **3. SITIO DE ESTUDIO**

La ciudad de Tijuana se ubica en las coordenadas geográficas 32°32' latitud Norte, 117°03' longitud Oeste, a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar. La superficie territorial del municipio de Tijuana es de 1727 Km<sup>2</sup>, con una población de 1, 559,683 habitantes (INEGI, 2010).

Colinda hacia el norte con el Condado de San Diego, California, al sur con los municipios de Playas de Rosarito y Ensenada, al este con el municipio de Tecate y al oeste con el Océano Pacífico.

#### **3.1.-Orografía**

Su configuración orográfica consta de una serie de elevaciones que forman pequeñas mesetas, lomas y cerros que descienden ligeramente al mar y que por su suelo de tipo rocoso dificulta la actividad agrícola. Entre los más importantes están el cerro Colorado, con 500 metros de altura; Cerro Gordo, con una altura de 1,100 metros; los cerros Consuelo y Grande, en el centro del municipio con alturas de 900 metros. Las pendientes de cerros y cañadas ocasionan problemas a la mancha urbana, que se inunda en época de lluvias.



**Figura 3-1.** Orografía representativa de la Ciudad de Tijuana, Baja California (TOMADO DE GOOGLE EARTH).

## **3.2.- Meteorología**

### **3.2.1.- Clima**

La Ciudad de Tijuana presenta clima seco mediterráneo templado, con un rango de temperatura de 14-16 °C, y un rango de precipitación de 100-300 mm al año.

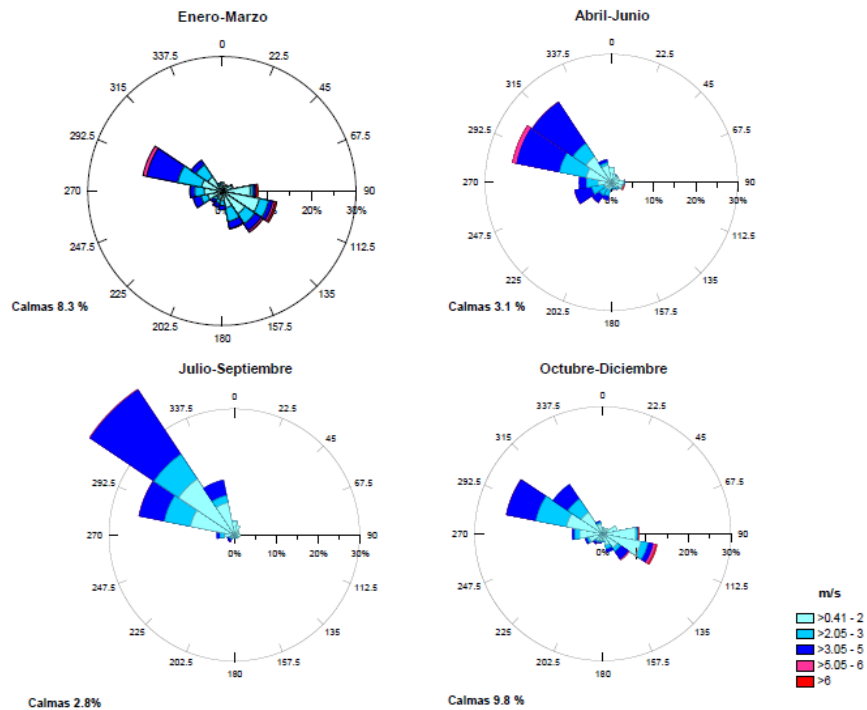
El clima en la región de estudio se caracteriza principalmente por dos estaciones: las estaciones secas y las estaciones húmedas. Influenciado por la fuerte altura subtropical adyacente sobre el norte del Océano Pacífico, el clima de abril a septiembre es caliente, seco y estable, lo que contrasta notablemente con las condiciones altamente variables durante la temporada húmeda local de octubre a marzo.

Durante la estación seca, los vientos soplan constantemente de manera paralela a la costa noroeste y el movimiento descendente a gran escala casi suprime completamente la precipitación (Bei et al., 2013). Las condiciones secas de abril a septiembre siguen un incremento de deposición seca de PM debido a que no se cuenta con las características para la deposición húmeda. Razón por la cual en la zona la posibilidad de inhalar PM por vía seca es más elevada.

### 3.2.2.-Dinamica de vientos

La cuenca atmosférica de la región Tijuana-San Diego se puede describir como una cuenca de embudo en la cual los vientos predominantes se mueven en dirección Noroeste-Sureste, provocando un arrastre de contaminantes atmosféricos en la misma dirección.

En la Figura 3-2 se muestra el comportamiento de dinámica de vientos durante el año 2005 en la estación La Mesa (s-tráfico vehicular), tomando este sitio como representativo de la ZMT. El flujo de vientos en verano son marcadamente desde el mar a tierra adentro, debido al efecto de la brisa como el gradiente de presión originado por el sistema anticiclón permanente del Norte del Pacifico. Así mismo el transporte neto de aire proveniente del mar es mayor en verano en comparación con cualquier otra estación del año.

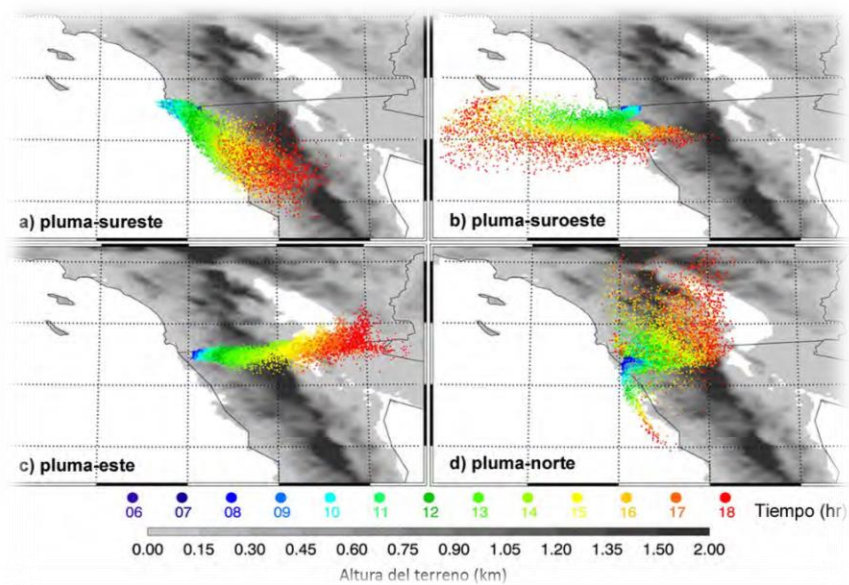


**Figura 3-2.** Rosas de vientos para los cuatro trimestres del año en la estación La Mesa (sitio de Tráfico Vehicular) para el año 2005.

Durante la noche y las primeras horas de la mañana, el transporte de los vientos es hacia el oeste y noroeste con vientos débiles. En este periodo la estabilidad del aire restringe la dilución de los contaminantes. Al amanecer las emisiones vehiculares y de las fuentes fijas aumentan drásticamente cuando el aire todavía está estratificado, y como el aire se desplaza muy lentamente, se favorece la acumulación de las concentraciones. La inversión térmica superficial que es una característica de la región, restringe la dispersión vertical (Gobierno del Estado de Baja California, 2011).

### 3.2.2.1.-Transporte de contaminantes

En la Frontera Tijuana-San Diego se han identificado cuatro patrones representativos de transporte con las simulaciones WRF-FLEXPART, que se identifican como "pluma-sureste", "pluma-suroeste", "pluma-este" y "pluma-norte", indicando la dirección viento abajo de éstas. Destacando la mayor parte de los días como "pluma-este" y "pluma-sureste", implicando que las plumas originadas en Tijuana fueran mayormente acarreadas al sureste y este durante el día (Bei et al., 2013).



**Figura 3-3.** Patrones de transporte de la pluma a) sureste, b) suroeste, c) este y d) norte, identificados durante la campaña Cal-Mex 2010 (Bei et al., 2013).

### 3.3.- Sitios de Muestreo

En el presente estudio los sitios de muestreo están delimitados a fin de obtener muestras de zonas representativas y características de PM derivadas de la fuente de emisión contaminante. En la Figura 3-4 se muestra la ubicación de los sitios y en la Tabla 3.3 se presentan las características de los mismos.



**Figura 3-4.** Vista panorámica de las áreas de muestreo en la zona de Tijuana (TOMADO DE GOOGLE EARTH).

**Tabla 33-1.** Descripción de sitios de muestreo.

Sitio	Clave	Localización	Altitud sobre nivel del mar (m)
<b>CECYTE</b>	S-Habitacional II	32°29'50.32" N, 116°51'15.30" W	290
<b>ITT</b>	S-Habitacional I	32°31'44.51" N 116°59'17.11" O	153
<b>COLEF</b>	S-Comercial	32°31'10.29" N, 117°00'04.56"O	26
<b>MESA</b>	S-Tráfico Vehicular	32°29'51.06" N, 116°58'37.34"O	71
<b>LABORATORIO</b>	S-Industrial	32°31'48.32" N, 116°55'15.44"O	116

# **CAPÍTULO IV PARTE EXPERIMENTAL**

## 4. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1.-Equipos, materiales y reactivos

En los puntos 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 se muestran los equipos, materiales y reactivos para de cada una de las fases experimentales de la investigación.

#### 4.1.1 Muestreo

- **Kit de Calibración para muestreador de alto volumen ( TISH, TE-5028)**
- **Muestreador de alto volumen (TISH TE-6070)**
- **Impactador de cascada (TISH-230)**
  - ❖ Filtros de microfibras de cuarzo alta pureza (Whatman® QMA 8"X10")
  - ❖ Filtros de micro fibra de cuarzo alta pureza (Tish 5.625" x 5.375")

#### 4.1.2.-Extracción y análisis de metales

- **ICP-OES, detector de UV-Visible para medir las concentraciones de metales asociados a PM (Varian Liberty, modelo 110)**
- **Baño ultrasónico (Cole-Parmer, modelo 8891)**
  - ❖ Membranas de filtración estériles de 47 mm de diámetro poro 0.45µm (Pall Life Sciences, Metrical Grid)
  - ❖ Agua nano pura universal alta pureza (VWR)
  - ❖ Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)

#### 4.1.3.-Extracción y análisis de potencial oxidativo

- **Baño ultrasónico (Cole-Parmer, modelo 8891)**
- **Espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer, Lambda 3A)**
- **Mezclador de vórtice (Thermolyne, modelo M37615)**
  - ❖ Agua nano pura universal alta pureza (VWR)
  - ❖ Membranas de filtración estériles de 47 mm de diámetro poro 0.45µm (Pall Life Sciences, Metrical Grade)
  - ❖ Chelex 100 sódica (Sigma Aldrich C7901)
  - ❖ Tris base, grado biológico (Promega, H5133)
  - ❖ Fosfato monobásico de potasio (Sigma Aldrich P5655)
  - ❖ Fosfato monobásico de sodio (Fisher Chemalert Cas 10049-21-5)
  - ❖ Ditiotreitól (DTT) (Sigma Aldrich D0632)

❖ Acido 5,5,-ditiobis-2-nitrobenzoico (DTNB); (Sigma Adrich D218200)

## **4.2.- Metodología**

### **4.2.1-Muestreo**

El muestreo de cuatro de los cinco sitios (Comercial, Habitacional I, Tráfico Vehicular e Industrial) fue llevado a cabo bajo la dirección del Ing. Enrique Duran y con la colaboración del Ing. Javier Pérez en la red de monitoreo de calidad del Aire de Baja California.

El material particulado, fue colectado por medio de un muestreador de alto volumen con cabezal para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> utilizando filtros de fibra de cuarzo de 8" x 10" pulgadas. El procedimiento de Calibración del Equipo y los cálculos correspondientes se describen en el Anexo I

El muestreador arrastra una cantidad de aire ambiente a una caja de muestreo a través de un filtro, durante un periodo de muestreo. La velocidad del flujo del muestreo y la geometría de la caja favorecen la recolección de partículas de 10 y 2.5 µm de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad y dirección del viento.

Posteriormente la concentración de partículas fue obtenida por método gravimétrico, con previo acondicionamiento de los filtros a humedad y temperatura constantes (23 °C y 35 %HR) la muestra fue colectada en periodos de 24 horas, previo al muestro (California Environmental Protection Agency, 2007).

**Tabla 4-1.** Sitios y periodos de muestreo por fracción de material particulado.

SITIO	FECHA DE MUESTREO		
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>0.49</sub>
<b>s-Industrial</b>	8 de marzo de 2013 12 de marzo de 2013 13 de marzo de 2013 19 de marzo de 2013 15 de abril de 2013	1 de abril de 2014 15 de abril de 2014 27 de abril de 2014 27 de mayo de 2014 6 de junio de 2014	9 de julio de 2012 24 de julio de 2012 15 de febrero 2013
<b>s-Tráfico Vehicular</b>	1 de marzo de 2013 7 de marzo de 2013 13 de marzo de 2013 19 de marzo de 2013 26 de marzo de 2013 2 de abril de 2013 12 de abril de 2013 18 de abril de 2013	1 de abril de 2014 15 de abril de 2014 27 de abril de 2014 27 de mayo de 2014 6 de junio de 2014	17 agosto de 2012 21 de octubre de 2012 24 de enero de 2013
<b>s-Comercial</b>	1 de marzo de 2013 7 de marzo de 2013 19 de marzo de 2013 26 de marzo de 2013 2 de abril de 2013 12 de abril de 2013 18 de abril de 2013	3 de abril de 2014 13 de abril de 2014 24 de abril de 2014 2 de junio de 2014	8 de septiembre de 2012 1 de noviembre de 2012 25 de noviembre de 2012 13 de marzo de 2013
<b>s-Habitacional I</b>	30 de enero de 2013 7 de marzo de 2013 13 de marzo de 2013 19 de marzo de 2013 12 de abril de 2013 18 de abril de 2013	3 de abril de 2014 13 de abril de 2014 24 de abril de 2014 2 de junio de 2014	24 de julio de 2012 24 de julio de 2013
<b>s-Habitacional II</b>	-	10 de abril de 2014 7 de mayo de 2014 9 de mayo de 2014 21 de mayo de 2014 19 de junio de 2014 21 de junio de 2014 4 de agosto de 2014 6 de agosto de 2014 5 de septiembre de 2014 14 de octubre de 2014 17 de octubre de 2014 29 de octubre de 2014	11 de marzo de 2015 19 de marzo de 2015 21 de marzo de 2015 28 de marzo de 2015 14 de abril de 2015 16 de abril de 2015 18 de abril de 2015 25 de abril de 2015 28 de abril de 2015 30 de abril de 2015

#### 4.2.1.1.- Impactador de cascada

La fracción PM<sub>0.49</sub> fue colectada por medio de un impactador de cascada (TIHS-230), el principio de funcionamiento del impactador consiste en que las partículas sean fraccionadas en base a su diámetro aerodinámico. El diámetro aerodinámico de la partícula es el diámetro considerando que su densidad es igual a 1g/mL.

Por medio de la ecuación 1 se determina el diámetro de corte ( $\geq 50\%$  de las partículas tienen el valor calculado) de la partícula en el impactador de cascada.

$$Dp_{50} = \sqrt{St} w \sqrt{\frac{9 \eta L}{C P_p Q}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

#### Dónde:

$Dp_{50}$  = Diametro de corte

$\sqrt{St}$  = raíz cuadrada del numero de Stokes, el cual depende de la longitud de la garganta del venturi y el numero de Reynold  
 $w$  = anchura de la ranura (cm)

$\eta$  = viscosidad del gas ( $1.8 \times 10^{-4}$  gm/cm \* seg, 25°C, 760 mmHg)

$L$  = longitud de la ranura (cm)

$P_p$  = densidad de la masa de partículas (gm/cc)

$C$  = corrección de deslizamiento de Cunningham

$Q$  = velocidad de flujo

En la Tabla 4-2 se muestran los puntos de cortes experimentales ( $D_{p50}$ ) por etapa para un flujo de 40 CFM.

**Tabla 4-2.** Puntos de corte por etapa para un flujo de 40 CFM.

Etapa	Rango de tamaño de partícula Dp50 (en $\mu\text{m}$ )
1	7.2-10
2	3.0-7.2
3	1.5-3.0
4	0.95-1.5
5	0.49-0.95
6*	N/A
Filtro de Hi-Vol	0.00-0.49

\*Para Hi-Vol de flujo másico no es conveniente el uso de la Etapa 6, ya que se pudieran presentar fallos en el equipo.

### **4.2.3.-Parámetros meteorológicos.**

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la red del Aeropuerto de la Ciudad de Tijuana, monitoreando los datos del promedio de los horarios de muestreo. El diagrama de frecuencias y velocidad de viento se obtuvieron mediante el software AERMOD View Ver 6.2.

### **4.2.4.-Determinacion contenido de metales**

El análisis de los filtros de cuarzo impactados se llevó a cabo en el Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM, Campus Ensenada con apoyo de la Dra. Nina Bogdanchikova, la Dra. Elena Smolentseva y el Dr. Mario Vega del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Los filtros de material particulado fueron preparados para realizar una digestión cerrada con ácido nítrico para su posterior análisis en el equipo de ICP-EOS, el procedimiento se describe a continuación.

De la parte impactada del filtro se cortó una sección de 1.75 x 4.5 pulgadas (4.45 x 11.43 cm) y se cortó en trozos más pequeños de manera uniforme, colocándose en un vial con rosca para extracción. Se adicionaron 20 mL de una solución 0.5 N de ácido nítrico, se cerró el vial. Se colocó en el baño de ultrasonido por 90 minutos a  $60 \pm 5$  °C, después de transcurrido el tiempo, se removieron los viales para la adición de 20 mL de agua nano pura y se colocó nuevamente en el baño de ultrasonido por 90 minutos a  $60 \pm 5$  °C, posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente para ser posteriormente filtrados.

**NOTA 1:** Las soluciones fueron filtradas al vacío utilizando membranas de filtración de 47 milímetros de diámetro y microporos de 0.45  $\mu\text{m}$ .

**NOTA 2:** Blanco de agua nanopura, se siguió el mismo procedimiento.

Los metales que se encuentran asociados al material particulado impactados en el filtro, fueron analizados con un equipo de ICP-OES (Varian Liberty modelo 110) para lo cual se reportaron sus concentraciones en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El ICP-OES mide la luz emitida en longitudes de onda características de los elementos específicos de iones excitados térmicamente (analitos). Esta luz emitida se separa y se mide en un espectrofotómetro de emisión óptico, obteniéndose una medición de la intensidad que se puede convertir a una concentración elemental por comparación con estándares de calibración (California Environment Protection Agency, 2007). Los límites de detección del equipo, así como la longitud de onda utilizada para cada metal analizado se presentan en el Anexo XI.

#### 4.2.5.- Factor de enriquecimiento

A fin de poder determinar el origen de los metales analizados, se calculó el factor de enriquecimiento (FE) mediante lo establecido por Gutiérrez (2014). Los cálculos correspondientes se realizaron por medio de la siguiente ecuación (Byeong-Kyu & Nguyen, 2011).

$$FE = \frac{(E/R)_{aire}}{(E/R)_{suelo}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

**Dónde:**

R = Concentración de la especie de mayor abundancia

E = Concentración del elemento o especie

Byeong-Kyu & Nguyen (2011) señalan que valores de FE mayores a 5 a los metales de contribución antropogénica, y por otra parte los valores menores a 5 indican contribución geológica.

#### 4.2.6.- Carbono Orgánico y Carbono Elemental

El análisis de CO y CE se llevó a cabo siguiendo el protocolo NIOSH EC-OC.

Antes de comenzar con el análisis todo el material fue lavado con solventes en el siguiente orden:

1. Isopropanol
2. Hexano
3. Cloruro de metilo

**NOTA 1:** Cada 5 muestras se debe de limpiar la superficie de aluminio con Kimwipe e isopropanol, o en el caso de sospecha de contaminación de la superficie.

Posteriormente se tomó el filtro y se perforo con pinzas limpias y se colocó en el espacio cilíndrico. El resto del filtro fue preservado.

Se abrió uno de los tubos con abrazadera de metal y se sacó la "cuchara" de su interior.

Se colocó la muestra en una cuchara con pinzas de silicona entre la pared, se deslizo la "cuchara" al horno y se aseguró que la transmitancia disminuyera alrededor de 30,000-2,000. Se colocó de nuevo la abrazadera de metal y se aseguró de que los aumentos de presión fueran de aproximadamente de 0.06 a 0.3 PSIG. Posteriormente se corrió la muestra.

**NOTA 2:** Los gases deben encontrarse dentro de sus límites (unidades de cc/min):

- Aire: 280-300
- Hidrógeno: 50-54
- He (tanque 1): 48-52
- He (tanque 2): 12-15
- He (tanque 3): 67-70
- He/Oxígeno: 12-15
- Gas de calibración: 10-15.

## **4.2.7.-Potencial Oxidativo**

### ***4.2.7.1.-Extracción con metanol***

Por medio de esta extracción se obtienen principalmente compuestos como las quinonas.

Se corta una sección de 1.75 x 4.5 pulgadas (4.45 x 11.43 cm) en trozos más pequeños de manera uniforme, colocándose en un vial para extracción con rosca. Se adicionan 15 mL de metanol (Grado HPLC, Aldrich) y se coloca en baño de ultrasonido durante 5 min. Transcurrido el tiempo los extractos fueron filtrados utilizando membranas de filtración de 47 milímetros de diámetro y microporos de 0.45  $\mu\text{m}$  (Pall Life Sciences, Metrical Grade). Los extractos se transfieren a un matraz redondo y son concentrados a 30 °C hasta 1 mL en rota evaporador. Posteriormente se transfirieron a viales Eppendorf y se secaron a 30 °C bajo un flujo constante de nitrógeno.

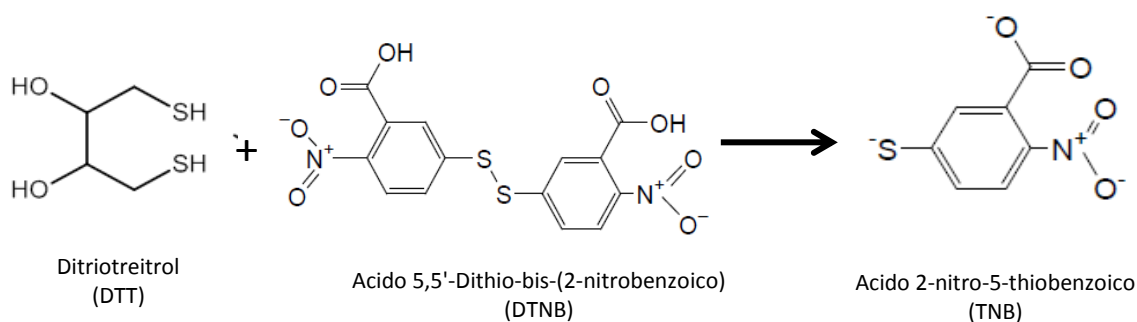
### ***4.2.7.2.-Extracción con agua***

La extracción con agua se utiliza para cuantificar el efecto redox de los metales solubles en agua que pudieran estar presentes en el PM.

De la parte impactada del filtro se cortó una sección de 1.75 x 4.5 pulgadas (4.45 x 11.43 cm) y se cortó en trozos más pequeños de manera uniforme, colocándose en un vial para extracción con rosca. Se agregaron 15 mL de agua desionizada y se agito durante 5 minutos Se puso en un baño de ultrasonido durante 5 minutos, posteriormente se situó en un vortex durante 5 minutos. Transcurrido el tiempo los extractos fueron filtrados utilizando membranas de filtración de 47 milímetros de diámetro y microporos de 0.45  $\mu\text{m}$  (Pall Life Sciences, Metrical Grade).

#### 4.2.7.3.-Ensayo de DTT

El principio del método consiste en la determinación del potencial redox de PM, mediante la oxidación de un equivalente de DTT por iones metálicos y/o O-PAH's asociados al PM, el remanente de DTT se cuantifica mediante la reacción del DTNB con el grupo sulfhidrilo libre del DTT produciendo ácido 2-nitro-5-tiobenzoico (TNB), el cual se cuantifica por UV-Visible 412nm (Charrier & Anastasio, 2012).



**Figura 4-1.** Mecanismo de reacción para la cuantificación del remanente de DTT.

Para llevar a cabo lo descrito anteriormente, se realizó el siguiente procedimiento:

Se colocó en tubo de ensayo 3 mL de DTT (100  $\mu\text{M}$  en buffer de fosfatos 0.1M pH 7.9). La alícuota de DTT se trató con 100  $\mu\text{L}$  de una suspensión de PM de concentración conocida, dejándose reaccionar y tomando una alícuota de 0.5 mL a los 5,10, 15 y 20 minutos de la reacción. Las alícuotas se transfirieron a un tubo de ensayo con 0.5 mL de ácido tricloroacético al 10% para detener la reacción. Cuando se inactivaron todas las alícuotas, se añadieron 50  $\mu\text{L}$  de 10.0 mM DTNB, a continuación se añadieron 2 mL de 0.10 M de Tris -base con EDTA (pH 8.9), y se dejó reaccionar durante 5 minutos. El ácido 2-nitro-5-tiobenzoico (TNB) formado se cuantifico con un Espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer, Lambda 3A) en una celda de cuarzo de 1 cm a 412 nm y una absorptividad molar de  $14\ 150\ \text{M}^{-1}\ \text{cm}^{-1}$  (Eyer et al., 2003 ;Li et al., 2009). En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los cálculos correspondientes a este método.

#### 4.2.8.-Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa Minitab versión 16. Se llevó a cabo la Prueba de Grubbs para identificar y eliminar datos atípicos, los cuales son observaciones con un valor que no pertenece con el resto del grupo de datos. Esta Prueba consiste en utilizar un estadístico de prueba  $T$  que es la diferencia absoluta entre el valor atípico ( $X_0$ ) y el promedio de la muestra ( $\bar{X}$ ) dividido por la desviación estándar ( $std$ ) de la muestra.

$$T = \frac{|X_0 - \bar{X}|}{std} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Dicho estadístico se compara con un valor crítico obtenido de tablas estadísticas en base al número de datos (Grubbs, 1969).

Posteriormente los datos obtenidos fueron sometidos a la prueba de Ryan-Joiner, la cual evalúa la normalidad calculando la correlación entre los datos y las puntuaciones normales de los datos. Si el coeficiente de correlación se encuentra cerca de 1, es probable que la población sea normal.

El estadístico de Ryan-Joiner evalúa la fuerza de esta correlación; si se encuentra por debajo del valor crítico apropiado, se rechazará la hipótesis nula de normalidad en la población. Esta prueba es similar a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, aunque esta prueba es menos conocida es la que se recomienda para contrastar el ajuste de nuestros datos a una distribución normal, sobre todo cuando la muestra es pequeña ( $n < 30$ ). La información detallada se muestra en las Figuras XIV-1 a la XVI-76 del Anexo XIV.

En algunas variables la hipótesis de normalidad fue rechazada por lo cual se procedió a la utilización de transformaciones para lograr que los datos se ajusten a una distribución normal mediante la aplicación de  $\ln(x)$ . Cuando la variable tomo un valor de 0 se empleó la transformación  $\ln(x+1)$  (Taylor & Cihon, 2004).

La comparación de varianzas para una variable entre los distintos sitios se obtuvo aplicando la prueba de F de Fisher, considerando valores  $p < 0.05$  como varianzas significativamente diferentes. Esta información fue utilizada para la posterior realización de

la prueba t-student para la comparación de dos muestras de igual manera que la prueba de F de Fisher. Valores de  $p < 0.05$  indican diferencias significativas entre las medias de los datos comparados. La información detallada se muestra en las Tablas XVII-1 a la XVII-57 del Anexo XVII.

Por último se analizó la correlación Spearman de los resultados obtenidos de potencial oxidativo y los componentes del material particulado. La interpretación del coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson. Oscila entre -1 y +1, indicándonos asociaciones negativas o positivas respectivamente, 0 cero, significa no correlación pero no independencia.

# **CAPITULO V**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  y  $PM_{0.49}$  en el periodo 2012-2013, reportados anteriormente por Gutierrez (2014), para los sitios s-Comercial, s-Habitacional I, s-Tráfico Vehicular y s-Industrial. La Descripción detallada de las concentraciones tanto de  $PM_{10}$  como de  $PM_{0.49}$  se muestra en el ANEXO VI las concentraciones de  $PM_{10}$  y metales asociadas a la superficie en el periodo 2012-2013, se muestran en el ANEXO VIII las concentraciones de  $PM_{0.49}$  y metales asociados a la superficie en el periodo 2012-2013. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Las concentraciones promedio de  $PM_{2.5}$  para el periodo 2014 y las concentraciones promedios de PM obtenidas con el impactador de cascada de cinco etapas en intervalo de diámetro ( $PM_{7.2-10}$ ,  $PM_{3.1-7.2}$ ,  $PM_{1.5-3.1}$ ,  $PM_{0.95-1.5}$ ,  $PM_{0.49-0.95}$ ,  $PM_{\leq 0.49}$ ) realizadas en la presente investigación, se muestran en los ANEXOS XII y IX.

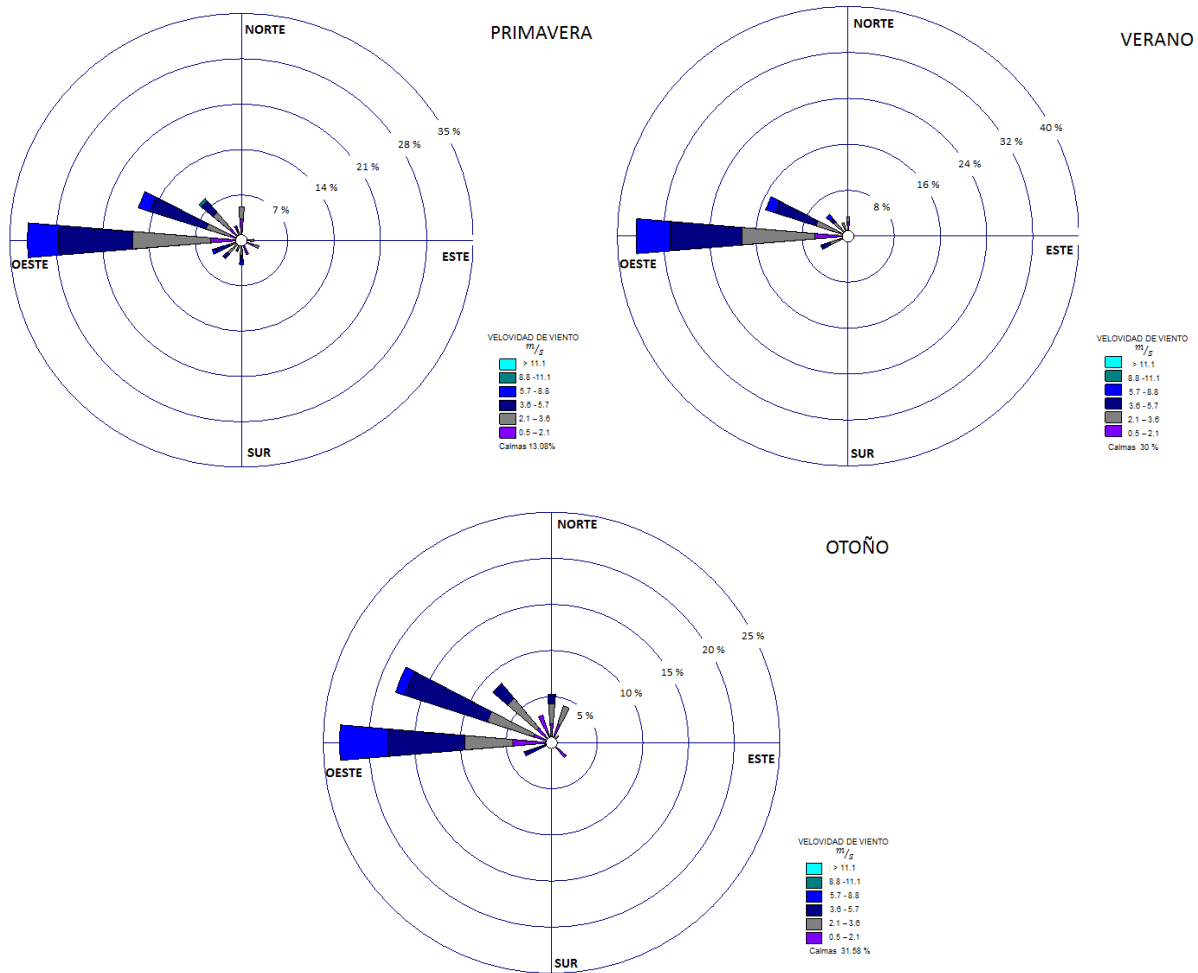
### 5.1- Meteorología

Los datos meteorológicos obtenidos durante cada periodo de muestreo se muestran a continuación.

En la Figura 5-1 se muestra las Rosas de Viento para el periodo primavera-otoño 2014, observándose viento dominante de Oeste a Este durante el periodo de muestreo. Durante la primavera de 2014 prevalecen los vientos con dirección oeste-este, con algunos vientos hacia el sureste de la Ciudad. En verano de 2014 se observa la misma tendencia, sin embargo incrementan la frecuencia de los vientos, así como se visualiza un desplazamiento un poco más dirigido hacia del sureste en esta estación del año comparada con primavera.

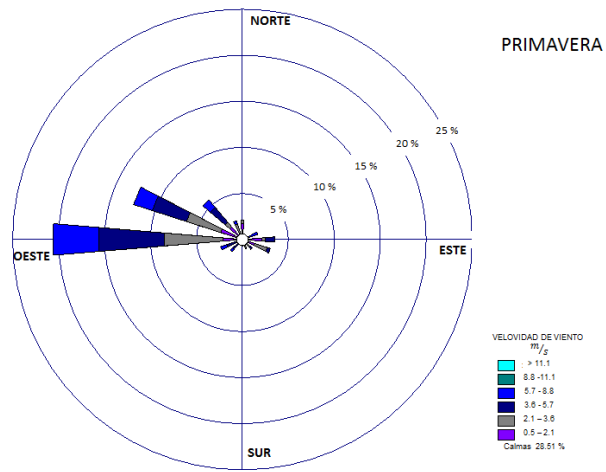
Otoño de 2015 conserva la tendencia oeste a este, sin embargo observamos que conforme avanzamos en las estaciones del año la dirección predominante del viento tiende a ser dirigida hacia el sureste. Lo anterior concuerda con analizado en la Campaña Cal-

Mex 2010 documento en el cual se señala que las direcciones del viento predominantes en la Ciudad de Tijuana son oeste-este, noroeste-sureste (Bei et al., 2013).



**Figura 5-1.** Rosas de los vientos para el periodo primavera-verano-otoño 2014.

La Rosa de los vientos se presenta en la Figura 5-2 para el muestreo realizado en la primavera de 2015, en la que podemos observar vientos del oeste a este, así como del noroeste-noreste, sin embargo contamos con algunos vientos de baja frecuencia con dirección sureste-noroeste.



**Figura 5-2.** Rosa de los vientos para la primavera de 2015.

## 5.2.-Análisis del comportamiento de Material Particulado

### 5.2.1.-Comportamiento de PM<sub>2.5</sub>

Las concentraciones obtenidas de PM<sub>2.5</sub> para s-Comercial, s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular se presentan en la

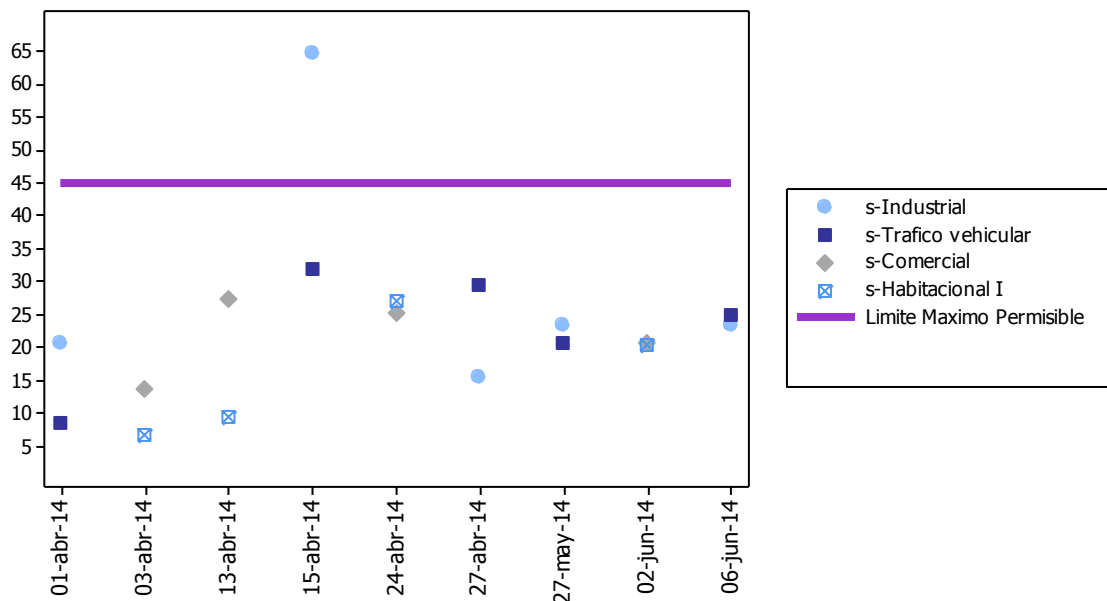
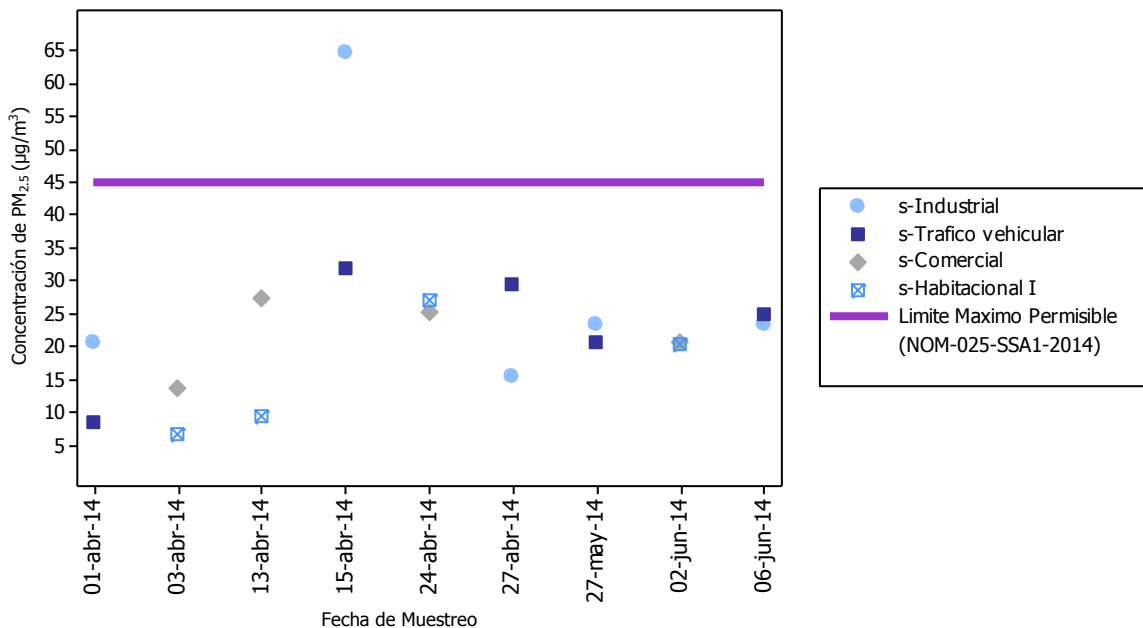


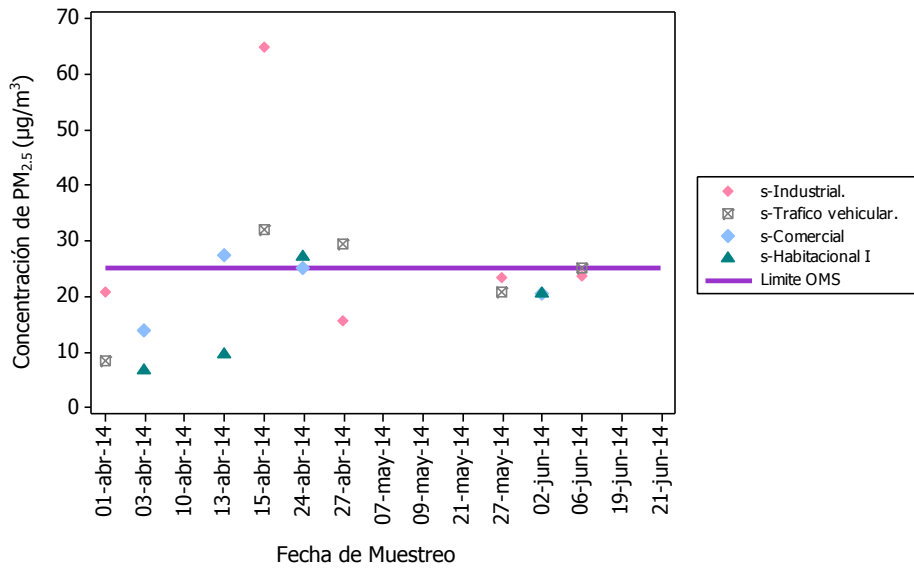
Figura 5-3, observándose que las concentraciones se encuentran por debajo del límite máximo permisible que marca la NOM-025-SSA1-2014. En s-Industrial se presenta un evento especial el día 15 de abril del 2014, dando como resultado una concentración de 64.8 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5-3.** Variación espacial de PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) para s-Comercial, s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular en comparación el LMP (NOM-025-SSA-2014).

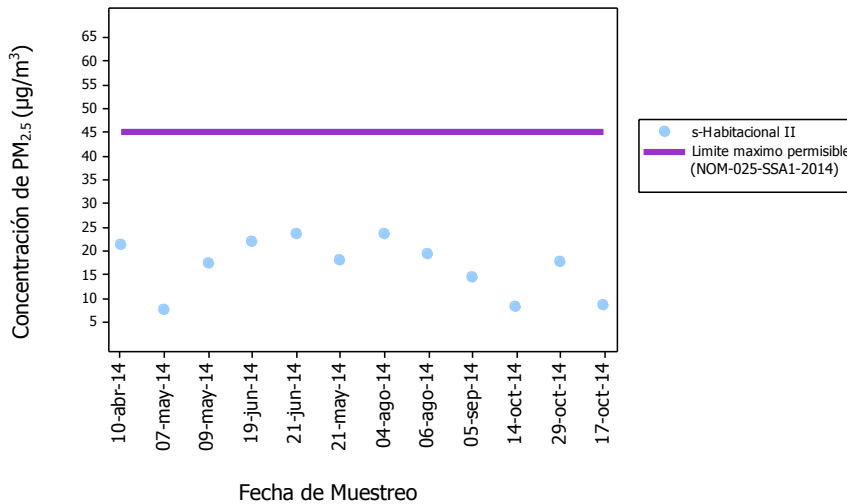
Sin embargo al comparar los concentraciones de los muestreos en cada sitio con el límite establecido por la OMS de 25 µg/m<sup>3</sup> promedio 24 horas (Figura 5-4) podemos observar que todos los sitios sobrepasan el límite por lo menos en un día de muestreo.

s-Tráfico vehicular sobrepasa tres de los cinco días de muestreo, siendo el sitio con el número mayor de observaciones (31.9, 29.5 y 25 µg/m<sup>3</sup>), esto podría deberse al tráfico vehicular relacionado a este sitio. En cuanto a s-Comercial dos días sobrepasa el límite máximo permisible, s-Industrial a pesar de las características de la zona, durante este periodo solo se detectó una observación (64.8 µg/m<sup>3</sup>) sobrepasando este límite.



**Figura 5-4.** Variación espacial de PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) para s-Comercial, s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular en comparación el Limite de la OMS.

En la Figura 5-5 se muestran las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional II, en donde se puede distinguir que las concentraciones obtenidas durante este periodo de muestro se encuentran dentro del límite máximo permisible de la NOM-025-SSA1-2014 con una media de 16.8 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5-5.** Variación temporal de concentración de PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) para s-Habitacional II.

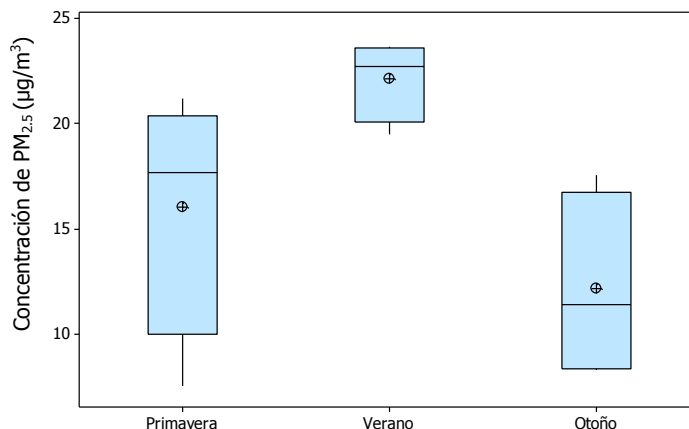
La variación estacional de PM<sub>2.5</sub> en el sitio s-Habitacional II se muestra en la Figura 5-6 en la cual se puede observar que la estación con concentraciones mayores es

verano con una media (std) del 22.09 (1.09)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto podría deberse a que durante el muestreo dos de las cuatro observaciones se llevaron a cabo durante fin de semana, días de mayor actividad antropogénica alrededor de este sitio.

Durante el fin de semana el tráfico vehicular incrementa, debido a que se cuenta con un centro comercial concurrida a unos metros del sitio de muestreo, así como dos avenidas transitadas, una de ellas la que conecta el Blvd. Casa Blanca con el Blvd. 2000.

Aunado a lo anterior durante este periodo, las direcciones del viento predominantes son oeste-este y noreste-sureste con frecuencias mayores que en el resto de las temporadas.

Podemos observar que la menor concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  se presenta en otoño con una media (std) de 11.56 (1.46)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto podría deberse a que durante esta temporada se cuenta con vientos con dirección sureste-noroeste de mayor frecuencia en comparación con el resto de las estaciones los cuales disminuyen el arrastre de material particulado de otras zonas de la Ciudad hacia este sitio, disminuyendo la concentración.



**Figura 5-6.** Gráfico de caja y bigotes (boxplot), de la variación estacional de  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Habitacional II (Las cajas y líneas representan el 25, 50 y 75% de los cuartiles; los símbolos  $\oplus$  representan la Media).

La variación espacial de las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  durante la primavera del 2014 en los 5 sitios muestran que el sitio de mayor concentración es s-Industrial con una media (std) de 25.84 (1.72)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , estas concentraciones pueden ser relacionadas con las actividades industriales propias del sitio así como el tráfico vehicular constante, mayormente de transporte pesado, seguido de s-Tráfico vehicular con 21.01 (1.71)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

y s-Comercial con 21.04 (1.36)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ambos sitios cuentan con afluencia vehicular elevada, fuente principal de  $\text{PM}_{2.5}$ .

En lo que respecta a los sitios s-Habitacional II y s-Habitacional I presentaron una media (std) de 15.64 (1.52)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 13.72 (1.92)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, lo cual podría explicarse a que en estos sitios los impactados por tráfico local son esporádicos dado a que son áreas residenciales.

El patrón de concentración en los sitios presento un comportamiento independiente a la dirección predominante del viento, observándose una dependencia acorde a las actividades antropogénicas desarrolladas en cada uno de ellos, es decir, las áreas de muestreo con mayor actividad presentaron mayores concentraciones (media), teniendo como resultado s-Industrial>s-Tráfico vehicular>s-Comercial>s-Habitacional I> s-Habitacional II, mismo patrón reportado por Vega et al., (2011) en la Ciudad de México.

El análisis estadístico señalo que existen diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre la media de s-Industrial y el resto de los distintos sitios, mostrando así que este sitio se encuentra impactado en mayor magnitud que el resto, esto podría deberse a las actividades desarrolladas en este sitio.

A su vez se no se encontró diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las medias s-Comercial y s-Tráfico vehicular, mostrando que los sitios se encuentran impactados por fuentes similares concordando con lo antes mencionado, de igual manera estos dos sitios presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) de medias con s-Habitacional I y s-Habitacional II, lo cual indica que s-Comercial y s-Tráfico Vehicular se encuentran impactados de distinta manera que los sitios Habitacionales.

#### ***5.2.1.2.-Comparativo con otras partes del mundo***

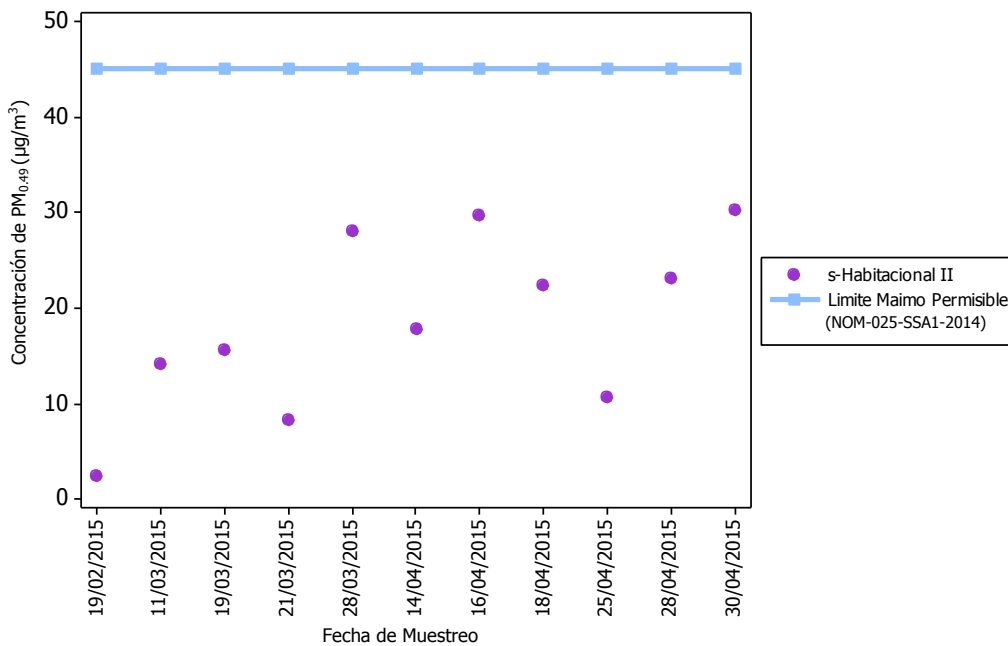
En la Tabla 5-1 se muestran las medias de concentración de PM<sub>2.5</sub> en distintas partes del mundo. Podemos observar que las concentraciones registradas en este estudio presentan menores concentraciones que la mayoría de las otras ciudades. Sin embargo se observan concentraciones mayores que en Pasadena, California, lo cual podría deberse a que ese estudio se llevó a cabo durante el verano, durante esta temporada la altura de la capa de mezcla es mayor lo cual propicia la dispersión de contaminantes.

**Tabla 5-1.** Concentración (Media) de PM<sub>2.5</sub> en distintas partes del mundo.

CIUDAD	CONCENTRACIÓN (µg/m <sup>3</sup> )	PERIODO DE MUESTREO	REFERENCIA
<b>Milán, Italia</b>	34.5	Dic/09-Nov/10	Daher et al., (2012)
<b>Atlanta, USA</b>	28.5	Enero-Febrero 2012	Verma et al., (2012)
<b>Pasadena, Usa</b>	7.5	Agosto-Septiembre 2012	Wang et al., (2013)
<b>Guanajuato, México</b>	45.0	noviembre 06-07	Herrera et al., (2012)
<b>Distrito Federal, México</b>	50.0	1-31 Marzo 2006	Mugica et al., (2009)
<b>Tijuana, México</b>	19.3	Abril-Mayo 2014	Este estudio.

### 5.2.2.-Comportamiento de $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II

Durante el periodo comprendido del 19 de Febrero al 30 de Abril del 2015, se llevó a cabo una pequeña campaña de muestreo en s-Habitacional II, observándose una media (std) de  $13.54 (2.17) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , presentándose los datos en la Figura 5-7. Este diámetro aerodinámico queda comprendido dentro de las partículas  $\leq PM_{2.5}$ , siendo evidente el cumplimiento con la legislación de la NOM-025-SSA1-2014.



**Figura 5-7.-** Variación de  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II (Febrero-Abril 2015).

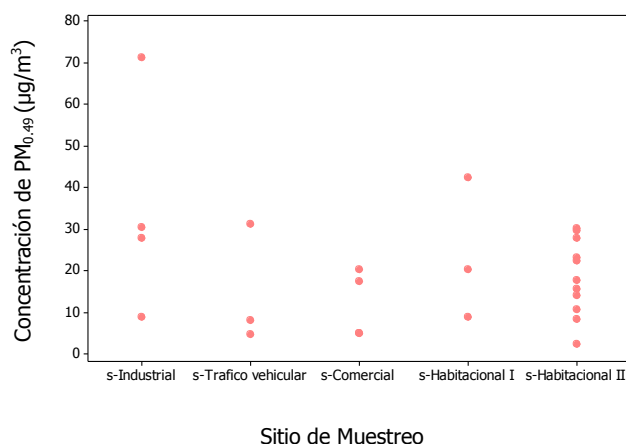
Con fines comparativos se muestra en la variación de  $PM_{0.49}$  en los otros 4 sitios de muestreo llevada a cabo por Gutiérrez en 2012-2013 y la variación en el s-Habitacional II durante el 2015.

Podemos observar al igual que en lo discutido para  $PM_{2.5}$ , s-Industrial presentó una mayor concentración de  $PM_{0.49}$ , sin embargo en el resto de los otros sitios no fue así (Tabla XVII-4, Anexo XVII), presentando el siguiente orden s-Habitacional I > s-Habitacional II > s-Tráfico vehicular > s-Comercial.

El análisis estadístico mostro que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Industrial ( $27.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el resto de los sitios; esto podría deberse a las actividades antropogénicas desarrolladas en esta área.

s-Habitacional I ( $19.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mostro diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre su media y la de s-Comercial ( $9.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), s-Tráfico Vehicular ( $10.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y s-Habitacional II ( $13.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mostrando que este sitio se encuentra impactado en mayor magnitud. Esto podría deberse al arrastre de contaminantes provenientes de s-Industrial hacia este sitio, lo cual concuerda con la dirección del viento como se muestra en la Figura VI-1 del anexo VI, viéndose así incrementadas las concentraciones.

Así mismo, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Habitacional II y s-Comercial, lo cual indica que s-Habitacional II se encuentra influenciado por el transporte de los contaminantes emitidos viento arriba conforme a la dirección predominante del viento durante el periodo de muestreo (Figura 5-8), sin embargo en s-Tráfico Vehicular las fuentes de emisión impactan de forma similar que en s-Comercial y s-Habitacional II ( $p > 0.05$ ).

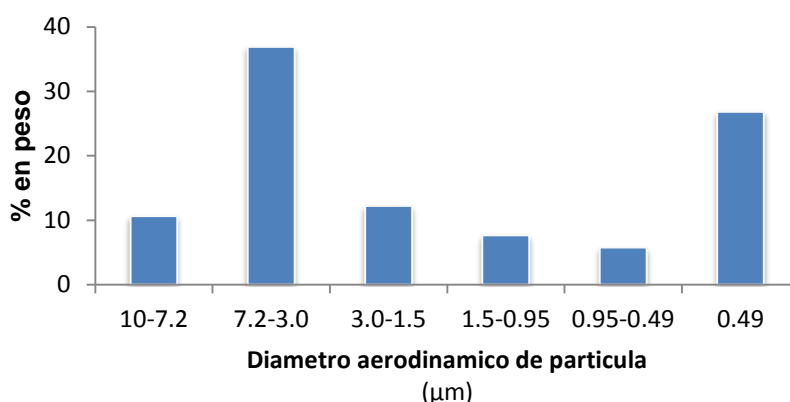


**Figura 5-8.-** Variación espacial de  $\text{PM}_{0.49}$  en los 5 sitios de muestreo.

### 5.2.3.-Distribución de diámetro de partícula en s-Habitacional II

En s-Habitacional II se llevó a cabo una campaña de muestreo con un impactador de cascada del 19 de Febrero al 30 de Abril del 2015 con la finalidad de establecer la distribución del partículas en este sitio ubicado en la zona este de la Ciudad.

En la Figura 5-9 se muestran la distribución de partículas, destacando con el mayor porcentaje la fracción de 3-7.3 $\mu\text{m}$  (36.88%) seguida de la fracción 0.49 (26.84%), siendo estas últimas partículas casi-ultra finas, mismas que no se encuentran reguladas.



**Figura 5-9.** Distribución de partículas en s-Habitacional II.

Gutiérrez, (2014) determinó la distribución del tamaño de partícula de s-Industrial, s-Tráfico vehicular, s-Comercial y s-Habitacional I, encontrando el mayor porcentaje en peso de PM en la fracción  $\leq 0.49 \mu\text{m}$  para s-Industrial y s-Comercial. En el caso de s-Tráfico vehicular se presentó un mayor porcentaje en peso en el rango de 10-3  $\mu\text{m}$ , en s-Habitacional I no se reportaron partículas predominantes, sin embargo en el sitio de muestreo s-Habitacional II se observó en la fracción de 3-7.3  $\mu\text{m}$  (36.88%) el mayor porcentaje en peso (Anexo X).

Esta variación puede deberse a que:

- a) El sitio de muestreo s-Habitacional II se encuentra ubicado en un área donde existen terrenos baldíos, así como algunas zonas sin pavimentar, dando como resultado la resuspensión de estas partículas, incrementando el porcentaje de fracción con mayor diámetro.

b) Se encuentra reportada la formación de núcleos de partícula con mayor tamaño conforme incrementa la edad de esta (Kumala, et al., 2004 (Patoulías et al., 2015). Debido a que s-Habitacional II se ubicada en la zona sureste de la Ciudad, es decir, viento arriba conforme a los patrones de transporte de contaminantes (Bei et al., 2013), el incremento para la fracción 3-7.3  $\mu\text{m}$  podría deberse al crecimiento de los núcleos de las partículas provenientes de la zona noroeste-oeste de la Ciudad que conforme viajan, incrementan su núcleo resultando en un diámetro aerodinámico de partícula mayor.

La fracción  $\leq 0.49$ , la cual presentó mayor porcentaje después de la fracción de 3-7.3  $\mu\text{m}$ , tiene un gran impacto a la salud debido a que esta fracción con mayor área superficial, conteniendo un número elevado de componentes adheridos a su superficie, incrementando la habilidad de PM para la generación de ROS (Cho et al., 2005).

El porcentaje de mayor peso de la fracción  $\leq 0.49$ , puede deberse a que este sitio, además de ser impactado por las emisiones provenientes del tráfico vehicular local el cual es moderado, también es impactado por el tráfico pesado proveniente del Blvd. 2000, una de las arterias viales de mayor afluencia vehicular ubicada aproximadamente a 500 m en dirección oeste de este sitio.

### 5.3.-Análisis de comportamiento de metales traza asociados al material particulado.

Estudios previos en la Ciudad identificaron metales de origen antropogénico para S-Comercial, s-Habitacional I, s-Tráfico vehicular y s-Industrial asociados a PM<sub>10</sub>, mismos que serán utilizados para resto de la sección con fines comparativos, la información detallada se muestra en el ANEXO VI.

Gutiérrez señala la importancia de realizar el análisis de contenido de metales en estudios futuros ya que encontró concentraciones elevadas de algunos metales traza como Pb, Cu, Zn por mencionar algunos.

#### 5.3.1.-Variación espacio-temporal de metales traza asociados a PM<sub>2.5</sub>

Se cuantifico la concentración de Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn en muestras de PM<sub>2.5</sub> colectadas en los 5 sitios de muestreo. Sin embargo como se observa en la Tabla 5-2 existen algunos metales que se encontraron presentes en algunos sitios pero no en el resto, lo cual podría indicar que probablemente sus concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección del equipo (Anexo III).

**Tabla 5-2.** Relación de metales identificados y no identificados en los sitios de muestreo.

Sitio	Metales no identificados	Metales identificados
<b>s-Industrial</b>	As, Cr	Al, Ba, Cd, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn
<b>s-Tráfico vehicular</b>	As, Cr, Mo	Al, Ba, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn
<b>s-Comercial</b>	As, Co, Mo	Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn
<b>s-Habitacional I</b>	As, Co, Cr, Mo, Se	Al, Ba, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn
<b>s-Habitacional II</b>	As, Cr, Mo	Al, Ba, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn

En la Tabla 5-3 se observa que los metales de origen antropogénico (FE mayor a 5) corresponden a los sitios s-Tráfico vehicular (Cu, Pb, Se y Zn), s-Comercial (Cr, Cu, Ni, Pb,

Se, y Zn), s-Habitacional I (Cu, Pb y Zn), s-Industrial (Cu, Ni, Pb, Se y Zn), s-Habitacional II (Cu, Ni, Pb, Se y Zn).

**Tabla 5-3.** Factores de Enriquecimiento asociado a  $PM_{2.5}$  en los 5 sitios de muestreo para la primavera del 2014.

Metales	Sitio				
	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Ba</b>	0.8	0.9	4.0	1.0	0.8
<b>Cd</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Co</b>	0.6	0.7	0.0	0.2	0.8
<b>Cr</b>	0.0	0.0	<b>54.8</b>	0.0	0.0
<b>Cu</b>	<b>225.8</b>	<b>165.7</b>	<b>308.7</b>	<b>132.8</b>	<b>318.4</b>
<b>Mn</b>	1.3	0.7	0.8	0.7	1.0
<b>Mo</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Ni</b>	<b>13.1</b>	1.7	<b>7.4</b>	0.2	<b>37.0</b>
<b>Pb</b>	<b>145.7</b>	<b>8.7</b>	<b>24.9</b>	<b>16.8</b>	<b>55.4</b>
<b>Se</b>	<b>78.3</b>	<b>133.9</b>	<b>62.8</b>	0.0	<b>341.0</b>
<b>Zn</b>	<b>77.3</b>	<b>52.2</b>	<b>113.1</b>	<b>47.4</b>	<b>168.4</b>

Los datos en el ANEXO XII muestran las concentraciones promedio de metales, entre los de mayor presencia de origen antropogénico se encuentra cobre con valores de  $34.8 \text{ ng/m}^3$  (s-Comercial),  $26.4 \text{ ng/m}^3$  (s-Habitacional I),  $68.3 \text{ ng/m}^3$  (s-Industrial) y  $37 \text{ ng/m}^3$  (s-Tráfico vehicular). Así mismo, cabe destacar las altas concentraciones de Plomo en el s-Industrial presentando una concentración promedio de  $185.3 \text{ ng/m}^3$ .

De igual manera, se cuantifico la concentración de metales asociados a  $PM_{2.5}$  de origen antropogénico en s-Habitacional II, encontrándose Cu con una concentración de  $37.35 \text{ ng/m}^3$ , Ni con  $2.46 \text{ ng/m}^3$ , Pb con  $28.55 \text{ ng/m}^3$ , Se con  $0.38 \text{ ng/m}^3$  y Zn con  $30.4 \text{ ng/m}^3$ .

En cuanto a concentraciones promedio de metales de origen geológico, entre los de mayor presencia se encuentra aluminio con valores de  $79.6 \text{ ng/m}^3$  (s-Comercial),  $140.4 \text{ ng/m}^3$  (s-Habitacional I),  $213.8 \text{ ng/m}^3$  (s-Industrial) y  $158.0 \text{ ng/m}^3$  (s-Tráfico vehicular).

De igual manera, las concentraciones de metales de origen geológico en s-Habitacional II, presentaron concentraciones de Al con 81.8ng/m<sup>3</sup>, Ba con 5.3 ng/m<sup>3</sup>, Cd con 0.5 ng/m<sup>3</sup> y Mn con 3.9 ng/m<sup>3</sup>.

#### **5.3.1.2.-Variación espacial de Selenio (Se)**

En este estudio se encontraron pequeñas concentraciones de Se y en algunos casos por debajo del límite de detección del ICP-OES, mismas que se reportan como iguales a cero. En s-Tráfico vehicular, s-Comercial y s-Habitacional II se presentaron concentración por debajo del límite de detección la mayoría de los días de muestreo, sin embargo en una ocasión se observaron concentraciones de 2 ng/m<sup>3</sup>, 0.4 ng/m<sup>3</sup> y 3.7 ng/m<sup>3</sup> en s-Tráfico vehicular, s-Comercial y s-Habitacional II, respectivamente. Este metal se considera de origen antropogénico por lo cual esos valores podrían deberse probablemente a las emisiones provenientes de lubricantes y de combustión de gasolina (Naveiro, 2005).

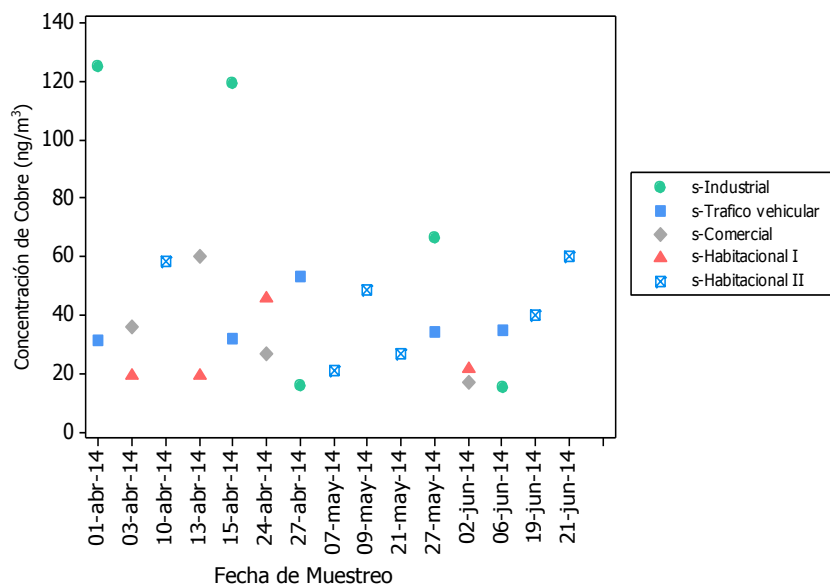
Las concentraciones obtenidas en s-Tráfico vehicular, s-Comercial y s-Habitacional II se sometieron a la Prueba de Grubbs, concluyendo que existe evidencia suficiente para considerar como valores atípicos los datos antes mencionados (Tabla XVI-9, XVI-4 y XVI-15 del ANEXO XVI). Por otra parte en s-Industrial se encontraron dos observaciones por encima del límite de detección, que mediante la Prueba de Grubbs se comprobó que se tratan de valores típicos, por lo cual podríamos suponer que estas variaciones entre los sitios podrían deberse al número limitado de muestreos (Tabla 4-1).

#### **5.3.1.3.-Variación espacial de Cobre (Cu)**

Los datos mostraron a Cu como uno de los metales más abundantes en PM<sub>2.5</sub>, dicho metal se asocia con enfermedades generadas por la producción de ROS en el organismo (Cho et al., 2010).

Podemos observar en los datos presentados en Figura 5-10 que el sitio que presenta valores con concentraciones máximas es s-Industrial, los días 1 de abril (125.1

ng/m<sup>3</sup>) y 15 de abril del 2014 (119.2 ng/m<sup>3</sup>). En cuanto a s-Habitacional I podemos observar concentraciones bajas con una concentración máxima de 45.6 ng/m<sup>3</sup> el día 24 de abril de 2014.



**Figura 5-10.** Variación espacial de Cobre durante la primavera de 2014.

Se realizó la prueba de Grubbs para la identificación de datos atípicos, la información detallada se muestra en las Tablas XVI-6 y XVI-7 del Anexo XVI. La prueba identifico dos valores atípicos, uno con una concentración de 45.6 ng/m<sup>3</sup> en s-Habitacional I y el otro en s-Tráfico vehicular con una concentración de 53.5 ng/m<sup>3</sup>. Estos valores podrían deberse a las actividades propias de estos sitios, probablemente por una mayor afluencia vehicular sobre las vialidades circundantes durante estos dos muestreos.

El sitio con mayores concentraciones es s-Industrial con una media (std) de 46.99 (2.88) ng/m<sup>3</sup>, esto podría deberse a cuestiones similares a las señaladas para s-Tráfico vehicular y s-Habitacional I. Cabe mencionar que en el área circundante a este sitio se desarrollan actividades de quema ilegal de materiales como cables de instalaciones eléctricas, los cuales probablemente impacten de manera significativa en la concentración de este metal algunos días. De igual manera se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Industrial y el resto de los sitios, mostrando que este sitio se encuentra impactado en mayor magnitud.

El análisis estadístico mostro que no existe evidencia significativa de las medias ( $p > 0.05$ ) entre s-Comercial ( $31.17 \text{ ng/m}^3$ ), s-Tráfico Vehicular ( $32.79 \text{ ng/m}^3$ ) lo cual representa que los sitios cuentan con una fuente común la cual podría ser el tránsito vehicular durante las horas de mayor actividad antropogénica, razón por la cual las concentraciones de Cu probablemente se originen del desgaste de los frenos de los automóviles (Song & Gao, 2011; Harrison et al., 2012; Ondráček, et al., 2011).

s-Habitacional I presenta una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la comparación de medias con el resto de los sitios (Tabla XVII-9, Anexo XVII). Al comparar las medias podemos observar que s-Habitacional I presenta una media menor ( $19.89 \text{ ng/m}^3$ ), con lo cual podría especularse que el impacto en este sitio es menor con respecto al resto de los sitios, debido a que en s-Habitacional I las emisiones vehiculares son esporádicas (Tráfico local).

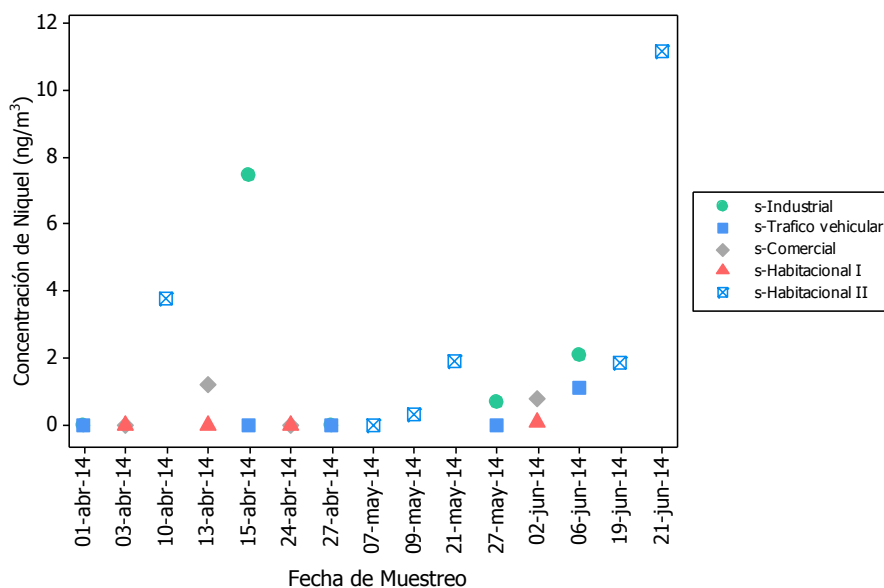
Así mismo el análisis estadístico señalo que existen diferencias significativas entre s-Habitacional II y el resto de los sitios, las concentraciones elevadas en este podrían deberse al transporte de contaminantes de otras zonas de la Ciudad viento arriba con respecto a la dirección predominante del viento (Figura 5-1) y al tráfico vehicular del Blvd. 2000 localizado a 500 metros del sitio.

La variación temporal en el sitio s-Habitacional II durante el verano de 2014 registró una media (std) de  $39.39 (1.23) \text{ ng/m}^3$ , pudiéndose generar este comportamiento debido al mayor transporte de Cobre hacia la zona este de la ciudad, como se muestra en las rosas de viento correspondiente al periodo mencionado (Figura 5.1).

En cuanto a primavera y otoño se encontraron concentraciones con una media (std) de  $35.37 (1.62) \text{ ng/m}^3$  y  $38.09 (1.11) \text{ ng/m}^3$ , respectivamente. Sin embargo en primavera se observa mayor dispersión de datos sin que existan diferencias significativa ( $p > 0.05$ ), lo cual indica que la concentración de Cu no se ve influenciada por la temporada del año, si no por las características del sitios en cuestión.

### 5.3.1.4.-Variación espacial de Níquel (Ni)

En la Figura 5-11 se observa a s-Habitacional II con las concentraciones más altas los días 10 de abril de 2014 (3.8 ng/m<sup>3</sup>) y 21 de abril de 2014 (11.21 ng/m<sup>3</sup>). En cuanto a s-Industrial presenta su mayor observación el día 15 de abril de 2014 (7.5 ng/m<sup>3</sup>).



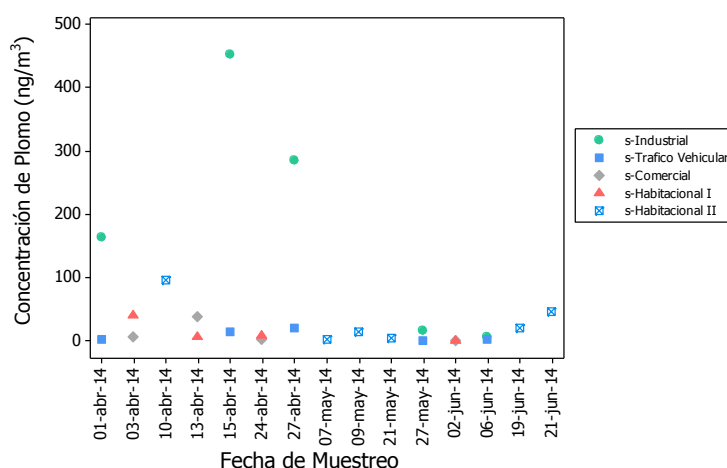
**Figura 5-11.** Variación espacial de Níquel durante la primavera de 2014.

La media (std) de s-Habitacional II, s-Industrial y s-Comercial fueron de 1.7 (3.48) ng/m<sup>3</sup>, 1.62 (2.58) ng/m<sup>3</sup> y 0.99 (1.19) ng/m<sup>3</sup>, respectivamente. Las concentraciones en estos sitios podrían deberse al desgaste de frenos de los vehículos que transitan por ellos. Cabe destacar que Ni es un metal de origen geológico en s-Tráfico vehicular y s-Habitacional I dichos sitios cuentan con una media (std) de 1.02 (1.04) ng/m<sup>3</sup> y 0.56 (3.16) ng/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Sin embargo al comparar las medias no existe evidencia significativa ( $p > 0.05$ ) lo que podría establecer que la contribución antropogénica es similar a la contribución geológica.

### 5.3.1.5.-Variación espacial de Plomo (Pb)

s-Industrial presenta tres de las cinco observaciones con concentraciones mayores a 100 ng/m<sup>3</sup>, los días 1 de abril (164.1 ng/m<sup>3</sup>), 15 de abril (453.1 ng/m<sup>3</sup>) y 27 de abril (285.1 ng/m<sup>3</sup>), estos valores pueden explicarse por la posible resuspensión de partículas conformadas por Pb y otros metales, debido a que esa zona se encontraba una empresa dedicada al reciclaje de acumuladores, la cual fue clausurada por problemas de contaminación ambiental (Cooperación Ambiental de América del Norte, 2002).



**Figura 5-12.** Variación espacial de Plomo durante la primavera de 2014.

En la variación espacial de Pb para primavera podemos observar a s-Industrial con una media (std) de 76.38 (6.2) ng/m<sup>3</sup> con una gran dispersión de sus datos (Figura XIV-1 Anexo XIV). En estudios realizados anteriormente en este sitio (Minguillón et al., 2014) reportan una media de Pb de 255 ng/m<sup>3</sup>. La variación entre el valor obtenido en este estudio (N=5) y el reportado por Minguillón et al., (N=17) podría deberse a las diferencias en los periodos de muestreo, así como por el número de observaciones.

s-Habitacional II mostró una media (std) de 15.60 (4.16) ng/m<sup>3</sup>, con un valor máximo de 96.55 ng/m<sup>3</sup>, el cual podría considerarse como un evento especial presentándose el día 10 de abril de 2014.

El análisis estadístico señaló que existen diferencias significativas entre la media de s-Habitacional II y el resto de los sitios, lo cual podría indicar que probablemente no se cuentan con fuentes de emisión similares o que son impactadas de distinta manera debido al transporte de este contaminante, lo cual podría explicarse con lo señalado por Salcedo et al., (2016) del transporte de Pb, el cual proviene no solo de la cuenca atmosférica de Tijuana, sino además de diversas zonas ubicadas en otros estados de la república que impactan a este sitio.

El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Industrial y el resto de los sitios, señalado que este sitio está siendo impactado en mayor magnitud que el resto, probablemente por una fuente que no está presente en el resto de los sitios.

En lo que respecta a s-Comercial cuenta con una media (std) de 5.08 (4.62)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , y no se observan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias (std) de s-Tráfico vehicular de 4.74 (3.29)  $\text{ng}/\text{m}^3$  y s-Habitacional I de 7.26 (4.13)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , indicando que probablemente estos sitios se encuentran impactados de la misma magnitud o que presentan fuentes similares.

Salcedo et al., (2016) reportan para s-Habitacional II una media (std) de 49.0 (32.2)  $\text{ng}/\text{m}^3$  que al compararlo con la media de verano (30.63  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) se observa una diferencia entre ellas, lo cual podría deberse al diferente periodo de muestreo ya que en el estudio de Salcedo et al. (2016) se llevó a cabo durante Mayo y Junio del 2010.

Al igual que en el caso de Cu, la temporada con mayor concentración de Pb en el s-Habitacional II es verano con una media (std) de 30.63 (1.59)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , en cuanto a primavera y otoño se presenta una media (std) de 11.13 (5.34)  $\text{ng}/\text{m}^3$  y 24.46 (2.12)  $\text{ng}/\text{m}^3$  respectivamente.

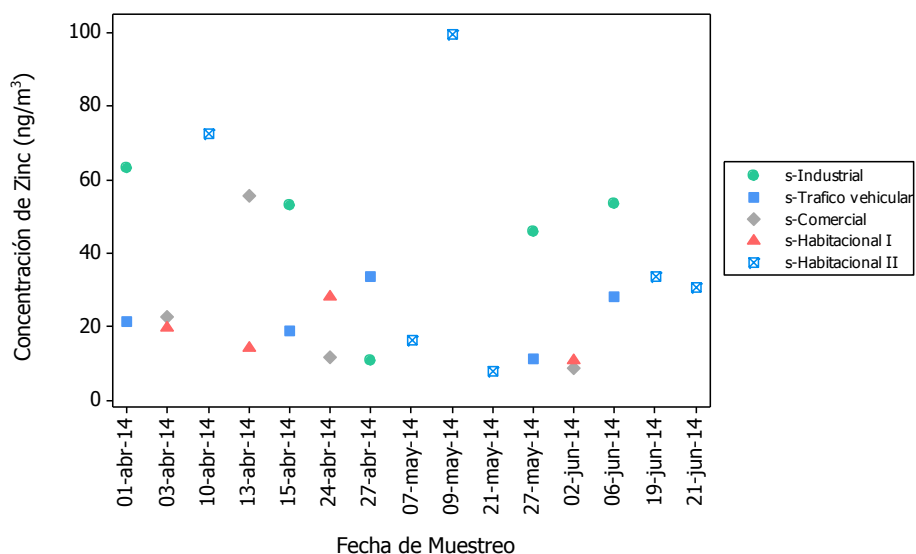
Las variación podrían explicarse a las velocidades promedio en cada una de las temporadas, primavera cuenta con una velocidad de viento de 2.15 m/s esta velocidad incrementa la dispersión de Pb y por lo tanto se observan las concentraciones menores. Verano y otoño muestran una velocidad de 1.74 m/s y 1.88 m/s respectivamente con lo cual se disminuye su dispersión en comparación con primavera.

### 5.3.1.6.- Variación espacial de Zinc (Zn)

En la Figura 5-13 podemos observar que s-Habitacional II presenta un valor máximo de 99.4 ng/m<sup>3</sup> el día 9 de mayo de 2014, s-Industrial cuenta con un máximo de 63.21 ng/m<sup>3</sup> el día 1 de abril de 2014.

Las emisiones de Zn pudieran provenir de distintas fuentes, entre las que cabe destacar las que se originan por el desgaste de llantas como una de las principales (Adachi & Tainosho, 2004). De igual manera la literatura señala valores quince veces mayores por el uso de llantas que por las emisiones provenientes de frenos en algunas zonas de Estados Unidos como Massachusetts (Apeageyi et al., 2011).

Esta es la razón por la cual s-Industrial podría mostrar concentraciones elevadas, debido a la alta afluencia vehicular, concordando con estudios que señalan que la presencia de algunos metales relacionados con el tráfico vehicular provienen de emisiones no generadas por el escape (Keuken et al., 2010) .



**Figura 5-13.** Variación espacial de Zn durante la primavera de 2014.

La media (std) de s-Industrial es de 38.94 (2.06) ng/m<sup>3</sup> considerándose el sitio con concentraciones mayores.

s-Habitacional II muestra una media (std) de 31.28 (2.56) ng/m<sup>3</sup>, observándose una mayor dispersión de los datos, lo cual se puede atribuir las concentraciones de Zinc al

desgaste de llantas y frenos, en particular a las llantas debido a que en áreas cercanas al punto de muestro se encuentran terrenos baldíos y calles sin pavimentar que incrementan la fricción con las llantas, así como su desgaste. s-Tráfico vehicular presenta una media (std) de 21.18 (1.52) ng/m<sup>3</sup> en cuanto a s-Comercial su media (std) es de 19.01 (2.26) ng/m<sup>3</sup> y s-Habitacional I 17.07 (1.52) ng/m<sup>3</sup>.

El análisis estadístico señala que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de s-Tráfico vehicular y s-Comercial mostrando que estos dos sitios se encuentran impactados por fuentes similares, como podría ser la afluencia vehicular en estas áreas.

En cuanto a s-Industrial mostro diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias del resto de los sitios, señalando que esta área se encuentra afectada en mayor magnitud que el resto, lo cual podría explicarse por el tipo de actividad desarrollada. s-Habitacional II mostro diferencias significativas entre su media y la del resto de los sitios, mostrando que este sitio se encuentra impactado de diferente manera, o que posiblemente exista una fuente que no se presenta en s-Habitacional I, s-Comercial, s-Tráfico vehicular. Otra razón por la cual se encontraron altas concentraciones de este metal es la dirección de vientos predominantes de noroeste hacia el sureste de la ciudad, lo cual podría indicar que s-Habitacional II es un sitio receptor posiblemente impactado por las emisiones originadas viento arriba, coincidiendo con lo reportado por Salcedo et al (2016).

La variación de Zn en s-Habitacional II durante la primavera presenta una media (std) de 30.88 (3.36) ng/m<sup>3</sup> con una dispersión elevada de sus datos (Figura XVIII-1, Anexo XVIII). En cuanto a verano y otoño presentan una media (std) de 25.4 (1.45) ng/m<sup>3</sup> y 14.48 (1.79) ng/m<sup>3</sup>, respectivamente.

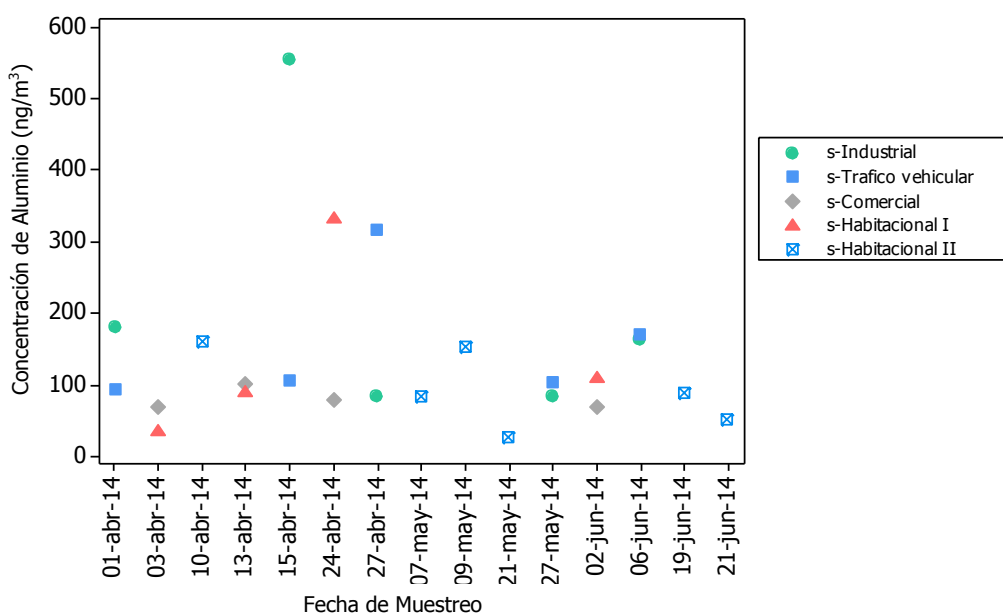
### ***5.3.1.7.- Variación espacial de Cromo (Cr)***

Cromo es un metal de origen geológico en s-Industrial, s-Tráfico vehicular, s-Habitacional I y s-Habitacional II presentando concentraciones en la mayoría de los sitios por debajo del límite de detección. En cuanto a s-Comercial se observó un evento especial el día 13 de abril de 2014 con una concentración de 15.4 ng/m<sup>3</sup>, lo cual podría deberse posiblemente a la presencia de una fuente intermitente, por ejemplo industria de la pintura sin control de emisiones las cuales se ubican cerca de este sitio. Sin embargo el resto de los días se presentan valores por debajo del límite de detección del equipo utilizado en la cuantificación.

Las concentraciones obtenidas en s-Comercial se sometieron a la Prueba de Grubbs, concluyendo que existe evidencia suficiente para considerar que la concentración de Cr del día 19 de junio como un valor atípico (Tabla XVI.3, ANEXO XVI).

### 5.3.1.8.-Variación espacial de Aluminio (Al)

En la Figura 5-14 se puede observar que los sitios con mayores concentraciones en la primavera de 2014 son s-Industrial con un máximo de 555.1 ng/m<sup>3</sup> el día 15 de abril, s-Tráfico vehicular con un máximo de 316.3 ng/m<sup>3</sup> el día 27 de abril y s-Habitacional I con un valor máximo de 332.1 ng/m<sup>3</sup> el día 24 de abril.



**Figura 5-14.** Variación espacial de Al para la primavera del 2014.

La variación de Aluminio para s-Industrial presenta una media (std) de 163.8 (2.16) ng/m<sup>3</sup>. s-Tráfico vehicular y s-Habitacional I cuentan con medias (std) de 140.75 (1.67) ng/m<sup>3</sup> y 101.21 (2.58) ng/m<sup>3</sup>, respectivamente. Al tratarse del metal más abundante en el suelo de la ciudad, estos valores elevados podrían deberse a la resuspensión de material particulado conformado por este metal. El resto de los sitios presenta medias (std) de 78.59 (1.20) ng/m<sup>3</sup> en s-Comercial y 79.57 (1.96) ng/m<sup>3</sup> en s-Habitacional II.

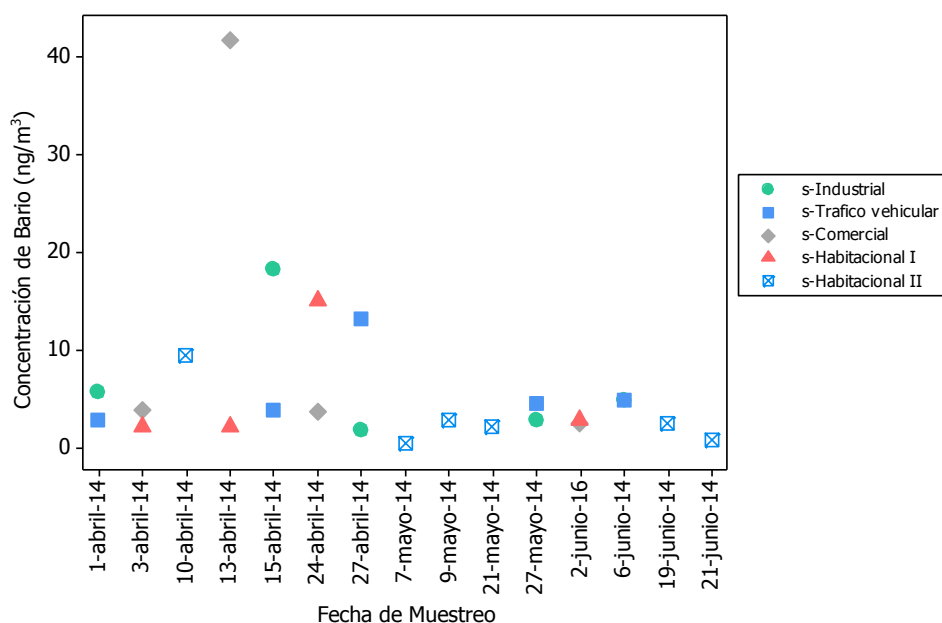
El análisis estadístico demostró que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las medias de los distintos sitios, esto podría deberse a que Al es un metal de origen geológico que impacta con la misma magnitud todos los sitios.

La variación temporal de Aluminio en s-Habitacional II en primavera se observa una media (std) de 86.31 (2.27) ng/m<sup>3</sup> siendo la temporada con mayores concentraciones, después encontramos a otoño con una media (std) de 79.04 ng/m<sup>3</sup> (1.64), que podría deberse al transporte de contaminantes del Noroeste al Suroeste de la ciudad que se ve incrementado en esta temporada (Figura 5-1). En verano presentó una media (std) de 48.38 (1.57) ng/m<sup>3</sup>, debido a que en esta época presenta la capa de mezclado una mayor altura lo que incrementa la dispersión. De igual manera se observó que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias.

### 5.3.1.9.-Variación espacial de Bario (Ba)

En la Figura 5-15 se puede observar que los valores con máximas concentraciones son en s-Comercial de 41.8 ng/m<sup>3</sup> el día 14 de abril, en s-Industrial de 18.3 ng/m<sup>3</sup> el día 15 de abril, en s-Habitacional I 15.0 ng/m<sup>3</sup> el día 24 de abril, en s-Tráfico vehicular de 13.2 ng/m<sup>3</sup> el día 27 de abril. Estos valores máximos podrían deberse a día de mayor afluencia vehicular. Chiang & Huang, (2009) reportan emisiones de Ba y Se dentro de la fracción PM<sub>2.5</sub>, producto de la fricción mecánica y desgaste de frenos.

Se llevo a cabo la prueba de Grubbs para los valores maximos de s-Comercial, s-Industrial, s-Tráfico vehicular y s-Habitacional encontrandose que se trata de datos atipicos de concentraciones de este metal (Tabla XVI-1, XVI-12, XVI-8 y XVI-5 del Anexo XVI).



**Figura 5-15.** Variación espacial de Bario durante la primavera de 2014.

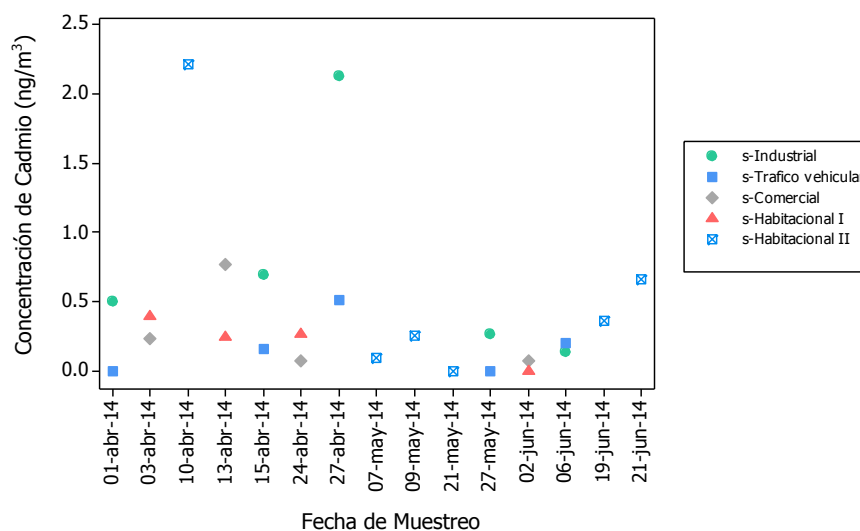
La variación de Ba para s-Tráfico vehicular presenta una media (std) de 3.92 (1.27) ng/m<sup>3</sup>, s-Industrial de 3.52 (1.66) ng/m<sup>3</sup>, s-Comercial de 3.30 (1.28) ng/m<sup>3</sup>, s-Habitacional I de 2.38 (1.15) ng/m<sup>3</sup> y s-Habitacional II de 1.88 (2.99) ng/m<sup>3</sup>, los resultados obtenidos podrían deberse a la resuspensión de material particulado con la presencia de este metal.

El análisis estadísticos de los resultados mostro que no existen diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las medias de los sitios, lo cual podría indicar que se encuentran impactados en similar magnitud o que cuentan con fuentes similares.

Por otra parte en la variación estacional en s-Habitacional II se observó a primavera con una media (std) de 2.17 (3.69)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , verano con 1.62 (1.68)  $\text{ng}/\text{m}^3$  y otoño con 10.24 (1.25)  $\text{ng}/\text{m}^3$ . El muestra diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre la media de otoño y el resto de las temporadas, lo cual podría explicarse por la altura menor de la capa de mezcla en estación, resultando en una menor dispersión de contaminantes.

### 5.3.1.10.-Variación espacial de Cadmio (Cd)

La variación espacial de Cd se muestra en la Figura 5-16, observándose en s-Industrial un máximo de 2.13 ng/m<sup>3</sup> el día 27 de abril. En el caso de s-Habitacional II presenta un evento especial el día 10 de abril, presentando una concentración máxima de 2.21 ng/m<sup>3</sup>.



**Figura 5-16.** Variación espacial de Cd en la primavera de 2014.

La variación espacial de Cd muestra que los sitios con mayores concentraciones son s-Industrial con una media (std) de 0.48 (2.84) ng/m<sup>3</sup>, s-Habitacional I con una media (std) de 0.48 (1.99) ng/m<sup>3</sup> y s-Habitacional II 0.48 (3.06) ng/m<sup>3</sup>. s-Comercial y s-Tráfico vehicular presentaron concentraciones con una media (std) de 0.25 (3.56) ng/m<sup>3</sup> y 0.44 (2.38) ng/m<sup>3</sup>, respectivamente.

No existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de los sitios, lo cual indica que son impactados de la misma forma por procesos de resuspensión de este metal de origen geológico.

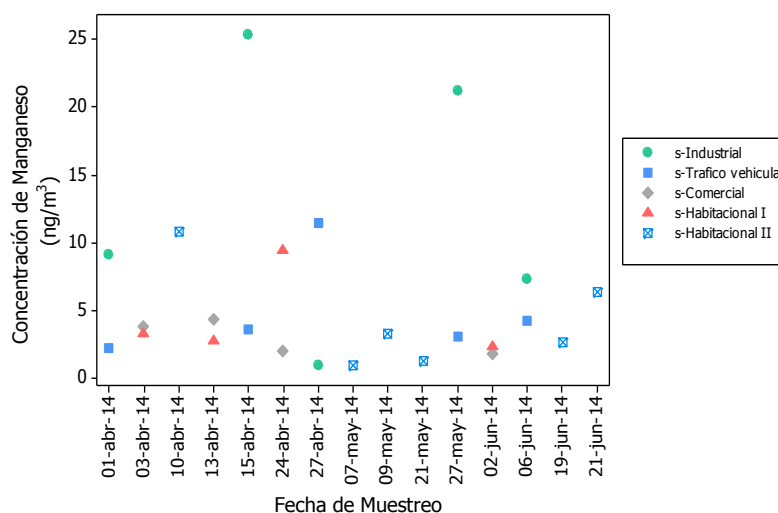
La variación temporal no muestra diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias presentadas en las estaciones del año, lo cual indica que s-Habitacional II es afectado de la misma manera por la resuspensión geológica, sin importar la temporada del

año. Otoño y verano presentan una media (std) de 0.40 (2.10) ng/m<sup>3</sup> y 0.40 (1.79) ng/m<sup>3</sup> respectivamente.

En primavera se observa una media (std) de 0.2 (6.19) ng/m<sup>3</sup>, con una gran dispersión de los datos, consecuencia del evento especial del día 10 de abril de 2014 (Figura XVIII-2, Anexo XVIII).

### 5.3.1.11.-Variación espacial de Manganeso (Mn)

La Figura 5-17 muestra las concentraciones máximas durante el periodo de muestreo, obteniéndose en s-Industrial valores de 25.37 ng/m<sup>3</sup> (15 de abril) y de 21.2 ng/m<sup>3</sup> (27 de mayo). En la misma figura se puede observar que en el mes de abril se presentaron valores mayores con respecto a mayo y junio.



**Figura 5-17.** Variación espacial de Mn durante la primavera del 2014.

s-Industrial cuenta con una media (std) de 8.1 (4.47) ng/m<sup>3</sup>, con un valor máximo de 25.37 ng/m<sup>3</sup>. El resto de los sitios presentan observaciones promedio menores a los 4 ng/m<sup>3</sup>. A pesar de contar con valores de por lo menos el doble, s-Industrial no cuenta con diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de s-Tráfico vehicular, s-Comercial y s-Habitacional I, lo cual indica que los sitios se encuentran impactados de la misma manera.

s-Habitacional II muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con la media de s-Industrial mostrando que este sitio se encuentra impactado en menor magnitud que s-Industrial, a su vez se observa que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre la media de s-Habitacional II y s-Tráfico vehicular, s-Comercial, s-Habitacional I lo cual podría indicar que se encuentran impactados de maneras similares.

La variación temporal de Mn en s-Habitacional II no muestra diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias, observándose las mayores concentraciones en otoño y verano con una media (std) de 3.87 (1.40)  $\text{ng}/\text{m}^3$  y 3.38 (4.47)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , respectivamente. Esto podría deberse a un mayor transporte de este metal emitido desde la parte oeste de la ciudad hacia este sitio considerado como receptor (Figura 5-1) (Salcedo, et al., 2016; Takahama, et al., 2014), coincidiendo con las direcciones de las plumas predominantes reportadas por Bei, et al. (2013). En primavera se presentó la menor magnitud del valor de media (std), siendo de 2.54 (4.47)  $\text{ng}/\text{m}^3$ .

#### ***5.3.1.12.-Variación espacial de Molibdeno (Mo)***

Molibdeno es un metal de origen geológico para todos los sitios presentando concentraciones en la mayoría de los sitios por debajo del límite de detección, sin embargo en s-Industrial se obtuvieron 2 observaciones, los días 1 y 15 de Abril del 2014.

Estas concentraciones podrían deberse a un evento especial, coincidiendo con días de mayores concentraciones de metales como Al. Esto podría deberse a la resuspensión de material particulado conformado por este metal.

### 5.3.1.13.- Comparación con otras partes del mundo

En la Tabla 5-4 se observa la concentración de metales reportada en distintas partes del mundo comparada con los datos obtenidos en este estudio, mostrando a la Ciudad de Tijuana con concentraciones menores a las reportadas por Herrera, et al., (2012) en Guanajuato.

En cuanto a Cu y Pb, Tijuana se muestra entre las ciudades con mayores concentraciones junto con Guadalajara y Taiwán. En cuanto a Ni se puede observar que los datos obtenidos en este estudio son similares con respecto a todas los sitios de USA.

**Tabla 5-4.** Tabla comparativa de metales asociados a PM<sub>2.5</sub>.

Lugar	Concentración de metal (ng/m3)									Referencia
	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	
Long Beach, USA	0.24	n.d.	0.14	1.43	5.84	2.45	2.01	n.d.	17.00	Saffari et al., 2013
Los Ángeles, USA	0.22	n.d.	0.05	1.22	9.02	1.38	1.79	n.d.	8.05	Saffari et al., 2013
Riverside, USA	0.27	n.d.	0.07	1.48	8.93	1.23	2.52	n.d.	10.00	Saffari et al., 2013
Lancaster, USA	0.13	n.d.	0.06	0.68	4.01	0.38	0.98	n.d.	5.95	Saffari et al., 2013
Singapore	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16.32	n.d.	30.75	n.d.	52.00	Wu et al., 2007
Taiwan	n.d.	n.d.	n.d.	37.38	49.46	n.d.	144.25	n.d.	157.93	Wu et al., 2007
China	n.d.	n.d.	n.d.	1.78	21.71	n.d.	13.00	n.d.	132.49	Wu et al., 2007
Guangzhou, China	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	0.07	0.03	n.d.	0.02	0.91	Wang et al., 2006
Guanajuato, México	n.d.	n.d.	n.d.	18.00	44.00	12.00	123.00	n.d.	430.00	Herrera et al. 2012
Tijuana, B.C. México	n.d.	4.7	n.d.	n.d.	35.69	1.21	22.74	n.d.	24.27	Este estudio

**n.d.** = no detectado.

### 5.3.2.-Variación temporal de metales traza asociados a PM<sub>0.49</sub>

Se cuantifico la concentración de Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn en muestras de PM<sub>0.49</sub> colectadas en s-Habitacional II. Sin embargo las concentraciones de algunos metales presentaron niveles de concentraciones pequeñas, fuera del límite de detección como es el caso de As, Co, Cr, la información sobre los límites de detección se muestran en el Anexo XI. En cuanto al resto de los sitios se muestran las concentraciones reportadas por Gutiérrez, (2014), los detalles se encuentran en el ANEXO VIII.

#### 5.3.2.1.-Factor de enriquecimiento

En la Tabla 5-5 se muestran los Factores de Enriquecimiento obtenidos para s-Habitacional II, señalando a Cu, Ni, Pb, Se y Zn como metales de origen antropogénico, dichos metales pueden deberse al desgaste de frenos, llantas, provenientes del parque vehicular (Harrison et al., 2012; Sahu et al., 2011; Song & Gao, 2011; Wahlin et al., 2006).

**Tabla 5-5.** Factores de Enriquecimiento asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Habitacional II para la primavera del 2015.

Metales	S-Habitacional II (N=10)
As	0.0
Ba	0.3
Co	0.0
Cr	0.0
Cu	62.9
Mn	0.5
Ni	5.4
Pb	9.3
Se	841.9
Sr	0.0
Zn	56.5

En la Tabla 5-6 se muestran los factores de enriquecimiento en los cuales se observan como metales de origen antropogénico en s-Industrial As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn; en s-Tráfico vehicular a As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sr, Zn; en s-Comercial a As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sr, Zn; en s-Habitacional I a As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn.

Al comparar los resultados obtenidos por Gutiérrez, (2014) y los obtenidos en este estudio para s-Habitacional II se observan algunas diferencias en metales como As, Co, Cr, mismos metales que durante el análisis se mostraron concentraciones por debajo del límite de detección.

**Tabla 5-6.** Factores de Enriquecimiento asociado a PM<sub>0,49</sub> reportados por Gutiérrez (2014).

Metales	Sitio			
	s-Industrial (N=3)	s-Tráfico vehicular (N=3)	s-Comercial (N=4)	s-Habitacional I (N=2)
As	241	238	272	49
Ba	6	4	9	9
Co	15	262	35	21
Cr	75	520	83	35
Cu	74	344	98	50
Mn	1	2	1	1
Ni	45	117	39	15
Pb	83	17	16	14
Se	93	363	463	846
Sr	4	44	7	4
Zn	239	2084	446	136

### 5.3.2.2.-Variación espacial de Cobre (Cu)

En la Figura 5-18 se muestra la serie de tiempo para Cu en la primavera de 2015. s-Habitacional II presenta un valor máximo el día 11 de marzo de 2015 ( $28.1 \text{ ng/m}^3$ ), el cual al observar la tendencia del resto de los datos se puede considerar como un evento especial.



**Figura 5-18.** Variación de Cobre en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.

Los datos reportados por Gutiérrez (2014) muestran la variación espacial de Cu asociado a la fracción  $\text{PM}_{0.49}$ , presentando s-Industrial una media (std) de  $15.51 (2.69) \text{ ng/m}^3$  y un valor máximo de  $67 \text{ ng/m}^3$ .

Por otra parte, s-Habitacional I muestra una media (std) de  $10.15 (1.96) \text{ ng/m}^3$ . Las concentraciones elevadas en esta área podrían deberse al transporte de contaminantes acarreados por vientos de baja frecuencia del sureste hacia el noroeste de la ciudad (Figura IV.1, Anexo IV).

En cuanto a s-Comercial y s-Tráfico vehicular se observan medias (std) de  $6.51 (1.35) \text{ ng/m}^3$  y  $4.27 (2.68) \text{ ng/m}^3$ .

En la presente investigación se encontró una media (std) de  $9.51 (1.99) \text{ ng/m}^3$  para s-Habitacional II, lo cual podría explicarse por los vientos del noroeste hacia el sureste de la Ciudad que podrían incrementar las concentraciones de este metal.

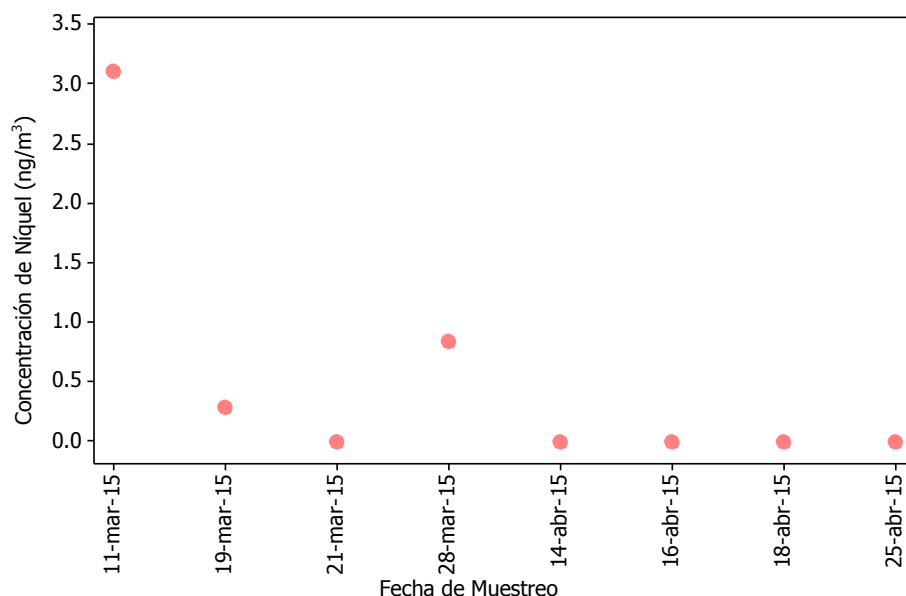
El análisis estadístico señaló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Industrial y el resto de los sitios, mostrando que este sitio se encuentra impactado en mayor magnitud.

Se observó que no existe evidencia significativa de las medias ( $p > 0.05$ ) entre s-Comercial y s-Tráfico Vehicular, lo cual representa que los sitios cuentan con una fuente común la cual podría ser el tránsito vehicular durante las horas de mayor actividad antropogénica, razón por la cual las concentraciones de Cu probablemente se originen del desgaste de los frenos de los automóviles (Song & Gao, 2011; Harrison et al., 2012; Ondráček et al., 2011).

s-Habitacional I y s-Habitacional II no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre sus medias, lo cual podría representar que los sitios cuentan con una fuente en común.

#### ***5.3.2.3.-Variación espacial de Níquel (Ni)***

La variación de Ni asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II se muestra en la Figura 5-19, observándose una media (std) de 0.96 (1.90)  $ng/m^3$  y un máximo de 3.1  $ng/m^3$ . Este valor elevado podría deberse a un día con tráfico vehicular elevado, lo cual incrementa las concentraciones asociadas a Ni (Pérez et al., 2010).



**Figura 5-19.** Variación de Ni en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.

Los datos reportados por Gutierrez (2014) señalan al sitio s-Industrial con mayor concentración asociada a  $PM_{0.49}$ , con un máximo de  $28 \text{ ng/m}^3$ . Este valor podría deberse al a las actividades desarrolladas en este sitio, así como el tráfico de vehículos de transporte pesado en el área.

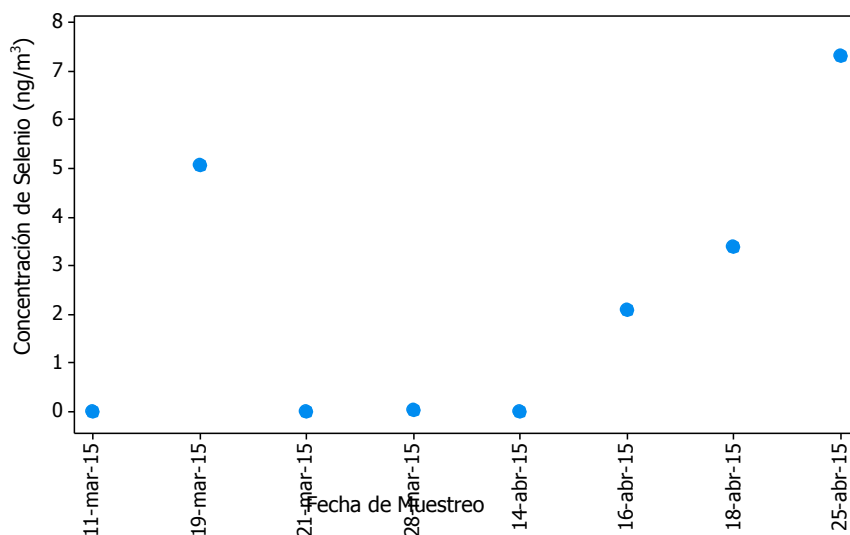
s-Habitacional I presenta una media (std) de  $1.44 (3.04) \text{ ng/m}^3$ , s-Habitacional II de  $0.96 (1.9) \text{ ng/m}^3$ , s-Tráfico vehicular de  $0.99 (1.41) \text{ ng/m}^3$  y s-Comercial de  $1.77 (1.48) \text{ ng/m}^3$ .

El análisis estadístico (t-student) de los datos muestra que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias de s-Industrial y s-Habitacional II, lo cual podría indicar que los sitios cuentan con fuentes de emisión de Níquel distintas o que están siendo afectados en diferente magnitud.

En cuanto al resto de los sitios no existen diferencias significativas entre las medias de los sitios ( $p > 0.05$ ) indicando que estos sitios son impactados por fuentes similares.

#### 5.3.2.4.- Variación espacial de Selenio (Se)

La variación de Se asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II se muestra en la Figura 5-20, observándose una media (std) de 1.26 (5.9)  $ng/m^3$  y un máximo de 7.31  $ng/m^3$ .



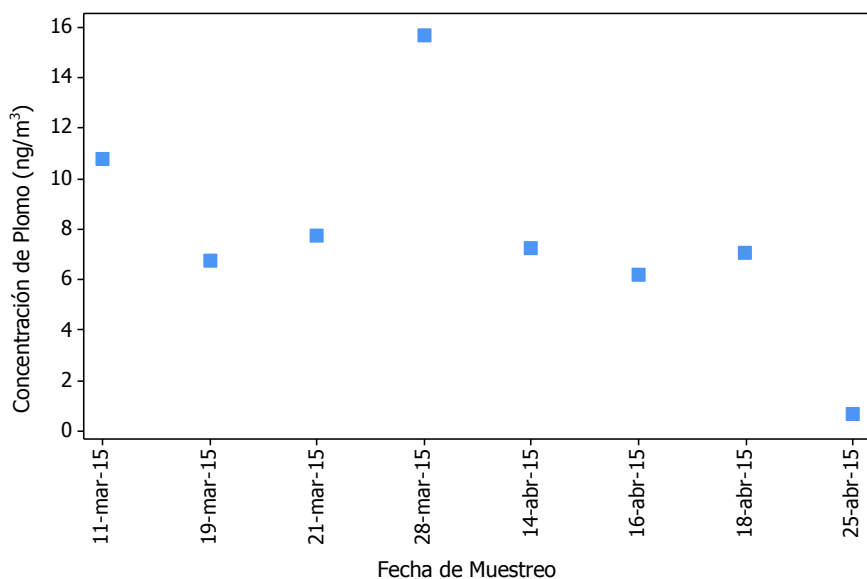
**Figura 5-20.** Variación espacial de Se asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II.

Los datos reportados por Gutiérrez (2014), muestran concentraciones posiblemente por debajo del límite de detección en el s-Tráfico vehicular, lo cual podría indicar que el sitio no se encuentra impactado por este metal o las concentraciones se encuentran por debajo de límite de detección del equipo utilizado en la cuantificación.

En cuanto al resto de los sitios el análisis estadístico mostro que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de s-Industrial ( $1.41 ng/m^3$ ), s-Comercial ( $1.19 ng/m^3$ ), s-Habitacional I ( $2 ng/m^3$ ) y s-Habitacional II ( $1.26 ng/m^3$ ), lo cual podría indicar que los sitios se encuentran impactados de manera similar.

### 5.3.2.5.-Variación espacial de Plomo (Pb)

La variación de Pb asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II se muestra en la Figura 5-21, observándose una media (std) de 8.65 (1.95)  $ng/m^3$  y un máximo de 15.65  $ng/m^3$ .



**Figura 5-21.** Variación de Pb en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.

Los datos reportados por Gutiérrez, (2014) señalan al sitio s-Industrial con mayor concentración asociada a  $PM_{0.49}$ , con un máximo de 696  $ng/m^3$ . Los valores elevados en este sitio se deben a la resuspensión de Pb asociado al sitio donde se encuentra el área de muestreo, lo cual coincide con lo reportado por Salcedo et al., (2016).

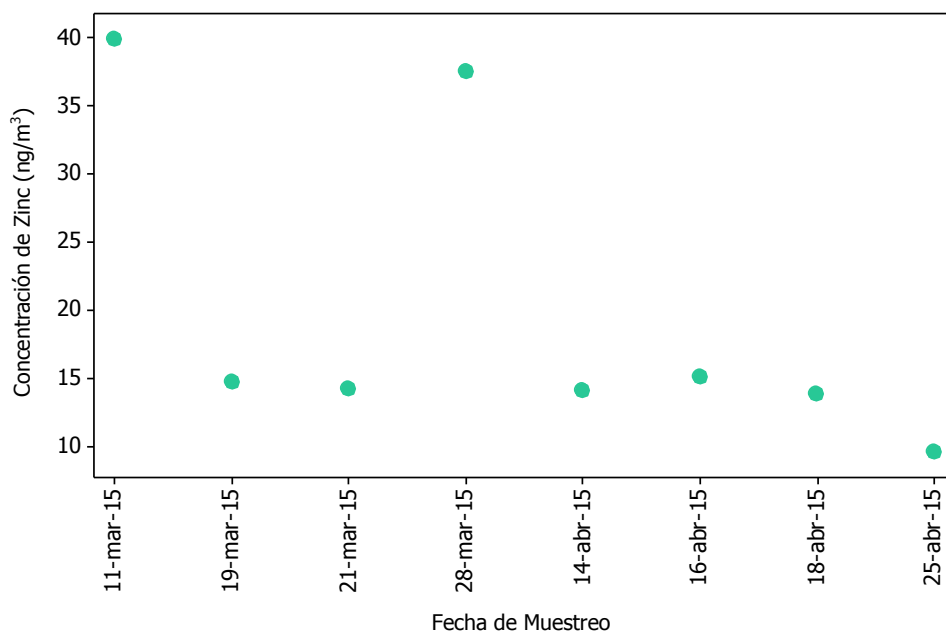
s-Habitacional I presenta una media (std) de 10.15 (1.96)  $ng/m^3$ , s-Habitacional II de 8.65 (1.95)  $ng/m^3$ , s-Tráfico vehicular de 3.8 (3.39)  $ng/m^3$  y s-Comercial de 6.51 (1.35)  $ng/m^3$ .

El análisis estadístico señaló que no existen diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre la media de s-Industrial y el resto de los sitios, mostrando que los sitios se encuentran impactados por fuentes similares.

s-Tráfico vehicular mostro diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre su media y la de s-Habitacional I y s-Habitacional II, lo cual podría indicar este sitio se encuentra impactado en menor magnitud que s-Habitacional I y II.

### 5.3.2.6.-Variación espacial de Zinc (Zn)

La Figura 5-22 muestra la variación de Zn en s-Habitacional II con una media (std) de 18.16 (1.62)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , presentando dos valores máximos los días 11 y 28 de marzo de 2015.



**Figura 5-22.** Variación de Zn en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.

El análisis estadístico de los resultados muestra que existen diferencias significativas entre la media de s-Habitacional II y el resto de los sitios ( $p < 0.05$ ), lo cual podría indicar que el sitio está siendo impactado en menor magnitud por las distintas fuentes.

En cuanto a s-Comercial presenta una media (std) de 68.79 (1.22)  $\text{ng}/\text{m}^3$ , s-Habitacional I de 46.81 (1.99)  $\text{ng}/\text{m}^3$  y s-Industrial de 80.99 (1.44)  $\text{ng}/\text{m}^3$ . En el análisis estadístico se encontró que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre sus medias.

s-Tráfico vehicular cuenta con una media (std) de 42.89 ng/m<sup>3</sup> (1.19) asociado a la alta afluencia vehicular, presentando diferencias significativas con las medias de s-Comercial, s-Industrial y s-Habitacional II ( $p < 0.05$ ) pero no con s-Habitacional I ( $p > 0.05$ ), esto nos indica que s-Tráfico vehicular presenta condiciones similares en cuanto afluencia vehicular con s-Habitacional I, impactándolos de manera equivalente, contrario al comportamiento observado en el resto de los sitios.

#### **5.3.2.7.- Variación espacial de Molibdeno (Mo)**

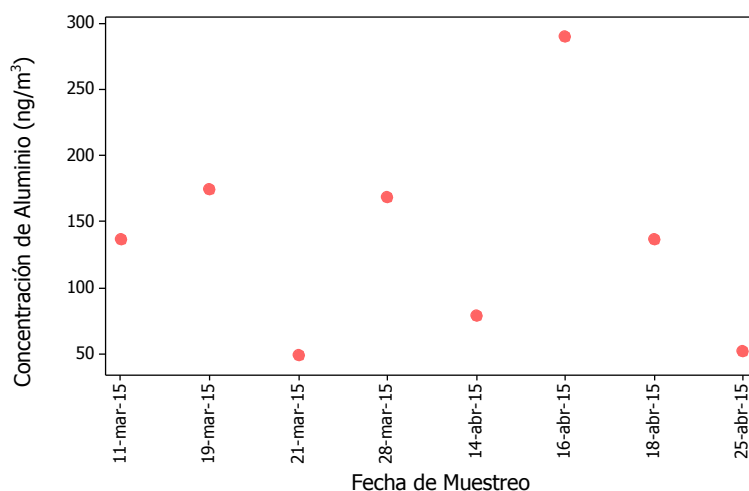
s-Habitacional II mostro un evento especial para Molibdeno el día 28 de marzo de 2015 con una concentración de 4.8 ng/m<sup>3</sup>, sin embargo el resto de los días se presentan valores por debajo del límite de detección (0.1 µg/mL).

Este evento especial podría deberse a la resuspensión de material particulado de esta fracción, en conjunto con emisiones provenientes de freno de vehículos y desgaste de neumáticos (Wahlin et al., 2006; Apegyei et al., 2011; Bukowiecki et al., 2010).

Las concentraciones obtenidas en s-Habitacional II se sometieron a la Prueba de Grubbs, concluyendo que existe evidencia suficiente para considerar que la concentración de Mo del día 28 de marzo como un valor atípico (Tabla XVI-16, ANEXO XVI).

### 5.3.2.8.- Variación espacial de Aluminio (Al)

Por otra parte la variación de Al en la primavera de 2015 (Figura 5-23) en s-Habitacional II muestra una media (std) de 115.46 (1.88) ng/m<sup>3</sup>, presentando un valor máximo de 290.78 ng/m<sup>3</sup> el día 16 de abril el cual coincide con el periodo de velocidad máxima promedio (3.33 m/s), dando esto como resultado una mayor resuspensión de material particulado en este día.

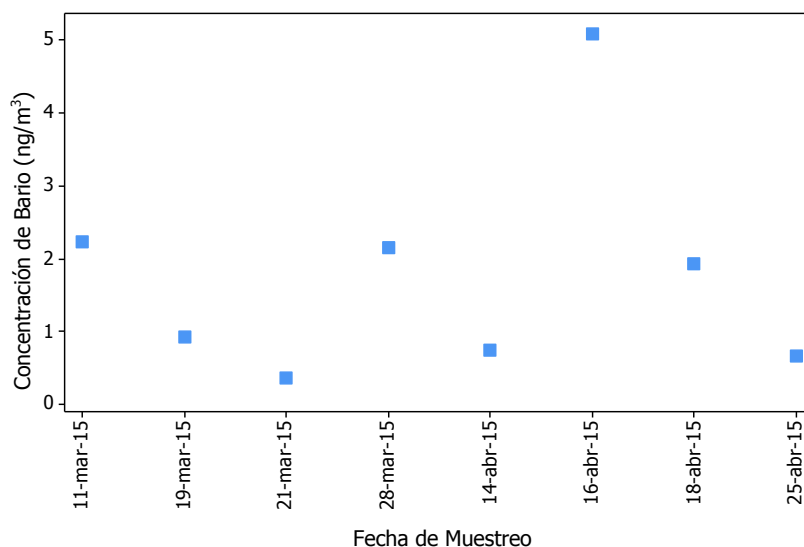


**Figura 5-23.** Variación de Al en s-Habitacional durante la primavera de 2015.

### 5.3.2.9.- Variación espacial de Bario (Ba)

Los datos obtenidos para Ba se sometieron a la prueba de Ryan-Joiner, la hipótesis que plantea que presenta un comportamiento de distribución normal fue rechazada por lo cual en el análisis de resultados se muestra las medianas (Figura XVI-74, Anexo XVI).

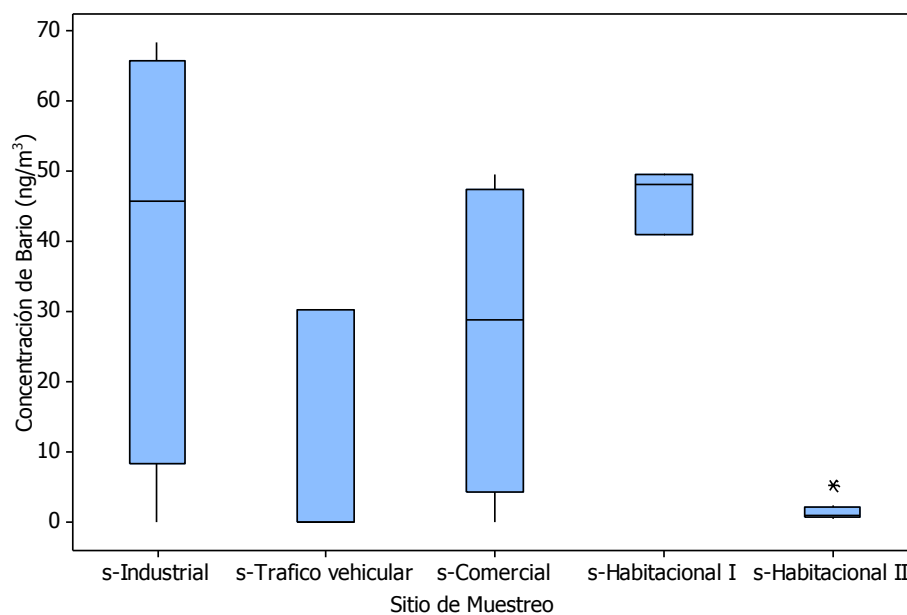
La variación de Ba en la primavera de 2015 (Figura 5-20) en s-Habitacional II muestra una mediana de 1.0 ng/m<sup>3</sup> con un valor máximo el día 16 de abril de 5.09 ng/m<sup>3</sup>, lo cual podría deberse a la mayor resuspensión de material particulado en este día.



**Figura 5-24.** Variación de Ba en s-Habitacional durante la primavera de 2015.

Los datos reportados por Gutiérrez, (2014) en comparación con s-Habitacional II se muestran en la Figura 5-25, señalando para s-Habitacional I una mediana de 48.2 ng/m<sup>3</sup>, siendo el sitio con mayores concentraciones. Estos valores podrían posiblemente deberse a la presencia de diversas imprentas en el área, la Agencia de Protección al Ambiente de California, (1998) señala la generación de residuos de Ba por esta actividad.

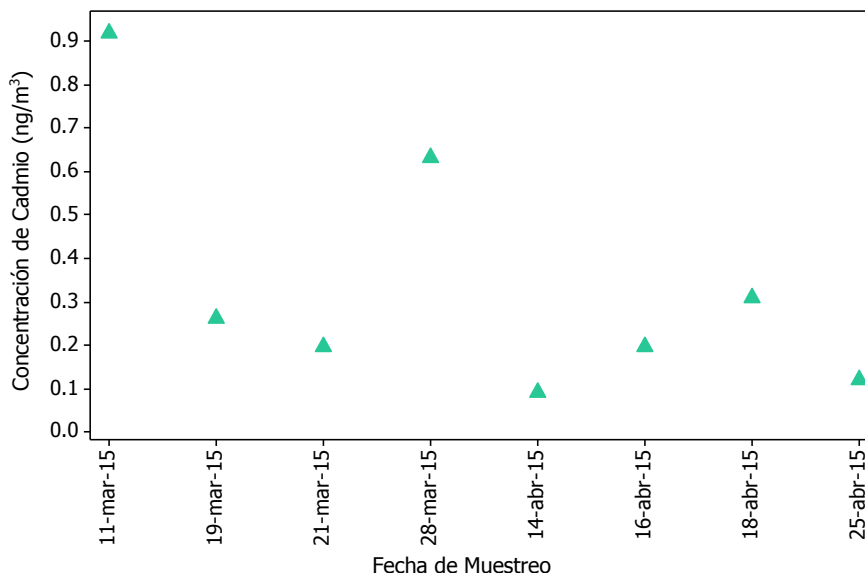
En cuanto al resto de los sitios se presenta a s-Industrial con una mediana de 45.8 ng/m<sup>3</sup>, lo cual que podrían deberse a las actividades desarrolladas en el área, s-Comercial de 28.9 ng/m<sup>3</sup>, s-Tráfico vehicular una media de 0 ng/m<sup>3</sup>, s-Habitacional II de 1.003 ng/m<sup>3</sup>.



**Figura 5-25.** Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación espacial de Ba durante la primavera de 2014. (El asterisco representa una observación inusualmente grande; las cajas y líneas representan el 25, 50 y 75% de los cuartiles).

### 5.3.2.10.- Variación espacial de Cadmio (Cd)

La variación de Cd en la primavera de 2015 (Figura 5-26) en s-Habitacional II muestra una media (std) de 0.24 (2.17) ng/m<sup>3</sup> con un valor máximo de 0.92 ng/m<sup>3</sup> el día 11 de marzo.



**Figura 5-26.** Variación de Cd en s-Habitacional durante la primavera de 2015.

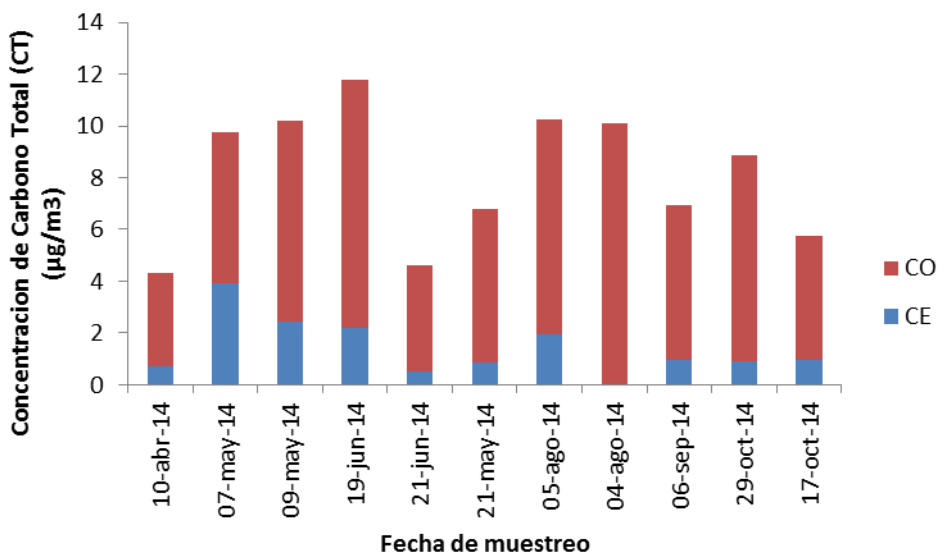
Los datos reportados por Gutierrez (2014) señalan al sitio s-Industrial con mayor concentración asociada a PM<sub>0.49</sub>. Este valor podría deberse a las actividades desarrolladas en este sitio, así como el tráfico vehicular

s-Habitacional I presenta una media (std) de 0.43 (2.52) ng/m<sup>3</sup>, s-Habitacional II de 0.24 (2.17) ng/m<sup>3</sup>, s-Tráfico vehicular de 0.26 (10.17) ng/m<sup>3</sup> y s-Comercial de 0.18 (7.49) ng/m<sup>3</sup>.

El análisis estadístico demostró que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las medias de los distintos sitios, esto podría deberse a que Cd es un metal de origen geológico que impacta con la misma magnitud todos los sitios.

#### 5.4.- Análisis de Contenido de Carbono Orgánico y Elemental

Las concentraciones de Carbono Orgánico (CO), Carbono Elemental (CE) y Carbono Total (CT) para s-Habitacional II se presentan en la Figura 5-27, observándose una media (std) de 8.40 (1.69)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1.39 (2.08)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 9.68 (1.70)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.



**Figura 5-27.** Variación de CO y CE asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Habitacional II.

En la Tabla 5-7 se muestran los resultados obtenidos de esta investigación los cuales se comparan con los reportados en otros estudios. Se observa que la ciudad de Tijuana presenta concentraciones similares de CO a las reportadas en la Ciudad de México por Vega et al., (2011).

A su vez los datos reportados para CO coinciden con lo reportado por Salcedo et al. (2016), señalando una media para CO de 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo no se muestra concordancia con la media de CE de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose en este estudio una media menor, lo cual podría deberse a que se cuentan con periodos de muestreo distintos y a su vez la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  reportada por Salcedo et al., (2016) es 3.5 veces mayor. Al comparar los resultados de ambos estudios durante el periodo que comprende los meses de Mayo y Junio, se observa un pequeño incremento en las concentraciones de EC de 1.66

a  $2.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en la cual se mantiene la diferencia de este parámetro en ambos estudios. Este resultado puede deberse a la diferencia del número de observaciones durante periodos de muestreo similares este estudio cuenta con  $n=4$  y por su parte Salcedo et al., (2016) presenta un total de 13 observaciones para ese periodo.

**Tabla 5-7.** Comparativa de concentración de CO y CE asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en distintas partes del mundo.

Lugar	CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% CO	%CE	Referencia
Edmonton, Canadá	1.81	0.71	6.90	45	-	Bari & Kindzierski, (2016)
Toronto, Canadá	2.17	0.56	8.26	-	-	Environment Canadá, (2015)
Los Ángeles, USA	-	-	16.2*	20.7	4.0	U.S. EPA,( 2016)
Ciudad de México, México	9.50	5.10	25.9*	25.7	16.0	Vega, et al. (2011)
Tijuana, México	9.00	5.00	65.00	30-40	-	Salcedo, et al. (2016)
Tijuana, México	8.40	1.39	18.20	43.2	7.4	Este estudio

\*Media anual.

Por otra parte M.A. Bari y W.B. Kindzierski (2016) reportaron un porcentaje promedio de carbono orgánico del 45 % de la masa total de  $\text{PM}_{2.5}$  en la ciudad de Alberta, Canadá, resultado que es comparable con el obtenido en este trabajo (Tabla 5-6), el cual el promedio fue de 43.2 % de la masa total de  $\text{PM}_{2.5}$ . En estudios anteriores realizados en este mismo sitio se encontró que la fracción de carbono orgánico promedio se encontraba entre el 30-40% de la masa total de  $\text{PM}_{2.5}$  (Salcedo et al., 2016), variación que podría deberse a los distintos periodos de muestreo, así como el número de observaciones.

Así mismo al comparar el porcentaje promedio de carbono elemental con los reportados en Ciudad de México (16%) y en los Ángeles (4%), podemos observar que los resultados obtenidos en este estudio son mayores a los reportados en los Ángeles, lo cual podría deberse a los mecanismo de control de emisiones provenientes del parque vehicular ya que el CE es un contaminante primario emitido durante la combustión incompleta de combustibles fósiles (Castro et al., 1999).

Por otra parte CO puede ser emitido directamente de la fuentes móviles (Stone et al., 2008), reportando una contribución del 49% en la fracción de OC proveniente del motor de los vehículos, y a su vez formado por reacciones oxidación fotoquímica de sus precursores volátiles (Seinfeld & S., 2006).

Basado en estos hechos, se ha establecido en estudios anteriores que la proporción de CO/CE puede ser utilizada para estudios de emisión y transformación. Se señala que un valor mayor de 2.0 indica la presencia de aerosoles orgánicos secundarios (Cao et al., 2003), proporciones de 0.71 a 0.57 sugieren la influencia de vehículos de diésel sin control de emisiones (Mazzerla et al., 2001), mientras que proporciones de 0.26 a 0.42 muestran una contribución específica de combustión de diésel (Lowenthal et al., 1994).

En la Tabla 5-8 se muestran las proporciones de CO/CE obtenidas en el presente estudio, podemos observar que los valores reportados son mayores a 2 lo que nos indica la presencia de aerosoles orgánicos secundarios. Por su parte Vega et al., (2011) reportaron en la Ciudad de México proporciones mayores a 2.1, sugiriendo de igual manera la presencia de Aerosoles orgánicos secundarios. A su vez se observa el día 4 de agosto un valor de cero para la proporción lo cual se debe a que durante ese ensayo no se reportó concentración alguna de CE.

**Tabla 5-8.** Proporciones de CO/CE asociadas aPM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional II.

Fecha de muestreo	CO/CE
10-abr-14	5.3
08-may-14	3.7
19-jun-14	4.3
20-jun-14	8.0
21-may-14	6.9
06-ago-14	4.2
04-ago-14	0.0
05-sep-14	6.3
14-oct-14	3.3
29-oct-14	7.5
17-oct-14	5.2

Puesto que no hay manera de determinar de manera directa a los compuestos orgánicos secundarios (SOC, por sus siglas en inglés), existen diversos métodos propuestos para determinar los SOC, aunque se sabe que estos enfoques solamente proporcionan información semi-cuantitativa debido a la alta incertidumbre.

En este trabajo se llevaron a cabo los cálculos en base a lo establecido por Castro et al., (1999).

$$SOC = CO_{Total} - CE * \left(\frac{CO}{CE}\right)_{min} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Dónde:

*SOC = Carbón organico secundario*

*CO<sub>Total</sub> = Carbón organico total*

*CE = Carbono elemental*

$\left(\frac{CO}{CE}\right)_{min} = \text{Minima proporción observada}$

Los resultados obtenidos señalan una concentración de SOC de 3.81 µg/m<sup>3</sup>, resultado que concuerda con lo obtenido por Vega et al., (2011) para un sitio con actividad comercial-habitacional (3.4 µg/m<sup>3</sup>).

## **5.5.- Evaluación de potencial oxidativo**

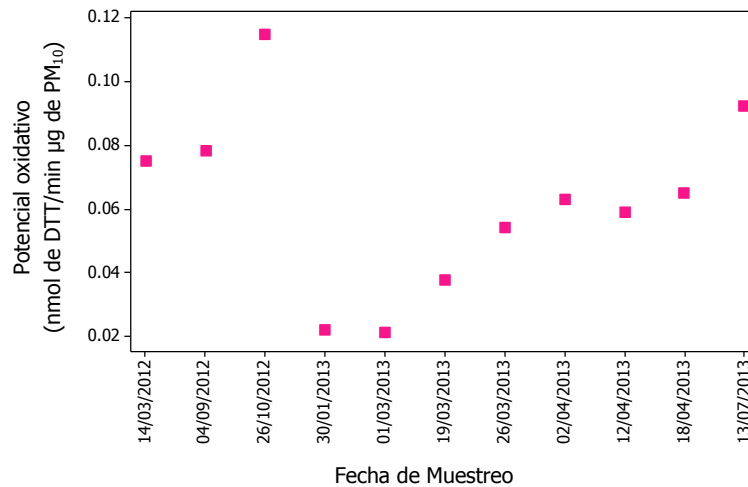
La contribución de potencial oxidativo se encuentra asociado con los diversos componentes de PM, entre ellos quinonas, metales, carbono orgánico, carbono elemental, por mencionar algunos (Charrier & Anastasio, 2012; Cho et al., 2005; Geller et al., 2006; Schauer, 2003). En el presente estudio se analizó el potencial oxidativo asociado a la concentración de metales para las fracciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>0.49</sub>.

### **5.5.1.-Análisis del comportamiento de potencial oxidativo en muestras de PM<sub>10</sub>**

La Figura 5-28 muestra la variación de potencial oxidativo en s-Comercial en donde podemos observar que en los días de muestreo en el año 2012 se observan mayores concentraciones con respecto a las observadas en el año 2013, esto podría deberse a la presencia de sustancias solubles en agua adicionales a metales con respuesta en el ensayo.

En cuanto a 2013 podemos apreciar un incremento conforme avanza el año, lo anterior coincidiendo con lo reportado por Charrier & Anastasio (2012) y Grazia-Perrone et al.,(2016), en donde se señala que las concentraciones obtenidas en verano y primavera son mayores en comparación con las obtenidas en invierno.

En la Figura 5-28 también se puede observar un valor máximo del año 2013 el día 13 de julio. Esto puede explicarse debido a que presenta las mayores concentraciones con respecto a los demás días de muestreo de Cu (78.0 ng/m<sup>3</sup>), Mn (40.5 ng/m<sup>3</sup>) y Ba (166.9 ng/m<sup>3</sup>), siendo los primeros dos los más reactivos reportados por Charrier & Anastasio (2012).



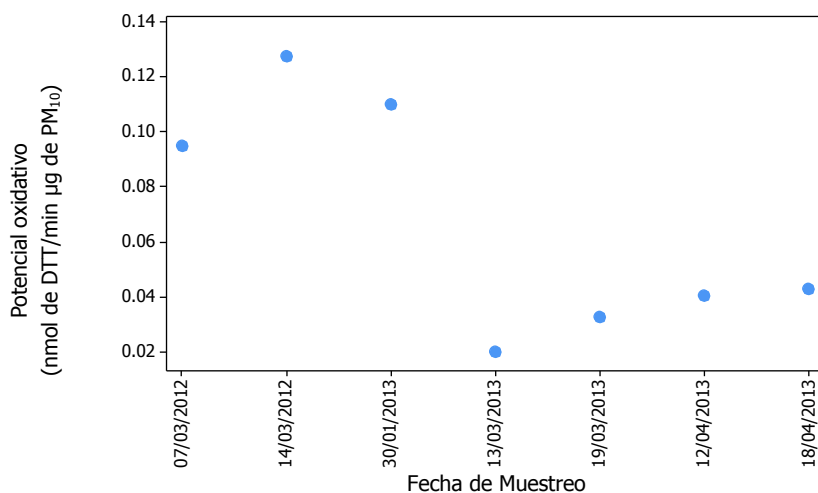
**Figura 5-28.** Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub> en s-Comercial.

En el año 2012 se observan mayores concentraciones con respecto a 2013 en s-Habitacional I (Figura 5-29), lo cual podría ser explicado por la presencia de sustancias solubles en agua no cuantificadas durante este estudio.

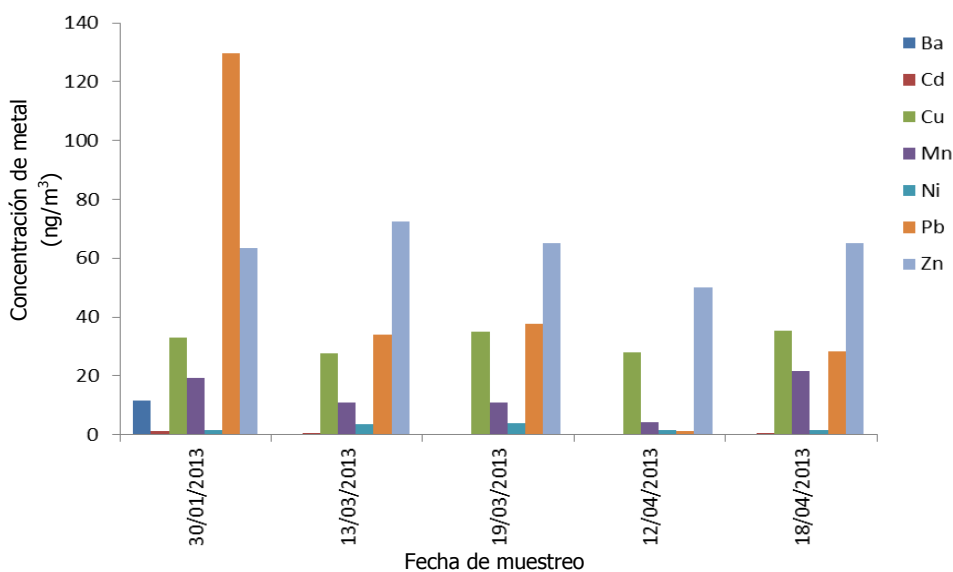
Los valores máximos de potencial oxidativo se registraron en las fechas 14 de marzo del 2012 ( $0.127 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ ) y 30 de enero del 2013 ( $0.109 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ ), días en los cuales se observaron las mayores concentraciones.

Lo anterior puede explicarse mediante la Figura 5-30, en la cual se muestra al día 30 de enero del 2013 con la mayor concentración de Pb ( $129.8 \text{ ng/m}^3$ ), lo cual concuerda con estudios anteriores en los cuales se muestra una asociación entre la concentración de Pb y el potencial oxidativo asociado a PM<sub>10-2.5</sub> (Cheung et al., 2012).

Por su parte el día 14 de marzo del 2012 presento un valor de  $40 \text{ ng/m}^3$  de Cu, siendo este valor el máximo reportado durante el periodo de muestreo.

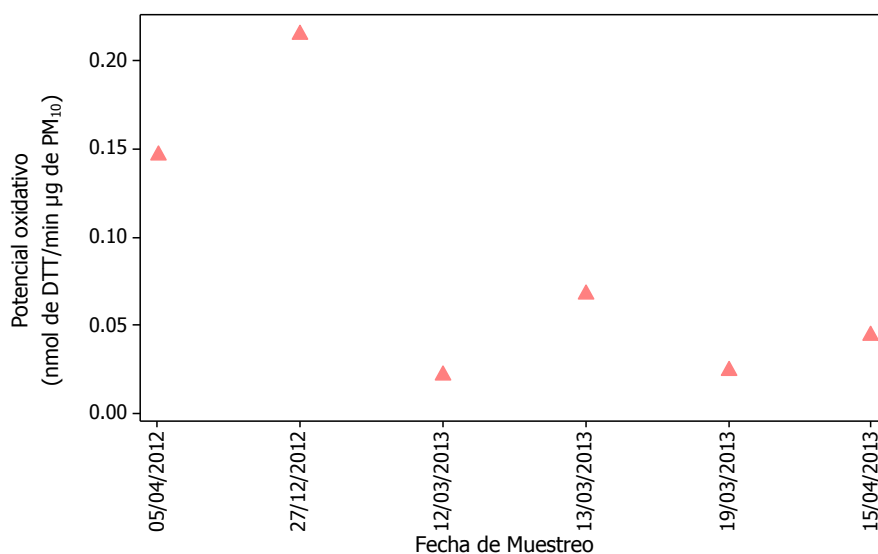


**Figura 5-29.** Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub> en s-Habitacional I.



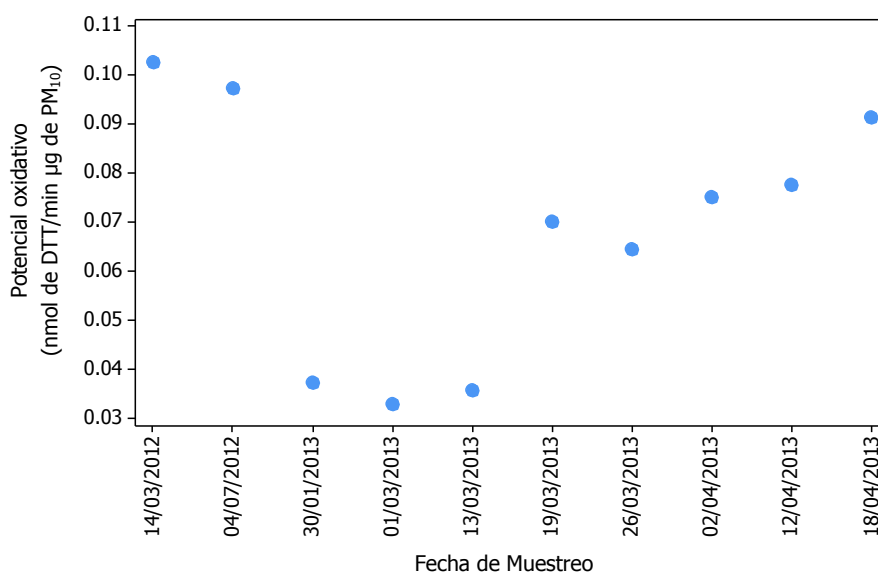
**Figura 5-30.** Concentración de metales asociados a PM<sub>10</sub> durante el año 2013 en s-Habitacional I.

En cuanto a s-Industrial, se muestran una respuesta mayor de potencial oxidativo en 2012 comparado con 2013 (Figura 5-31). Sin embargo debido al limitado número de muestras podría deberse a eventos especiales con altos niveles de sustancias solubles en agua, así mismo observamos un valor máximo de  $0.215 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$  el día 27 de diciembre de 2012, día en el cual se presentaron las mayores concentraciones de Ba.



**Figura 5-31.** Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub> en s-Industrial.

En la Figura 5-32 se muestra la variación espacial de potencial oxidativo en s-Tráfico vehicular, en la cual se observa una tendencia de incremento en el año 2013 conforme avanza el año observándose el mayor consumo de DTT en 18 de abril del 2013 ( $0.0914 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ ), sin embargo no se cuenta con concentraciones de metales traza con respecto al resto de los días de muestreo, lo cual podría indicar la presencia de otras especies solubles en agua entre ellos una pequeña fracción de quinonas, carbono orgánico, entre otras con resultado positivo al ensayo de DTT.



**Figura 5-32.** Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub> en s-Tráfico vehicular.

La variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub>, s-Tráfico vehicular presenta una media (std) de 0.06 (1.49)  $\frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ , a pesar no contar con la mayor concentración de metales asociados a esta fracción, el potencial oxidativo en este sitio podrían deberse a la presencia compuestos orgánicos asociados con vehículos de gasolina y diésel mismos que se han comprobado su contribución en muestras de PM,(Cho et al., 2005), concordando con Eiguren-Fernandez et al., (2010) que sugiere la presencia de compuestos orgánicos en muestras de material particulado en extractos en agua.

En cuanto al resto de los sitios presentan una media (std) de 0.05 (1.55)  $\frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$  para s-Comercial, 0.04 (1.72)  $\frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$  para s-Industrial y 0.03 (1.42)  $\frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$  para s-Habitacional I.

El análisis estadístico señala que solo existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la media de s-Tráfico vehicular y s-Habitacional I, lo cual podría indicar que s-Habitacional I se encuentra impactado en diferente magnitud que s-Tráfico vehicular.

#### **5.5.1.1.- Relación entre potencial oxidativo y composición química de PM<sub>10</sub>**

En la Tabla 5-9 se muestran los coeficientes de correlación de Spearman entre el potencial oxidativo y la concentración de metales traza, en los cuatro sitios de muestreo.

Al analizar el coeficiente de correlación se encontró que el potencial oxidativo en s-Comercial cuenta con  $r_s = 0.7$  ( $p = 0.036$ ) con la concentración de Cu. Sin embargo, este metal traza posee la propiedad que conforme aumenta su concentración el efecto en el potencial oxidativo puede llegar a disminuir significativamente (Charrier & Anastasio, 2012), generando valores de potencial oxidativo menores, lo cual podría explicar este resultado en este sitio y no en el resto.

En s-Habitacional I se muestra una correlación de  $r_s = 0.788$  ( $p = 0.035$ ) con Ba. Estudios anteriores señalan una relación entre la concentración de Ba y el potencial

oxidativo asociado a PM<sub>2.5</sub> (Verma et al., 2009). Chiang & Huang, (2009) identificaron emisiones de Ba en la fracción de 2.5-10 µm provenientes de fricción mecánica y desgaste de los frenos, derivado del transporte público.

En s-Industrial se presentó una correlación de  $r_s = -0.983$  ( $p = 0.017$ ) con la masa de PM<sub>10</sub>, lo cual nos indica que la concentración en masa de PM presenta una correlación inversa asociada con el potencial oxidativo, brindado evidencia de que es necesario hacer una análisis de la composición del material particulado. De igual manera se encontró una correlación de  $r_s = 0.983$  ( $p = 0.017$ ) con la concentración de Zn en la zona.

s-Tráfico vehicular presenta una correlación de  $r_s = 0.782$  ( $p = 0.008$ ) con la concentración de Zn, lo cual podría deberse a la afluencia vehicular del sitio.

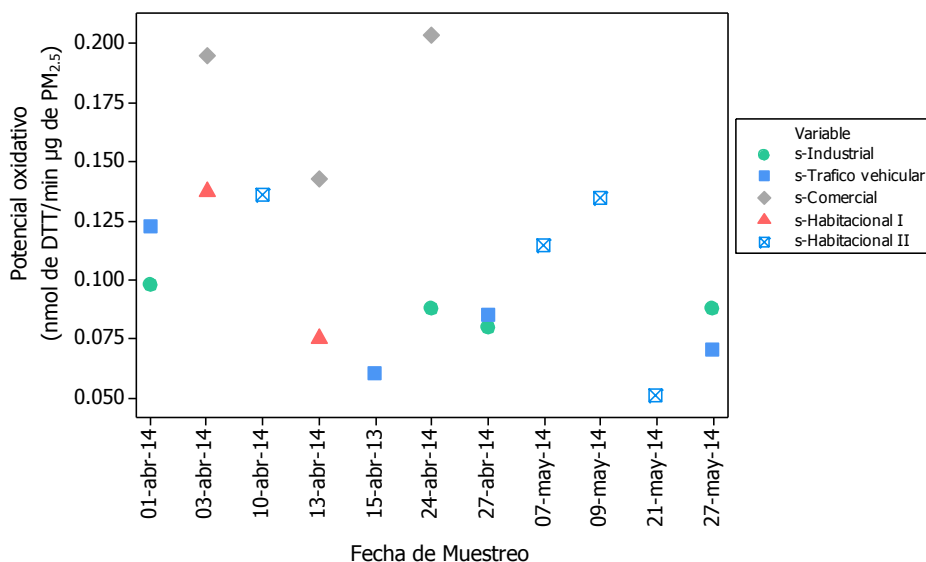
**Tabla 5-9.** Coeficientes de correlación de Spearman entre el potencial oxidativo y el contenido de metales en muestras de PM<sub>10</sub>.

Metal	s-Comercial		s-Habitacional I		s-Industrial		s-Tráfico vehicular	
	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p
<b>As</b>	0.296	0.439	-0.158	0.736	0.308	0.692	-0.022	0.951
<b>Ba</b>	*	*	<b>0.788</b>	<b>0.035</b>	*	*	*	*
<b>Co</b>	-0.017	0.966	0.143	0.760	*	*	*	*
<b>Cr</b>	0.400	0.286	0.429	0.337	0.291	0.709	-0.079	0.829
<b>Cu</b>	<b>0.700</b>	<b>0.036</b>	0.286	0.535	0.200	0.800	-0.055	0.881
<b>Ni</b>	0.183	0.637	-0.714	0.071	-0.120	0.880	*	*
<b>Pb</b>	0.267	0.488	-0.107	0.819	0.680	0.320	*	*
<b>Se</b>	0.292	0.446	0.473	0.284	0.775	0.225	-0.389	0.266
<b>Zn</b>	0.117	0.765	-0.214	0.645	<b>0.983</b>	<b>0.017</b>	<b>0.782</b>	<b>0.008</b>
<b>PM</b>	-0.067	0.865	-0.179	0.702	<b>-0.983</b>	<b>0.017</b>	-0.333	0.347

\*Metal de origen geológico.

### 5.5.2.- Análisis del comportamiento de potencial oxidativo asociado a PM<sub>2.5</sub>

La Figura 5-33 muestra la variación de potencial oxidativo asociado a la primavera de 2014. Se puede observar a s-Comercial como el sitio con mayor respuesta de potencial oxidativo, con una media (std) de 0.18 (2.85)  $\frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ P}$  lo cual podría ser efecto de la presencia de compuestos orgánicos asociados a este sitios provenientes del tráfico vehicular (Eiguren-Fernandez et al., 2010).



**Figura 5-33.** Variación espacial de potencial oxidativo asociado a PM<sub>2.5</sub> en la primavera de 2014.

s-Industrial presenta una media (std) de 0.09 (2.97)  $\frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ , s-Habitacional II tiene una media (std) de 0.10 (3.33)  $\frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ , s-Habitacional I una media (std) de 0.10  $\frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ , lo cual podría deberse a que no se muestran diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de la concentración de metales asociadas a estos tres sitios (Sección 5.3.1).

El análisis estadístico de los resultados mostro diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias de s-Comercial y s-Tráfico Vehicular, lo cual podría indicar que el sitio s-Comercial es impactado en mayor magnitud.

En cuanto a s-Habitacional II se cuenta con un mayor periodo de muestreo. En la variación temporal de potencial oxidativo asociado a este sitio se muestra a otoño con mayor potencial oxidativo, con una media (std)  $0.13 (1.16) \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ , que pudiera deberse a la altura de la capa de mezcla lo cual disminuye el transporte de los contaminantes dando esto como resultado mayores concentraciones, razón por la cual Mn presenta elevadas concentración, mismo que se ha reportado con respuesta al ensayo de DTT (Charrier & Anastasio 2012; Shafer et al., 2010).

Así mismo podemos observar que en primavera se presentó una media (std) de  $0.09 (1.55) \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$  y verano con  $0.1 (1.19) \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ . Por su parte verano presenta las mayores concentraciones de Cu, así como la presencia de Mn aunque en menor concentración que en otoño.

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias de verano y otoño, lo cual podría indicar que la variación estacional influencia el comportamiento de potencial oxidativo coincidiendo con lo reportado por Grazia-Perrone et al., (2016).

### 5.5.2.1.- Relación entre potencial oxidativo y composición química de $PM_{2.5}$

En la Tabla 5-10 se muestran los coeficientes de correlación de Spearman entre el potencial oxidativo y la concentración de metales traza, en los sitios de muestreo. Se observa solamente correlación positiva con la concentración de Mn en los sitios s-Industrial ( $r_s = 0.9$ ,  $p = 0.037$ ), s-Tráfico vehicular ( $r_s = 0.9$ ,  $p = 0.037$ ), s-Habitacional II ( $r_s = 0.867$ ,  $p = 0.0$ ), dicho resultados coinciden con estudios anteriores en los cuales se asocia el consumo de DTT a la presencia de Mn y Cu en zonas urbanas (Daher et al., 2012).

En el caso de s-Comercial no se cuenta con asociación alguna con los metales cuantificados, lo cual podría indicar la presencia de sustancias solubles en agua no cuantificadas con respuesta al ensayo, por lo cual sería importante realizar un ensayo en el cual se determine la contribución de estas especies, sin el efecto de los metales presentes en la muestra.

**Tabla 5-10.** Coeficientes de correlación de Spearman entre potencial oxidativo y contenido de metales en muestras de  $PM_{0.49}$ .

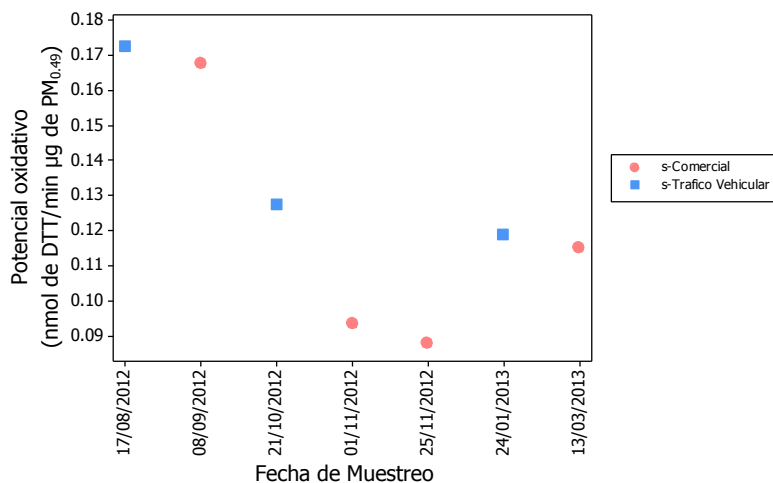
Metal	s-Industrial		s-Tráfico vehicular		s-Comercial		s-Habitacional II	
	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p
<b>Al</b>	0.600	0.285	0.700	0.188	-0.200	0.800	0.49	0.106
<b>Ba</b>	0.600	0.285	0.800	0.104	0.200	0.800	0.552	0.063
<b>Cd</b>	0.300	0.624	-0.400	0.505	-0.400	0.600	0.196	0.542
<b>Mn</b>	<b>0.900</b>	<b>0.037</b>	<b>0.900</b>	<b>0.037</b>	0.400	0.600	<b>0.867</b>	<b>0.000</b>
<b>Cu</b>	0.600	0.285	0.600	0.285	-0.200	0.800	0.497	0.101
<b>Ni</b>	-0.154	0.805	-0.707	0.182	-0.775	0.225	0.43	0.163
<b>Pb</b>	0.400	0.505	0.300	0.285	0.200	0.800	0.063	0.846
<b>Zn</b>	0.300	0.624	0.600	0.285	0.200	0.800	0.371	0.236
<b>PM</b>	0.000	1.000	-0.500	0.391	0.000	1.000	-0.531	0.075

### 5.5.3.- Análisis del comportamiento de potencial oxidativo asociado a $PM_{0.49}$

Debido al número limitado de observaciones se integraron tres grupos de sitios en base a su cercanía e impacto de uno sobre el otro estableciéndose lo siguiente:

- **Grupo 1:** s-Comercial, s-Tráfico vehicular
- **Grupo 2:** s-Habitacional I, s-Industrial
- **Grupo 3:** s-Habitacional II

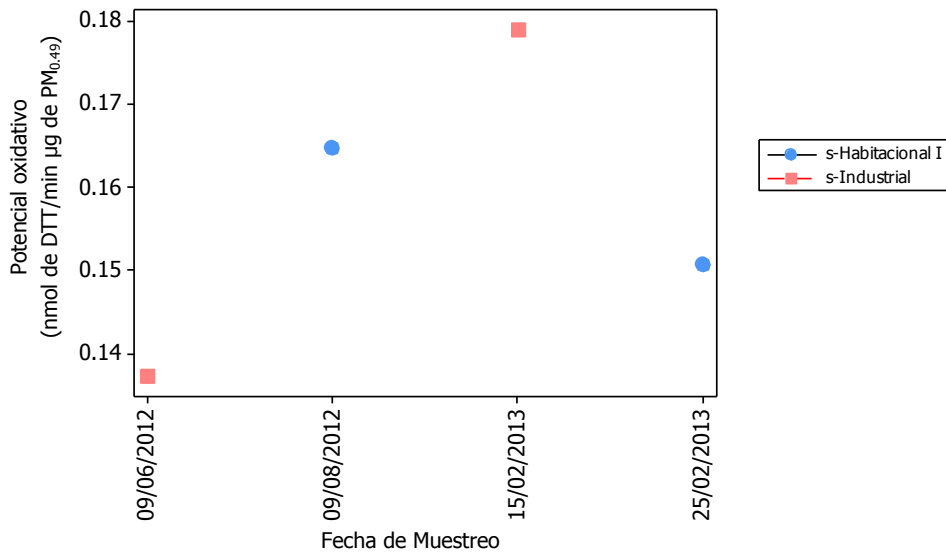
En la Figura 5-34 se muestra la variación espacial de potencial oxidativo asociada a  $PM_{0.49}$ . Podemos observar que no existe una tendencia debido al número limitado de muestras colectadas, sin embargo los resultados exponen valores por lo menos en una ocasión mayores a los  $0.16 \frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ , lo cual denota que las partículas  $PM_{0.49}$  cuentan con un gran carácter oxidativo.



**Figura 5-34.** Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a  $PM_{0.49}$  para el Grupo 1

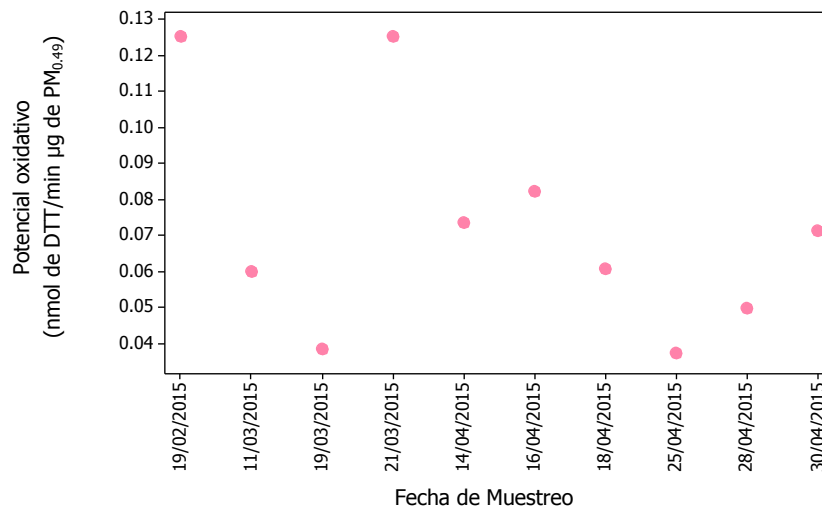
\*Muestreo realizado por Gutiérrez 2012-1013.

En cuanto al Grupo 2 presentó una media (std) de  $0.16 (1.12) \frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ . En la Figura 5-35 se observa un valor máximo de  $0.17 \frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$  el día 15 de febrero de 2013, lo cual podría explicarse por las concentraciones de Cu ( $67\ ng/m^3$ ), Pb ( $696\ ng/m^3$ ) y Zn ( $120\ ng/m^3$ ).



**Figura 5-35.** Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a PM<sub>0.49</sub> para el Grupo 2  
\*Muestreo realizado por Gutiérrez 2012-2013.

En la Figura 5-36 se muestra la variación de potencial oxidativo asociado al Grupo 3 en el cual podemos percatarnos que se mantiene una media (std) de 0.07 (1.59)  $\frac{nmol\ de\ DTT}{min\ \mu g\ de\ PM}$ , sin embargo el día 21 de marzo del 2015 se observó un evento especial que no coincide con concentraciones de metales asociados a las partículas elevadas, por lo cual lo anterior podría explicarse debido a la presencia de compuestos orgánicos asociados a PM.



**Figura 5-36.** Variación espacio temporal de potencial oxidativo asociado a PM<sub>0.49</sub> para el Grupo 3.

El Grupo 2 presentó mayor potencial oxidativo asociado a esta fracción con una media de  $0.16 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ . Esto puede deberse a que en uno de los sitios de este grupo presenta mayor concentración de metales asociado a  $\text{PM}_{0.49}$  en comparación con el resto de los sitios.

El Grupo 1 presenta una media de  $0.12 \frac{\text{nmol de DTT}}{\text{min } \mu\text{g de PM}}$ , sin embargo presenta las concentraciones menores de metales traza asociados a la superficie de sus partículas. Esto podría deberse a las emisiones vehiculares asociadas contaminantes secundarios como o-HPA's, por lo cual sería importante analizar las concentraciones de otros contaminantes asociados a  $\text{PM}_{0.49}$  que pudieran contribuir en el efecto oxidante.

El análisis estadístico señaló que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de los Grupos, lo cual podría indicar que estos se encuentran impactados en similar magnitud, a pesar de contar con el desarrollo de actividades diferentes.

### 5.5.3.1.- Relación entre potencial oxidativo y composición química de $PM_{0.49}$

La Tabla 5-11 muestra los coeficientes de correlación de Serman entre potencial oxidativo y la concentración de metales. Se observa que el potencial oxidativo asociado al Grupo 1 se ve influenciado por la concentración de Níquel.

El Grupo 2 muestra una correlación positiva con Selenio, el cual se encuentra asociado desgaste de frenos y fricción mecánica de automóviles (Chiang & Huang, 2009).

En Grupo 3 se presentó una correlación de  $r_s = -0.830$  ( $p = 0.021$ ) con Se, mostrando que la concentración de Se, presenta una correlación inversa asociada con el potencial oxidativo, lo cual podría indicar que la presencia de este metal podría disminuir la respuesta de este ensayo, por lo cual es necesario ampliar la información con respecto a este metal y su efecto en el potencial oxidativo.

**Tabla 5-11.** Coeficientes de correlación de Serman entre el potencial oxidativo y el contenido de metales en muestras de  $PM_{0.49}$ .

Metal	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p
<b>As</b>	0.371	0.413	0.154	0.805	0.000	1.000
<b>Ba</b>	*	*	-0.500	0.391	-0.024	0.955
<b>Co</b>	0.393	0.383	-0.200	0.747	0.000	1.000
<b>Cr</b>	0.393	0.383	-0.500	0.391	0.000	1.000
<b>Cu</b>	0.643	0.119	-0.400	0.505	-0.190	0.651
<b>Ni</b>	<b>0.821</b>	<b>0.023</b>	-0.500	0.391	-0.431	0.334
<b>Pb</b>	0.037	0.937	0.359	0.553	0.214	0.610
<b>Se</b>	0.099	0.834	<b>0.872</b>	<b>0.054</b>	<b>-0.830</b>	<b>0.021</b>
<b>Zn</b>	0.393	0.383	-0.200	0.747	0.310	0.456
<b>PM</b>	-0.107	0.819	0.200	0.747	-0.190	0.651

\*Metal de origen geológico

#### 5.5.4.- Comparativo de potencial oxidativo entre las distintas fracciones de PM.

En la Figura 5-37 se muestra la variación de potencial oxidativo asociado  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$  en los distintos sitios de muestreo, observándose en s-Habitacional I, s-Industrial y s-Tráfico vehicular que conforme disminuye el diámetro aerodinámico de la partícula se incrementa el potencial oxidativo concordando con lo reportado por Cho et al (2005). Este comportamiento concuerda con la mayor área superficial que presentan las fracciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$ .

En cuanto a s-Comercial y s-Habitacional II se observa un mayor potencial oxidativo asociado a la fracción de  $2.5 \mu m$ . Esto podría deberse probablemente a la diferencia entre la concentración de metales asociados a la superficie de  $PM_{0.49}$  y  $PM_{2.5}$ , presentando en esta última fracción las mayores concentraciones de Cu y Mn. Dichos metales han sido señalados dentro de los más reactivos (Connellet al., 2006; Verma et al., 2009a).

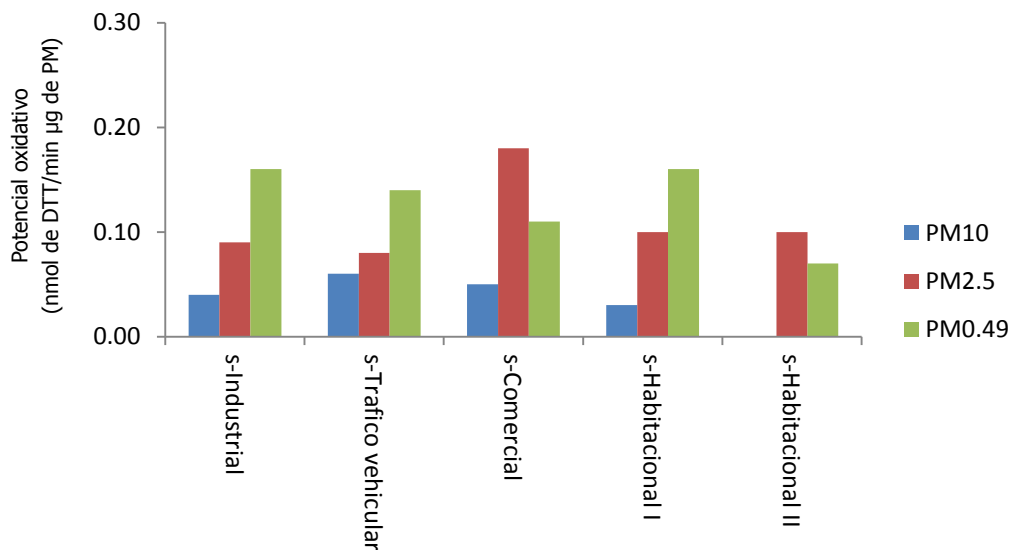


Figura 5-37. Potencial oxidativo asociado a  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$ .

### 5.5.5.-Comparativo con otras partes del mundo

En la Tabla 5-12 se presentan la comparación del consumo de DTT encontrado en este estudio, se observa que el consumo que registramos se encuentra dentro de los rangos registrados por otros investigadores.

Se observa una media en la Ciudad de Tijuana mayor que el resto de los sitios, esta variación entre los sitios podría deberse a los distintos periodos de muestreo, así como el número de muestras analizadas en cada estudio.

La respuesta mayor en este estudio podría indicar que la ciudad cuenta con diversas fuentes con emisiones de sustancias catalizadoras de ROS, que posiblemente no cuente con sistemas de control adecuados.

**Tabla 5-12.** Comparativo del consumo de DTT en distintas partes del mundo.

FRACCIÓN DE PM ( $\mu\text{m}$ )	CONSUMO DE DTT (pmol / min* $\mu\text{g}$ de PM)		LUGAR	TIPO DE LOCALIDAD	N	FUENTE
	Rango	Media				
$\leq 2.5$	5-24	14	Los Ángeles, CA	Urbana	6	Verma et al (2009a)
<b>0.18-2.5</b>	20-120	70	Los Ángeles, CA	Urbana	8	Verma et al (2009b)
$\leq 2.5$	14-40	25	México City	Urbana	18	De Vizcaya-Ruiz et al (2006)
$\leq 0.15$	42-170	61	Los Ángeles, CA	Urbana	7	Ntziachristos et al. (2007)
$\leq 2.5$	21-75	27			8	
$\leq 0.25$	31-55	34	Los Ángeles Port, CA	Urbana	6	Hu et al. (2008)
<b>0.25-2.5</b>	14-24	19			6	
$\leq 2.5$	27-61	39	Fresno, CA	Urbana	4	Charrier et al. (2012)
$\leq 2.5$	20-25	23	Wetside, CA	Rural	2	
$\leq 2.5$	37-178	103			22	
<b>0.49</b>	50-203	101	Tijuana, México	Urbana	17	Este estudio

## 6. CONCLUSIONES

Esta investigación en acuerdo con nuestro conocimiento proporciona por primera vez evidencia que demuestra una vinculación significativa entre ROS y la concentración de metales traza asociados al material particulado de la Ciudad de Tijuana.

Se observó en  $PM_{10}$  buena correlación entre potencial oxidativo y la presencia de Zn en s-Industrial ( $r_s = 0.983$ ,  $p < 0.05$ ) y s-Tráfico vehicular ( $r_s = 0.782$ ,  $p < 0.05$ ), Ba en s-Habitacional I ( $r_s = 0.788$ ,  $p < 0.05$ ), Cu en s-Comercial ( $r_s = 0.70$ ,  $p < 0.05$ ). Aunado a lo anterior en s-Industrial se mostró una correlación negativa con la masa de  $PM_{10}$  ( $r_s = -0.983$ ,  $p < 0.05$ ), lo cual nos indica que la masa de este tipo de material particulado presenta un comportamiento inverso asociado con el potencial oxidativo, brindado evidencia de que es necesario hacer un análisis de la composición del material particulado. Esta información podría representar una herramienta para los tomadores de decisiones respecto a las modificaciones que se deben realizar a la normatividad ambiental actual.

El potencial oxidativo asociado a  $PM_{2.5}$  mostro correlación positiva con la presencia de Mn ( $r_s > 0.7$ ,  $p < 0.05$ ), sin embargo este metal es de origen geológico, siendo el sitio con mayor respuesta s-Comercial.

El análisis de muestras de  $PM_{2.5}$  en s-Habitacional II mostro que la fracción de carbono orgánico promedio ( $8.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fue comparable con la concentración reportada en otro estudio realizado en la Ciudad de Tijuana ( $9.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y con lo reportado en la Ciudad de México ( $9.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El porcentaje promedio de Carbono elemental en este estudio (7.4 %) fue casi el doble comparado con el porcentaje reportado en un estudio realizado en la Ciudad de los Ángeles (4%), sin embargo al compararlo con el porcentaje obtenido en un estudio realizado en la Ciudad de México (16%) fue menos de la mitad.

$PM_{0.49}$  mostro mayor respuesta de potencial oxidativo con el Grupo 2 constituido por s-Industrial y s-Habitacional I, señalando a estos sitios como áreas con un posible riesgo para la salud de las personas que trabajan y viven en estas zonas de la Ciudad, debido a la gran capacidad de  $PM_{0.49}$  para catalizar la generación de ROS.

El comportamiento de potencial oxidativo mostró una tendencia a incrementarse asociándose esto con la disminución del diámetro de partícula en s-Tráfico vehicular, s-Industrial y s-Habitacional I, pero no en s-Habitacional II y s-Comercial los cuales presentaron mayores niveles de material particulado de mayor tamaño, probablemente esto se relacione con las diferencias en área superficial de los diversas fracciones de PM.

Se observó a s-Industrial como el sitio con mayor impacto asociado a la presencia de metales como Cu y Pb en las fracciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{0.49}$ , lo cual indica que es necesario implementar y mejorar los sistemas de control de emisiones en el área, así como evaluar nuevamente esta área que fue deteriorada por la empresa Metales y Derivados, a fin de determinar si fue efectiva la remediación implementada en esta área o si es necesario descontaminarla nuevamente.

Sin embargo, los sitios con mayores concentraciones de metales no presentaron mayor respuesta a la medición del potencial oxidativo, lo cual brinda evidencia de que es necesario considerar la contribución de otras especies asociadas a PM como quinonas o especies solubles en agua para brindar un panorama más amplio del efecto oxidativo del material particulado.

El potencial oxidativo en la Ciudad de Tijuana se encuentra dentro de los rangos reportados para otras Ciudades de México y otras países, sin embargo las medias presentan valores mayores lo cual nos señala que se requiere evaluar y establecer estrategias de mitigación de las posibles fuentes en las áreas de mayor respuesta para cada una de las fracciones, a fin de disminuir el posible efecto toxico en población de la Ciudad de Tijuana.

## **7. RECOMENDACIONES**

Sería necesario llevar a cabo una campaña en donde se tengan un número considerable de muestreos con el fin de percatarnos si este comportamiento continua o si solo se trataron de eventos especiales, como incendios forestales, días de alta afluencia vehicular, vientos de Santana, etc. Lo anterior a fin de contar con evidencia que proporcione herramientas para la planeación de estrategias que mejoren la calidad del aire.

A su vez la determinación de compuestos solubles en agua y quinonas en muestras de PM, podrían brindar un panorama más amplio de la contribución de metales, quinonas y de los compuestos solubles en agua, que proporcionen evidencia para la planeación de estrategias de mejora de calidad de aire.

A fin de analizar la influencia de potencial oxidativo asociado a PM con su efecto en enfermedades respiratorias y cardiovasculares sería necesario obtener información del sistema de salud pública a fin de correlacionar la respuesta del potencial oxidativo con la incidencia de estas enfermedades para los sitios estudiados en este trabajo.

## 8. REFERENCIAS

1. Cooperación Ambiental de América del Norte. (2002). Expediente de Hechos Final, Petición Ciudadana SEM-80-007 (Metales y Derivados). *Experiencia*. México, D.F.
2. Adachi, K., & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*, *30* (8), 1009-1017.
3. Apeagyei, E., Bank, M., & Spengler, J. (2011). Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmospheric Environment*, *45* (13), 2310-2323.
4. Bari, M. A., & Kindzierski, W. B. (2016). Eight-year (2007-2014) trends in ambient fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and its chemical components in the Capital Region of Alberta, Canada. *Environment International*, *91*, 122-132.
5. Bei, N., G., L., Zavala, M. B., Torres, R., Grutter, M., Gutiérrez, W., et al. (2013). Meteorological overview and plume transport patterns during Cal-Mex 2010. *Atmospheric Environment*, *70*, 477-489.
6. Bell, M., Dominici, F., Ebisu, K., Zeger, S., & Samet, J. (2007). Spatial and temporal variation in PM<sub>2.5</sub> chemical composition in the United States for health effects studies. *Environmental Health Perspectives*, *115* (7), 989-995.
7. Bond, T., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118* (11), 5380-5552.
8. Bukowiecki, N., Lienemann, P., Hill, M., Furger, M., Richard, A., Amato, F., et al. (2010). PM<sub>10</sub> emission factors for non-exhaust particles generated by road traffic in an urban street canyon and along a freeway in Switzerland. *Atmospheric Environment*, *44* (19), 2330-2340.
9. Byeong-Kyu, L., & Nguyen, T. H. (2011). Seasonal variation and sources of heavy metals in atmospheric aerosol in a residential area of Ulsan, Korea. *Aerosol and Air Quality Research*, 679-688.
10. California Environment Protection Agency. (2007). Standard Operating Procedure (S.O.P.) for metals analysis by atomic absorption spectrophotometry. *S.O.P. MLD 005*.

11. California Environmental Protection Agency. (2007). Standard Operating Procedure for the mass analysis and subsequent extraction of SS-Sampled PM10 from exposed Quartz microfibre filters. *Procedimiento*.
12. Cao, J., Lee, S., Ho, K., Zhang, X., Zou, S., Fung, K., et al. (2003). Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearls River Delta Region, China during 2001 winter period. *Atmospheric Environment*, *37*, 1451-1460.
13. Castillo, J. E. (Diciembre de 2014). Evaluación de los niveles de Carbono Negro (BC), Material Particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) y ultrafino (PM<sub>0.1</sub>) en la Cuenca Atmosférica de Tijuana, B.C. y San Diego, C.A. *Tesis*. Tijuana, Baja California.
14. Castro, L., Pio, C., Harrison, R., & Smith, D. (1999). Carbonaceous aerosols in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations. *Atmospheric Environment*, *33*, 2771-2781.
15. Cheung, K., Shafer, M., Schauer, J., & Sioutas, C. (2012). Diurnal trends in oxidative potential of coarse particulate matter in the Los Angeles Basin and their relation to sources and chemical composition. *Environmental Science and Technology*, *46*, 3779-3789.
16. Chiang, H.-L., & Huang, Y.-S. (2009). Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study. *Atmospheric Environment*, *43*, 4014-4022.
17. Cho, A., Sioutas, C., Miguel, A., Kumagai, Y., Schmitz, D., Singh, M., et al. (2005). Redox activity of airborne particulate matter at different sites in the Los Angeles Basin. *Environmental Research*, *99*, 40-47.
18. Chung, M. Y., Lazaro, R. A., Lim, D., Jackson, J., Lyon, J., Redulic, D., et al. (2006). Aerosol-Borne Quinones and Reactive Oxygen Species Generation by Particulate Matter Extracts. *Environmental Science and Technology*, 4880-4886.
19. Connell, D., Winter, S., Conrad, V., Kim, M., & Crist, K. (2006). The Steubenville Comprehensive Air Monitoring Program (SCAMP): Concentrations and solubilities of PM<sub>2.5</sub> trace elements and their implications for source apportionment and health research. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *56*, 1750-1760.
20. Correll, T. C. (2015). Analysis of Complex Polycyclic Hydrocarbon mixtures found in particle matter air samples from the San Diego-Tijuana Border Region using GCXGC-TOFMS. *Master of Public Health*. San Diego, USA.
21. Daher, N., Ruprecht, A., Invernizzi, G., De Marco, C., Miller-Schulze, J., Heo, J. B., et al. (2012). Characterization, sources and redox activity of fine and coarse particulate matter in Milan, Italy. *Atmospheric Environment*, *49*, 130-141.

22. Daher, N., Saliba, N., Shihadeh, A., Jaafar, M., Baalbaki, R., Shafer, M., et al. (2014). Oxidative potential and chemical speciation of size-resolved particulate matter (PM) at near-freeway and urban background sites in the greater Beirut area. *Science of the Total Environment*, 417-426.
23. Dimitrova. (2012). Relationship between particulate matter and childhood asthma-basin of a future warning system for central Phoenix. *Atmospheric Chemistry Physics*, 2479-2490.
24. Eiguren-Fernandez, A., Shinyashiki, M., Schmitz, D. A., DiStefano, E., Hinds, W., Kumagai, Y., et al. (2010). Redox and electrophilic properties of vapor and particle phase components of ambient aerosols. *Environmental Research*, 110, 207-212.
25. Environment Canada. (2015, Septiembre 5). *NAPS data products*. Retrieved from <http://maps-cartes.ec.gc.ca/rnspanaps/data.aspx>
26. EPA. (2007). Standard Operatin Procedure for the mass analysis and subsequent extraction of SSI-Sampled PM<sub>10</sub> from exposed quartz microfibre filters. California.
27. Eyer, P., Worek, F., Kiderlen, D., Sinko, G., Stuglin, A., Simeon-Rudolf, V., et al. (2003). Molar absorption coefficients for the reduced Ellman reagent: Reassessment. *Analytical Biochemistry*, 312, 224-227.
28. Fujita, Campbell, Arnott, Chow, & Zielinska. (2007). Evaluations of the chemical mass balance method for determinig contributions of gasoline and diesel exhaust to ambient carbonaceous aerosols. *Air & Waste Management Association*, 57 (6), 721-740.
29. Geller, M., Ntziachristos, L., Mamakos, A., Samaras, Z., Schmitz, D., Froines, J., et al. (2006). Physicochemical and redox characteristics of particulate matter (PM) emitted from gasoline diesel passenger cars. *Atmospheric Environment*, 40, 6988-7004.
30. Gobierno del Estado de Baja California. (2011). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire, de la Zona Metropolitana de Tijuana, Tecate, y Playas de Rosarito 2012-2020*. Tijuana.
31. Grazia-Perrone, M., Zhou, J., Malandrino, M., Sangiorgi, G., Rizzi, C., Ferro, L., et al. (2016). PM chemical composition and oxidative potential of the soluble fraction of particles at two sites in the urban area of Milan, Northern Italy. *Atmospheric Environment*, 128, 104-113.
32. Grubbs, F. (1969). Procedimientos para la deteccción de observaciones atipicas en las muestras. *Technometrics*, 11 (1), 1-21.

33. Grubbs, F. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, *11*, 1-21.
34. Gutierrez, Y. (2014). Evaluacion espacio-temporal de los niveles de metales traza (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) asociados a Material Particulado PM<sub>10</sub> en La Cuenca Atmosferica de Tijuana, Baja California, México. *Tesis de maestria*. Tijuana, Baja California, México.
35. Haberzettl, P. (2012). Exposure to ambient air fine particulate matter prevents VEGF-Induced mobilization of endothelial progenitor cells from bone marrow. *Environmental health perspectives*, 848-856.
36. Harrison, R., Jones, A., Gietl, J., Yin, J., & Green, D. (2012). Estimation of the contributions of brake dust, tire wear, and resuspension to nonexhaust traffic particles derived from atmospheric measurements. *Environmental Science and Technology*, *46*, 6523-6529.
37. Herrera, J., Campos, A., Garcia, F., Blanco, S., Cárdenas, B., & Mizohata, A. (2012). Chemical composition of PM<sub>2.5</sub> particles in Salamanca, Guanajuato, México; Source apportionment with receptor models. *Atmospheric Research*, *107*, 31-41.
38. INEGI. (2010). "*Principales resultados del Censo de Población y vivienda 2010*". Obtenido de [http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi\\_result/cpv2010\\_principales\\_resultadosI.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi_result/cpv2010_principales_resultadosI.pdf).
39. J. Charrier, A. (2012). On dithiothreitol (DTT) as a measure of oxidative potential for ambient particles: evidence for the importance of soluble transition metals. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9321-9333.
40. J. E. Quintana, P. S. (2012). *White Paper: Health Impacts of Crossing at US-Mexico Land Ports of Entry: Gaps, Needs and Recommendations for action*. San Ysidro, CA.
41. Jacobson, M. (2001). Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 1551-1568.
42. Kaarle Kupiainen, Z. K. (Marzo de 2007). Primary emissions of fine carbonaceous particles in Europe. *Atmospheric Environment*, *41* (10), 2156-2170.
43. Keeve E. Nachman, J. D. (2012). Exposures to fine particulate air pollution and respiratory outcomes in asults using two national datasets: a cross-sectional study. *Environmental Health* , 12.

44. Keuken, M., Denier van der Gon, H., & Van Der Valk, K. (2010). Non-exhaust emissions of PM and the efficiency of emission reduction by road sweeping and washing in the Netherlands. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4591-4599.
45. Kumala, M., Vehkamäki, H., Petaja, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V., et al. (2004). Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *Journal of Aerosol Science*, 35, 143-176.
46. Lee, B.-K., & Hieu, N. T. (2011). Seasonal variation and sources of heavy metals in atmospheric aerosol in a residential area of Ulsan, Korea. *Aerosol and Air Quality Research*, 679-688.
47. Leonard, S. S., Harris, G. K., & Shi, X. L. (2004). Metal-induced oxidative stress and signal transduction. *Free Radic Biol Med.*, 37, 1921-1942.
48. Li, Q. F., Wyatt, A., & Kamens, R. M. (2009). Oxidant generation and toxicity enhancement of aged-diesel exhaust. *Atmospheric Environment*, 43, 1037-1042.
49. Lowenthal, D., Zielinska, B., Chow, J., Watson, J., Gautam, M., Ferguson, D., et al. (1994). Characterization of heavy-duty diesel vehicle emissions. *Atmospheric Environment*, 36, 731-743.
50. María Cruz Minguillón, A. A. (Mayo de 2014). Mass concentration, composition and sources of fine and coarse particulate matter in Tijuana, Mexico, during Cal-Mex campaign. *Atmospheric Environment*, 88, 320-329.
51. Mazzera, D., Lowenthal, D., Chow, J., & Watson, J. (2001). Sources of PM<sub>10</sub> and sulfate aerosols at McMurdo station, Antarctica. *Chemosphere*, 45, 347-356.
52. McWhinney, R., Badali, K., Liggio, J., Li, S.-M., & Abbatt, J. (2013). Filterable redox cycling activity: A comparison between diesel exhaust particles and secondary organic aerosol constituents. *Environmental Science and Technology*, 47(7), 3362-3369.
53. Minguillón, M., Campos, A., Cardenas, B., Molina, L., & Querol, X. (2014). Mass concentration, composition and sources of fine and coarse particulate matter in Tijuana, Mexico, during Cal-Mex campaign. *Atmospheric Environment*, 88, 320-329.
54. Molina Center for Energy and the Environment, C. N. (2010). *Diagnostico sobre compuestos toxicos en aire ambiente y caracterizacion espacial de fuentes de emision y meteorologia en la Region Fronteriza de Baja California.*

55. Mugica, V., Ortiz, E., Molina, L., De Vizcaya-Ruiz, A., Nebot, A., Quintana, R., et al. (2009). PM composition and source reconciliation in Mexico City. *Atmospheric Environment*, *43*, 5068-5074.
56. Nachman, K. E., & Parker, J. (2012). Exposures to fine particulate air pollution and respiratory outcomes in adults using two national datasets: a cross-sectional study. *Environmental Health*, *11* (25), 1-12.
57. Naveiro, O. M. (2005). *Fortificación, biodisponibilidad y especiación del selenio en la vaca de leche*. Santiago.
58. Neal Fann, D. R. (2013). The public health context for PM<sub>2.5</sub> and ozone air quality trends. *Air Qual Atmos Health*, *11*.
59. Nel, A. (2005). Air Pollution -Related Illnes: Effects of particles. *Sciene*, 804-806.
60. Ondráček, J., Schwars, J., Zdímal, V., Andelová, L., Vodicka, P., V., B., et al. (2011). Crontrubution of the road traffic to air pollution in the Prague city (busy speedway and suburban crossroads). *Atmospheric Environment*, *45* (29), 5090-5100.
61. Pakbin, P., Ning, Z., Shafer, M. M., Schauer, J. J., & Sioutas, C. (2011). Seasonal and Spatial Coarse Particle Elemental Concentrations in the Los Angeles Area. *Aerosol science Technology*, *45* (8), 949-956.
62. Parker, K. E. (2012). Exposures to fine particulate air pollution and respiratory outcomes in adults using two national datasets: a cross-sectional study. *Environmental health: a global access science source*, 2-12.
63. Patoulias, D., Fountoukis, C., Riipinen, I., & Pandis, S. (2015). The role of organic condensation on ultrafine particle growth during nucleation events. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *15*, 6337–6350.
64. Pedersen, D., Durant, J., Penman, B., Crespi, C., Hemond, H., & Lafleur, A. (2004). Human-cell mutagens in respirable airborne particles in the northeastern United States. 1. Mutagenicity of fractionated samples. *Environmental Science & Technology*, *38*, 682-689.
65. Pérez, N., Pey, J., Cusack, M., Reche, C., Querol, X., Alastuey, A., et al. (2010). Variability of particle number, black carbon and PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> levels and speciation: Influence of road traffic emissions on urban air quality. *Aerosol Science and Technology*, *44* (7), 487-499.
66. Peters, A., Dockery, D., Muller, J., & Mittleman, M. (2001). Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction . *Circulation*, 2810-2815.

67. Quintana, P., & Correll, T. (2014). Nontarget Analysis of PM<sub>2.5</sub> particulates in air samples from a US-México Border City by comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to time of flight mass spectrometry. *24 th Annual Meeting of The International Society of Exposure Science*, (pág. 51). Cincinnati, Ohio.
68. Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, *1*(4), 221-227.
69. Rampazzo Giancarlo, M. M. (2008). Gaseous and PM<sub>10</sub> bound pollutants monitored in three sites with differing environmental conditions in the Venice Area (Italy). *Water Air Soil Pollut*, 161-176.
70. S.A., G., J., L., B, C., GG, M., & Gonzalez-. (2002). Rapid increases in the steady-state concentration of reactive oxygen species in the lungs and heart after particulate air pollution inhalation. *Enrionmental Healt Perspect*, 749-755.
71. Saffari, A., Daher, N., Shafer, M., Schauer, J., & Sioutas, C. (2013). Seasonal and spatial variation of trace elements and metals in quasi-ultrafine (PM<sub>0.25</sub>) particles in the Los Angeles metropolitan area and characterization of their sources. *Environmental Pollution*, *181*, 14-23.
72. Sahu, M., Hu, S., Ryan, P., Le Masters, G., Grinshpun, S., Chow, J., et al. (2011). Chemical compositions and source identification of PM<sub>2.5</sub> aerosols for estimation of a diesel source surrogate. *Science of the Total Environment*, *409* (13), 2642-2651.
73. Salcedo, D., Castro, T., Bernal, J., Almanza-Verloz, V., Zavala, M., González-Castillo, E., et al. (2016). Using trace element content and lead isotopic composition to asses sources of PM in Tijuana, Mexico. *Atmospheric Environment*, *132*, 171.178.
74. Salud, O. M. (Marzo de 2014). *Organización Mundia de la Salud*. Recuperado el 30 de Abril de 2016, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
75. Schauer, J. (2003). Evaluation of elemental carbon as a marker fo rdiesel particulate matter. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, *13* (6), 443-453.
76. Seinfeld, J. H. (2006a). *Atmospheric Chemistry and Physics*. Canada: A Wiley-Interscience Publication.
77. Seinfeld, J., & S., P. (2006b). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution*. New York : Jonh Wiley & Sons.
78. SEMARNAT, EPA. (2012). *Programa Ambiental México-Estados Unidos*. Tijuana.

79. Simkhovich, B., Kleinman, M., Willet, P., Gookin, G., Salazar, K., Keebaugh, A., et al. (2011). Chronically inhaled ambient particles cause cardiac inflammation in normal, diseased, and elderly rat hearts. *Air Quality Atmosphere and Health*, 27-36.
80. Song, F., & Gao, Y. (2011). Size distributions of trace elements associated with ambient particular matter in the affinity of a major highway in the New Jersey-New York metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 45 (37), 6714-6723.
81. Soresen, M., Schins, R. P., Hertel, O., & Steffen, L. (2005). Transition Metals in Personal samples of PM<sub>2.5</sub> and oxidative stress in human volunteers. *Cancer Epidemiology, biomarkers & Prevention*, 1340-1343 .
82. Steenhof, M., Gosens, I., Strak, M., Godri, K., Hoek, G., Cassee, F., et al. (2011). In vitro toxicity of particulate matter (PM) collected at different sites in the Netherlands is associated with PM composition, size fraction and oxidative potential- the RAPTES project. *Particle and Fibre Toxicology*, 1-15.
83. Stone, E., Snyderl, D., Sheesley, R., Sullivan, A., Weber, R., & Schauer, J. (2008). Source apportionment of fine organic aerosol in Mexico City during the MILAGRO experiment 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 1249-1259.
84. T. Fang, V. V. (2015). A semi-automated system for quantifying the oxidative potential of ambient particles in aqueous extracts using the dithiothreitol (DTT) assay: results from the Southerastern Center for Air Pollution and Epidemiology (SCAPE). *Atmospheric Measurement Techniques*, 471-482.
85. Takahama, S., Russell, L., Shores, C., Marr, L., Zheng, J., Levy, M., et al. (2014). Diesel vehicle and urban burning contributions to black carbon concentrations and size distributions in Tijuana, Mexico, during the Cal-Mex 2010 campaing. *Atmospheric Environment*, 88, 341-352.
86. Taylor, J., & Cihon, C. (2004). *Statistical techniques for data for analysis* (2da. ed.). New York : Chapman & Hall.
87. Vega, E., Ruiz, H., Escalona, S., Cervantes, A., Lopez-Veneroni, D., Gonzalez-Avalos, E., et al. (2011). Chemical composition of fine particles in Mexico City during 2003-2004. *Atmospheric Pollution Research*, 2, 477-483.
88. Verma, V., Ning, Z., Chi, A., Schauer, J., Shafer, M., & Sioutas, C. (2009a). Redox activity of urban quasi-ultrafine particles from primary and secondary sources. *Atmospheric Environment*, 43, 6360-6368.

89. Verma, V., Polidori, A., Schauer, J., Shafer, M., F.R., C., & Sioutas, C. (2009b). Physicochemical and toxicological profiles of particulate matter in Los Angeles during the October 2007 Southern California wildfires. *Environmental Science and Technology*, *43*, 954-960.
90. Verma, V., Rico-Martinez, R., Kotra, N., King, L., Liu, J., Snell, T. W., et al. (2012). Contribution of water-soluble components and their hydrophobic/hydrophilic subfractions to the reactive oxygen species-generating potential of fine ambient aerosols. *Environmental Science & Technology*, *46*, 11384-11392.
91. Wahlin, P., Berkowicz, R., & Palmgren, F. (2006). Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen. *Atmospheric Environment*, *40* (12), 2151-2159.
92. Walgraeve, C., Demeestere, K., Dewulf, J., Zimmermann, R., & Van Langenhove, H. (2010). Oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate matter: Molecular characterization and occurrence. *Atmospheric Environment*, *44*, 1831-1846.
93. Wang, D., Pakbin, P., Shafer, M. M., Antkiewicz, D., Schauer, J. J., & Sioutas, C. (2013). Macrophage reactive oxygen species activity of water-soluble and water-insoluble fractions of ambient coarse, PM<sub>2.5</sub> and ultrafine particulate matter (PM) in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, *77*, 301-310.
94. Wang, X., Bi, X., Sheng, G., & Fu, J. (2006). Chemical composition and sources of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosols in Guangzhou, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, *119* (1), 425-439.
95. Wu, Y.-S., Fang, G.-C., Lee, W.-J., Lee, J.-F., Chang, C.-C., & Lee, C.-Z. (2007). A review of atmospheric fine particulate matter and its associated trace metals pollutants in Asian countries during the period 1995-2005. *Journal of Hazardous Materials*, *143* (1-2), 511-515.
96. Zavala, M., Marr, L. C., Rodriguez, G., Castillo, E., Quadros, M. E., Shores, C., et al. (2013). Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the San Diego-Tijuana Border Region. *To be submitted to Atmospheric Environment*.

## 9. ANEXOS

### I. Calibración del muestreador de alto volumen

#### *Procedimiento de calibración*

El procedimiento de calibración se llevó a cabo con el Kit de calibración de Tish, TE-5028 mostrado en la Figura I-1.



**Figura I-1.**Equipo de Calibración (izquierda adaptador de platos, derecha calibrador).

a) Montar el calibrador en el orificio y el adaptador de platos (mismo que se encuentra certificado por trazabilidad) como lo muestra la Figura I-2.



**Figura I-2.** Calibrador y adaptador de platos colocados en el muestreador de alto volumen.

- b) Apretar el adaptador superior con las tuercas, a fin de asegurarse que no hay fugas de aire presentes.
- c) Prender el equipo y dejar que se caliente a su temperatura normal.
- d) Verificar si existen fugas, Si se escucha un chillido verificar las tuercas de sujeción.
- e) Conectar el manómetro a la toma de presión del orificio de goma, deje el lado opuesto del manómetro abierto a la atmosfera.

**NOTA:** Las dos válvulas del manómetro tienen que estar abiertas para que el líquido fluya libremente.



**Figura I-3.** Ejemplo de conexión de manómetro a calibrador.

f) Procedemos a girar la perilla de la parte superior del calibrador, contra las manecillas del reloj para abrir los agujeros en la parte inferior. En la Figura I-4 se muestra de los agujeros del calibrador.



**Figura I-4.** a) Calibrador con orificios abiertos b) Calibrador con orificios parcialmente cerrados.

g) Girar la perilla en diferentes posiciones, hasta obtener 5 lecturas, registrar flujo y la diferencia de pulgadas de agua en el manómetro.



**Figura I-5.** Diferencia de pulgadas de agua registradas durante la calibración.

- h) Retirar el calibrador y el adaptador.
- i) Registrar la temperatura ambiente y presión barométrica del día de la calibración.

### ***Cálculos de calibración***

A continuación se muestra los cálculos correspondientes al día 8 de noviembre de 2013, en el sitio Habitacional II, los datos obtenidos durante la calibración se muestran en la tabla I.1

Tabla I.1.- Datos de calibración del día 8 de noviembre de 2013; diferencia de pulgadas de agua, flujo tiempo real, temperatura 299°K, presión barométrica 762mmHg.

<b>Δ pulgadas de agua</b>	<b>Flujo a tiempo real (CFM)</b>
<b>1.80</b>	32
<b>2.90</b>	38
<b>3.50</b>	40
<b>3.65</b>	42
<b>2.60</b>	36

Las lecturas del manómetro (en pulgadas de agua) deben ser convertidas a corrientes de aire lo cual se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Q_a = \frac{1}{m} \sqrt{\left( (H_2O) \left( \frac{T_a}{P_a} \right) \right)} - b \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Dónde:

- $Q_a$  = flujo actual indicado por el orificio del calibrador ( $m^3/min$ )
- $H_2O$  = Lectura del manometro durante la calibración (pulgadas de agua)
- $T_a$  = temperatura ambiente durante la calibración ( $^{\circ}K$ )
- $P_a$  = presión barometrica ambiental durante la calibración (mmHg)
- $m$  = Pendiente especificada en la hoja del calibrador
- $b$  = Intercepto especificado en la hoja del calibrador

Aplicando la Ecuación 5 en los datos de la tabla I.1 de la siguiente manera:

$$Q_a = \frac{1}{0.968} \sqrt{\left( (1.8") \left( \frac{299^{\circ}K}{762 \text{ mmHg}} \right) \right)} - (-0.00833)$$
$$Q_a = 0.877 \frac{m^3}{min}$$

Una vez realizado en cada uno de los valores obtenemos lo siguiente:

Tabla I.2.- Valores corregido de flujo actual del calibrador.

$\Delta$ pulgadas de agua	$Q_a^*$ (m <sup>3</sup> /min)	Flujo a tiempo real
<b>1.80</b>	0.877	32
<b>2.90</b>	1.110	38
<b>3.50</b>	1.219	40
<b>3.65</b>	1.245	42
<b>2.60</b>	1.052	36

\*Datos calculados por medio de la ecuación 1.

**NOTA:** Los valores de  $Q_a$  deben encontrarse dentro del rango de 1.02 a 1.24 m<sup>3</sup>/min (36-44 CFM), se considera una calibración buena, si cuatro de los cinco puntos se encuentran dentro de este rango, en la tabla I.2 se muestra con color rojo el valor fuera de este rango.

El flujo continuo a tiempo real debe de ser corregido por las condiciones meteorológicas mediante la siguiente ecuación:

$$IC = I \left[ \sqrt{\frac{T_a}{P_a}} \right] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

$IC$  = Flujo continuo corregido por  $T_a$  y  $P_a$

$I$  = flujo continuo a tiempo real durante la calibración

$P_a$  = Presión barométrica ambiental durante la calibración (mmHg)

$T_a$  = Temperatura ambiente durante la calibración (°K)

En la tabla I.3. se muestra los valores obtenidos aplicando la Ecuación 6 de la siguiente manera:

$$IC = 32 \left[ \sqrt{\frac{299^\circ K}{762 \text{ mmHg}}} \right]$$

$$IC = 20.045$$

Tabla I.3.- Valores corregido de flujo continuo corregido por  $T_a$  y  $P_a$ .

$\Delta$ pulgadas de agua	$Q_a^*$ (x)	Flujo a tiempo real	IC ** (y)
<b>1.80</b>	0.877	32	20.045
<b>2.90</b>	1.110	38	23.804
<b>3.50</b>	1.236	40	25.056
<b>3.65</b>	1.270	42	26.309
<b>2.60</b>	1.052	36	22.551

\*Datos calculados por medio de la ecuación 1.

\*\*Datos calculados por medio de la ecuación 2.

Posteriormente se señala a  $Q_a$ , IC como eje de las "x" y "y" respectivamente. Se calculó la pendiente y el intercepto utilizando el método de mínimos cuadrados.

Las ecuaciones para el cálculo de pendiente (m) e intercepto (b) son las siguientes:

$$m = \frac{\Sigma xy - \frac{(\Sigma x)(\Sigma y)}{n}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$b = \bar{y} - \bar{m}\bar{x} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

$n$  = numero de observaciones

$\bar{y} = \Sigma y/n$

$\bar{x} = \Sigma x/n$

$\Sigma$  = suma de

Sustituyendo en la ecuación 7 para  $n=5$

$$m = \frac{131.03 - \frac{(5.5)(117.76)}{5}}{6.14 - \frac{(30.27)^2}{5}}$$

$$m = 16.15096$$

Calculamos la pendiente, mediante la Ecuación 8

$$b = 23.553 - (16.25096 * 1.10)$$

$$b = 5.7796$$

La ecuación para calcular el coeficiente de correlación (r) es la siguiente:

$$r = \frac{\Sigma xy - \frac{(\Sigma x)(\Sigma y)}{n}}{\sqrt{\left[\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}\right]\left[\Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{n}\right]}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Sustituimos:

$$r = \frac{131.01 - \frac{(5.5)(117.76)}{5}}{\sqrt{\left[6.14 - \frac{30.27}{5}\right]\left[2796.94 - \frac{13868.58}{5}\right]}}$$

$$r = 0.990957$$

Una calibración con  $r < 0.990$  no es considerada como lineal, por lo cual se debe de repetir la calibración.

## II. Cálculos del Ensayo de DTT

Una vez llevado a cabo el ensayo de potencial oxidativo se obtuvieron las absorbancias para cada alícuota de muestra y su blanco como se muestra en la tabla II.1.

Tabla II.1.- Valores de absorbancia obtenidos, tanto del blanco como una muestra.

TIEMPO TRANSCURRIDO	BLANCO	MUESTRA
0	1.534	-
5	1.398	1.279
10	1.255	1.114
15	1.035	0.938
20	0.917	0.842

Se verifico la linealidad en el blanco, representado en la Figura II.1

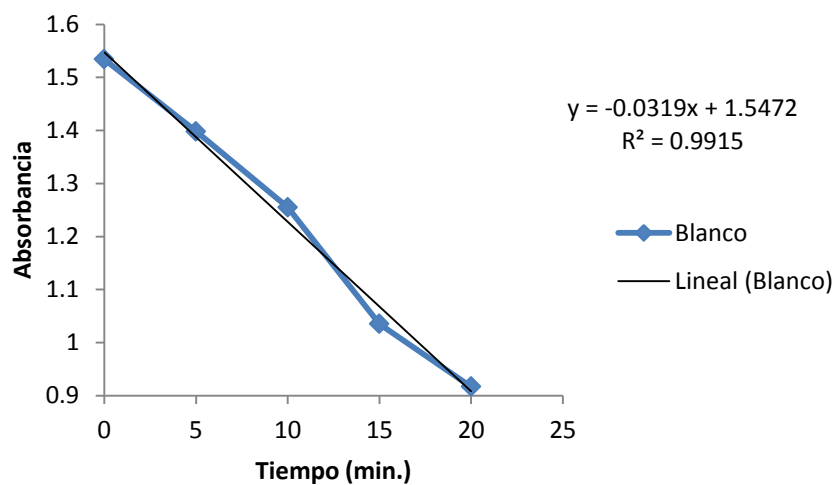


Figura II.1. Linealidad del blanco.

Para llevar a cabo una corrección es necesario conocer el cambio presente en el blanco debido a interferencia, lo cual se calcula con la Ecuación 10.

$$\Delta A_{Bco_{t_1-t_2}} = A_{Bco_{t_1}} - A_{Bco_{t_2}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

$\Delta A_{Bco_{t_1-t_2}}$  = Pérdida de DTT del blanco en el periodo  $t_1$  a  $t_2$

$A_{Bco_{t_1}}$  = Absorbancia del blanco en  $t_1$

$A_{Bco_{t_2}}$  = Absorbancia del blanco en  $t_2$

Sustituyendo en la ecuación 10 los valores registrados en la Tabla II.1, se obtiene:

$$\Delta A_{Bco_{t_1-t_2}} = 1.534 - 1.398$$

$$\Delta A_{Bco_{t_1-t_2}} = 0.136$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.2 en la columna de  $\Delta A_{Bco}$

Tabla II.2.- Obtención de datos para corrección de muestras.

Tiempo transcurrido	$A_{Bco}$	$\Delta A_{Bco}$	$A_m$
<b>0</b>	1.534	-	1.534*
<b>5</b>	1.398	0.136	1.279
<b>10</b>	1.255	0.143	1.114
<b>15</b>	1.035	0.220	0.938
<b>20</b>	0.917	0.118	0.842

\*Valor del blanco

Posteriormente se realizó una corrección de DTT en la muestra, como se muestra en la ecuación 11.

$$A_{MC} = A_M + \Delta A_{Bco} \quad (\text{Ecuación 11})$$

La corrección de  $A_M$  de la alícuota de 5 min, se realizó sustituyendo en la Ecuación 8:

$$A_{MC} = 1.279 + 0.136$$

$$A_{MC} = 1.415$$

Tabla II.3.- Corrección con el blanco.

TIEMPO TRANSCURRIDO	$A_{Bco}$	$\Delta A_{Bco}$	$A_M$	$A_{MC}$
<b>0</b>	1.534	-	1.534*	1.534*
<b>5</b>	1.398	0.136	1.279	1.415
<b>10</b>	1.255	0.143	1.114	1.257
<b>15</b>	1.035	0.220	0.938	1.158
<b>20</b>	0.917	0.118	0.842	0.960

Una vez realizadas las correcciones correspondientes se procedió a calcular la concentración de DTT (nmoles) utilizando la ley de Lamber-Beer (Ecuación 12) con  $\epsilon=14150 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$

$$A = \epsilon bc \quad (\text{Ecuación 12})$$

Despejando c y sustituyendo en la ecuación 12 se obtiene:

$$c = \frac{1.534}{(14150 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1})(1\text{cm})}$$

$$c = 1.084 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$n_{DTT} = \left( 1.084 \times 10^{-4} \frac{\text{moles}}{\text{litro}} \right) \left( \left( \frac{3.05 \text{ mL}}{1} \right) \left( \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \right)$$

$$c = 3.3065 \times 10^{-7} \text{ moles}$$

$$n_{DTT} = \left( \frac{3.3065 \times 10^{-7} \text{ moles}}{1} \right) \left( \frac{1 \text{ nmol}}{1 \times 10^{-9} \text{ moles}} \right)$$

$$n_{DTT} = 330.65 \text{ nmol}$$

Posteriormente se realizó el cálculo para cada uno de los valores obtenidos, los resultados se muestran en la siguiente tabla II.4

Tabla II.4.- Concentración.

TIEMPO TRANSCURRIDO	A <sub>MC</sub>	M <sub>(nmoles)</sub>
<b>0</b>	1.534*	330.650
<b>5</b>	1.415	305.000
<b>10</b>	1.257	270.943
<b>15</b>	1.158	249.604
<b>20</b>	0.960	206.926

\*Concentración al inicio del ensayo.

Una vez que se obtienen todos los datos se calcula pendiente y el coeficiente de correlación (Figura II. 2)

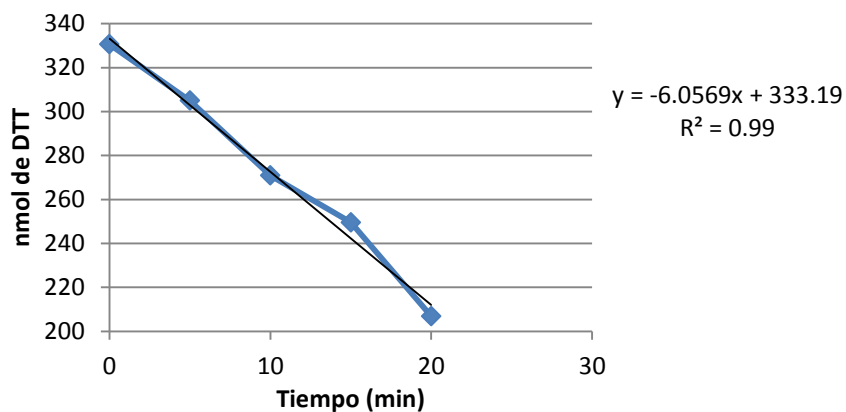


Figura II.2.- Velocidad de Consumo de DTT.

La velocidad de consumo de DTT ( $nmol\ de\ DTT/min * \mu g\ de\ PM$ ) fue determinada a través de la pendiente de la regresión lineal de TNB, normalizado con la concentración de PM ( $\mu g$ ).

La pendiente tiene unidades de nmoles de DTT/min, es decir el consumo de DTT en un tiempo determinado. Posteriormente se multiplica por el factor de dilución, y se divide entre la concentración en  $\mu g$  de PM obtenidos en la muestra en cuestión.

### III. Límites de Detección ICP-EOS

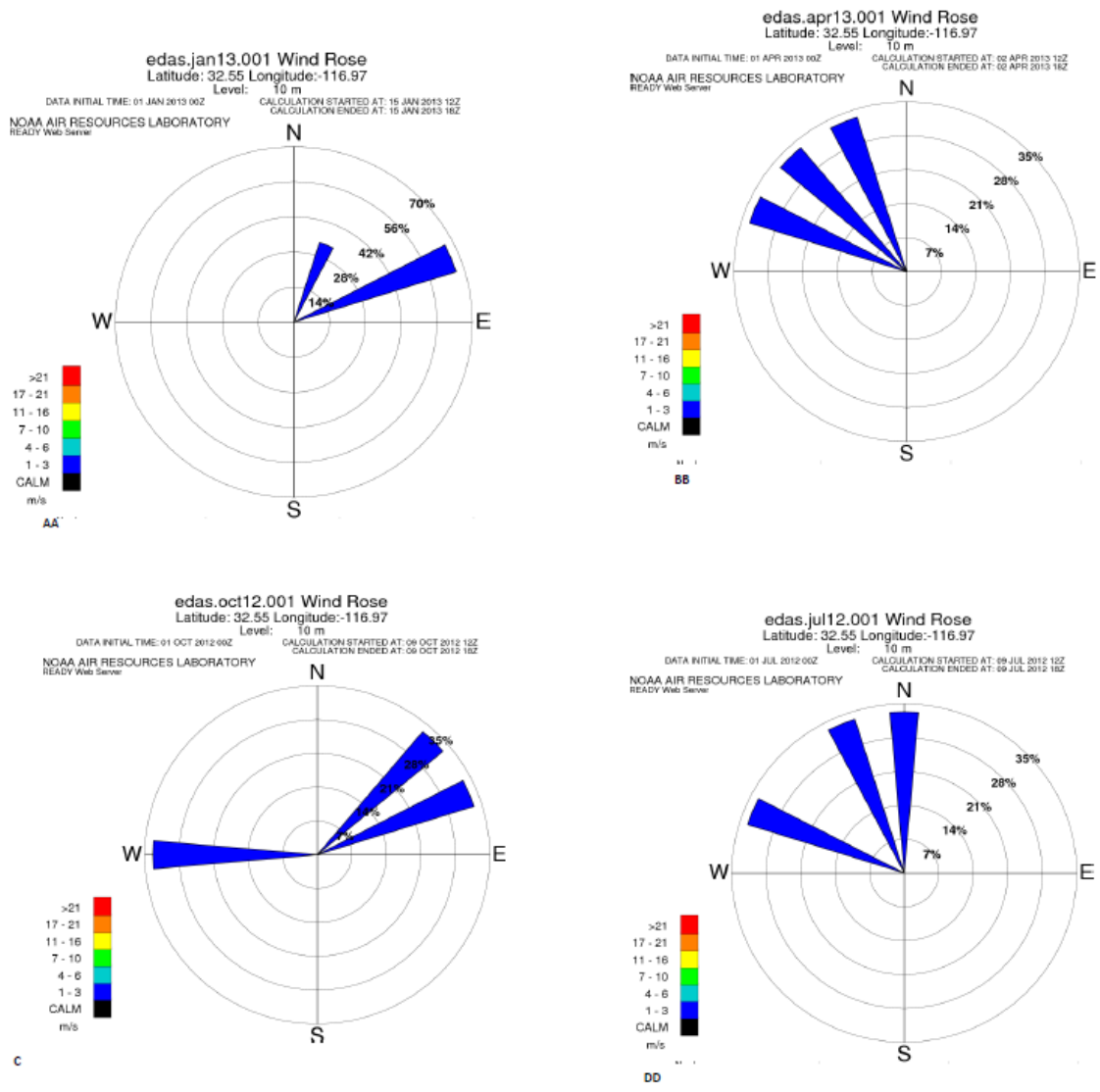
Elemento	Longitud de onda (nm)	Detección (µg/L)	
		Axial	Radial
<b>Al</b>	308.2	0.90	4.00
<b>As</b>	193.7	4.00	11.00
<b>Ba</b>	455.4	0.03	0.15
<b>Cd</b>	214.4	0.20	0.50
<b>Co</b>	238.9	0.40	1.20
<b>Cr</b>	267.7	0.50	1.00
<b>Cu</b>	224.7	0.10	0.133
<b>Mn</b>	257.6	0.50	2.00
<b>Mo</b>	202.0	0.10	0.133
<b>Ni</b>	221.6	0.70	2.10
<b>Pb</b>	220.4	1.50	8.00
<b>Se</b>	196.0	4.00	16.00
<b>Zn</b>	206.2	0.20	0.80

#### IV. Condiciones Meteorológicas durante 2012-2013

**Tabla IV-1.** Descripción de condiciones meteorológicas durante 2012-2013.

FECHA	T <sub>a</sub>	P <sub>a</sub>	%HR	V <sub>viento</sub>	RADIACIÓN SOLAR
07-mar-12	12	1017.3	46	7	Mayormente soleado
14-mar-12	14	1020.81	73	10	Mayormente despejado
05-abr-12	14	1014.99	73	6	Mayormente nublado
07-abr-12	18	1014.33	74	7	Mayormente nublado
14-sep-12	28	1014.56	40	7	Despejado
26-oct-12	20	1014.56	23	14	Despejado
27-dic-12	11	1017.51	72	7	Nublado
30-ene-13	12	1024.95	67	3	Mayormente despejado
01-mar-13	19	1023.6	20	7	Despejado
07-mar-13	12	1018.71	68	3	Mayormente nublado
08-mar-13	10	1015.02	82	11	Muy nublado y lloviznas
12-mar-13	14	1018.71	73	4	Despejado
13-mar-13	16	1019.19	73	5	Despejado
19-mar-13	16	1019.66	71	5	Mayormente nublado
26-mar-13	16	1015.05	75	5	Nublado
02-abr-13	16	1019.06	73	10	Despejado
12-abr-13	16	1011.45	67	10	Parcialmente nublado
15-abr-13	12	1013.5	79	10	Nublado
18-abr-13	18	1021.3	26	9	Despejado

**NOTA:** T<sub>a</sub>- Temperatura Ambiente (°C); P<sub>a</sub> Presión ambiente (Pa); %HR- Porcentaje de humedad relativa V<sub>viento</sub>- Velocidad del viento (m/s).



**Figura IV-1.** Rosas de viento para el periodo otoño-invierno (2012-2013), verano 2012 y primavera 2013 (Gutiérrez, 2014).

## V. Factores de Enriquecimiento PM<sub>10</sub>

<b>Metal</b>	<b>s-Tráfico vehicular</b>	<b>s-Habitacional I</b>	<b>s-Comercial</b>	<b>s-Industrial</b>
<b>As</b>	<b>80</b>	<b>107</b>	<b>113</b>	<b>93</b>
<b>Ba</b>	2	<b>14</b>	3	1
<b>Co</b>	4	<b>9</b>	5	3
<b>Cr</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>Cu</b>	<b>57</b>	<b>122</b>	<b>87</b>	<b>49</b>
<b>Mn</b>	1	1	1	1
<b>Ni</b>	4	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>18</b>
<b>Pb</b>	4	<b>19</b>	<b>7</b>	<b>255</b>
<b>Se</b>	<b>178</b>	<b>1042</b>	<b>456</b>	<b>197</b>
<b>Sr</b>	4	4	4	3
<b>Zn</b>	<b>66</b>	<b>104</b>	<b>76</b>	<b>76</b>
<b>SITIO</b>				
<b>Metales contribución antropogénica</b>				
<b>s-Tráfico Vehicular</b>	As, Cr, Cu, Se, Zn			
<b>s-Habitacional I</b>	As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn			
<b>s-Comercial</b>	As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn			
<b>s-Industrial</b>	As, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn.			

## VI. Concentración de PM<sub>10</sub> y metales asociados a la superficie (2012-2013)

La información presentada en este apartado forma parte de algunos de los datos mostrados en la Tesis de Maestría de Yaneth Gutiérrez publicada en el año 2014.

**Tabla VI-1.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Comercial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn		
2012	14 marzo	5.119	0.025	1.039	0.008	0.020	0.102	1.700	0.194	0.002	0.060	0.535	0.000	0.165	2.937	33.15
	4 septiembre	4.336	0.025	0.367	0.007	0.009	0.096	0.791	0.243	0.022	0.018	0.196	0.027	0.173	0.902	46.53
	26 octubre	9.565	0.028	1.599	0.010	0.015	0.083	0.900	0.416	0.013	0.042	1.517	0.038	0.232	1.511	67.37
2013	30 enero	8.702	0.036	0.971	0.006	0.004	0.069	0.676	0.355	0.005	0.018	0.893	0.000	0.230	1.206	107.40
	1 marzo	9.376	0.142	1.448	0.018	0.016	0.223	1.751	0.469	0.022	0.194	0.893	0.000	0.203	2.602	27.70
	7 marzo	11.598	0.028	1.765	0.004	0.000	0.095	0.825	0.4280	0.001	0.142	0.609	0.000	0.203	1.334	94.52
	19 marzo	4.722	0.000	0.427	0.002	0.015	0.083	0.503	0.238	0.015	0.053	0.204	0.017	0.160	1.598	60.28
	26 marzo	3.380	0.000	0.080	0.005	0.009	0.053	0.459	0.192	0.004	0.043	0.132	0.016	0.127	0.799	61.18
	2 abril	5.296	0.000	0.926	0.000	0.030	0.100	0.847	0.191	0.030	0.013	0.046	0.000	0.192	3.044	22.77
	12 abril	2.674	0.153	0.000	0.000	0.028	0.107	0.812	0.184	0.038	0.027	0.166	0.342	0.184	1.943	31.82
	18 abril	10.113	0.000	0.596	0.017	0.011	0.082	0.764	0.487	0.012	0.044	0.837	0.000	0.257	1.306	58.38

**Tabla VI-2.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Habitacional I.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )	
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn		
2012	07-marzo	6.340	0.027	0.658	0.000	0.021	0.077	0.221	0.282	0.011	0.021	0.088	0.000	0.199	1.147	43.65
	14-marzo	5.024	0.000	0.428	0.005	0.022	0.118	1.474	0.178	0.014	0.054	0.285	0.047	0.170	1.724	27.42
	30-enero	6.601	0.000	0.204	0.019	0.006	0.089	0.577	0.339	0.018	0.029	2.266	0.147	0.244	1.105	57.28
2013	07-marzo	2.705	0.002	0.000	0.010	0.020	0.053	0.571	0.229	0.022	0.071	0.706	0.013	0.114	1.500	10.79
	13-marzo	3.869	0.000	0.000	0.007	0.017	0.109	0.679	0.208	0.011	0.078	0.727	0.000	0.120	1.261	48.26
	19-marzo	2.344	0.000	0.000	0.000	0.020	0.098	1.154	0.172	0.020	0.066	0.054	0.000	0.175	2.060	51.70
	12-abril	10.021	0.028	0.000	0.012	0.011	0.065	0.769	0.472	0.022	0.035	0.619	0.000	0.245	1.425	24.37
	18-abril	2.705	0.002	0.000	0.010	0.020	0.053	0.571	0.229	0.022	0.071	0.706	0.013	0.114	1.500	45.80

**Tabla VI-3.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Industrial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )	
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn		
2012	05-abril	3.894	0.032	0.000	0.015	0.009	0.083	0.358	0.195	0.000	0.053	0.269	0.024	0.160	2.010	36.510
	27-diciembre	6.380	0.000	0.783	0.013	0.002	0.065	0.399	0.245	0.005	0.025	4.577	0.060	0.114	0.900	77.870
2013	12-marzo	10.786	0.052	0.933	0.339	0.005	0.133	0.983	0.763	0.013	0.217	16.558	0.106	0.288	3.287	103.175
	13-marzo	4.919	0.018	0.058	0.032	0.016	0.129	0.499	0.376	0.005	0.217	3.206	0.000	0.115	1.689	38.501
	19-marzo	3.043	0.000	0.000	0.089	0.013	0.039	0.431	0.184	0.007	0.019	8.841	0.000	0.172	1.938	72.197
	15-abril	3.894	0.032	0.000	0.015	0.009	0.083	0.358	0.195	0.000	0.053	0.269	0.024	0.160	2.010	51.143

**Tabla VI-4.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Tráfico vehicular.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )	
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn		
2012	14-marzo	7.482	0.000	0.524	0.006	0.008	0.060	0.583	0.354	0.015	0.039	0.209	0.000	0.166	1.243	72.150
	04-julio	5.085	0.000	0.000	0.003	0.024	0.164	0.838	0.250	0.020	0.044	0.080	0.000	0.169	1.422	28.770
2013	30-enero	8.294	0.000	0.679	0.004	0.005	0.068	0.479	0.339	0.010	0.019	0.324	0.011	0.233	1.052	110.980
	01-marzo	8.646	0.000	0.348	0.002	0.008	0.074	0.573	0.358	0.000	0.035	0.272	0.000	0.174	1.191	60.590
	13-marzo	4.955	0.000	0.443	0.005	0.010	0.105	0.546	0.242	0.014	0.040	0.355	0.000	0.137	1.355	72.800
	19-marzo	4.133	0.083	0.148	0.000	0.008	0.081	0.340	0.209	0.004	0.059	0.333	0.020	0.123	1.023	69.840
	26-marzo	3.852	0.000	0.520	0.001	0.010	0.044	0.394	0.181	0.012	0.024	0.263	0.000	0.119	1.862	65.970
	02-abril	4.751	0.095	0.000	0.000	0.047	0.153	0.639	0.226	0.045	0.055	0.000	0.000	0.211	2.421	19.910
	12-abril	8.795	0.000	0.343	0.000	0.005	0.096	0.489	0.217	0.007	0.046	0.090	0.000	0.407	2.136	36.020
	18-abril	9.809	0.039	0.462	0.005	0.006	0.062	0.591	0.429	0.015	0.037	0.159	0.000	0.247	1.506	66.880

## VII. Factores de Enriquecimiento $PM_{0.49}$

METALES	SITIO			
	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I
<b>As</b>	<b>241</b>	<b>238</b>	<b>272</b>	<b>49</b>
<b>Ba</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Co</b>	<b>15</b>	<b>262</b>	<b>35</b>	<b>21</b>
<b>Cr</b>	<b>75</b>	<b>520</b>	<b>83</b>	<b>35</b>
<b>Cu</b>	<b>74</b>	<b>344</b>	<b>98</b>	<b>50</b>
<b>Mn</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Ni</b>	<b>45</b>	<b>117</b>	<b>39</b>	<b>15</b>
<b>Pb</b>	<b>83</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>14</b>
<b>Se</b>	<b>93</b>	<b>363</b>	<b>463</b>	<b>846</b>
<b>Sr</b>	<b>4</b>	<b>44</b>	<b>7</b>	<b>4</b>
<b>Zn</b>	<b>239</b>	<b>2084</b>	<b>446</b>	<b>136</b>

Sitio	Metales contribución antropogénica
s- Industrial	As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn
s- Tráfico Vehicular	As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sr, Zn
s-Comercial	As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sr, Zn
s- Habitacional I	As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn

### VIII. Concentración de PM<sub>0.49</sub> y metales asociados a la superficie (2012-2013)

La información presentada en este apartado forma parte de algunos de los datos mostrados en la Tesis de Maestría de Yaneth Gutiérrez publicada en el año 2014.

**Tabla VIII-1.** Concentración de metales y PM<sub>0.49</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Comercial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn	
<b>01-nov-12</b>	3.712	0.000	0.839	0.000	0.030	0.198	0.270	0.137	0.017	0.081	0.000	0.109	0.113	3.477	20.3400
<b>25-nov-12</b>	5.725	0.124	2.854	0.001	0.027	0.297	0.371	0.173	0.087	0.161	0.174	0.000	0.151	4.894	17.4200
<b>08-sep-12</b>	10.386	0.237	8.089	0.009	0.167	0.713	1.252	0.108	0.061	0.213	0.000	0.000	0.354	10.599	5.0400
<b>13-mar-13</b>	6.713	0.000	0.000	0.000	0.072	0.783	1.985	0.958	0.051	0.397	2.392	0.040	0.463	13.915	5.0500

**Tabla VIII-2.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Habitacional I.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn	
<b>09-ago-12</b>	7.8573	0.0000	4.5808	0.0000	0.0794	0.4061	0.6058	0.0993	0.0620	0.1499	0.0000	0.2649	0.2737	5.0465	8.95
<b>25-feb-13</b>	7.2324	0.0437	1.1385	0.0048	0.0139	0.0967	0.4572	0.2762	0.0196	0.1096	0.9855	0.1059	0.1546	2.2352	42.37

**Tabla VIII-3.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Industrial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn	
<b>27-mar-12</b>	11.9915	0.0000	7.5956	0.0000	0.1159	0.5361	1.0349	0.2626	0.0000	0.2211	0.0000	0.0000	0.3120	8.1647	9.01
<b>09-jun-12</b>	4.6080	0.1813	1.1933	0.0000	0.0096	0.2534	0.4320	0.3833	0.0129	0.1256	0.1730	0.0000	0.0782	1.8223	27.91
<b>15-feb-13</b>	7.0173	0.0135	0.0000	0.0000	0.0085	0.6987	0.9438	0.1761	0.0140	0.3962	9.7627	0.0498	0.0805	1.6884	71.31

**Tabla VIII-4.** Concentración de metales y PM<sub>10</sub> durante 2012-2013 asociado a s-Tráfico vehicular.

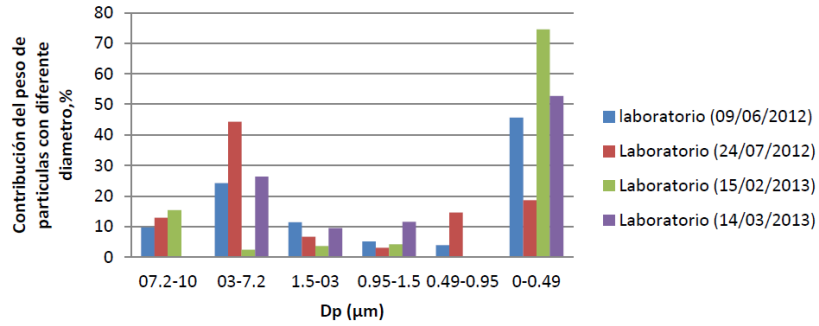
FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>														PM (µg/m <sup>3</sup> )
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	Zn	
<b>17-ago-12</b>	7.1567	0.0333	3.7384	0.0022	0.0672	0.4067	0.2991	0.1048	0.0724	0.0000	1.3800	0.0000	0.2365	6.4785	8.08
<b>21-oct-12</b>	0.5568	0.0000	0.0000	0.0000	0.1105	0.6642	0.6019	0.0698	0.0535	0.1417	0.0000	0.0000	0.4017	8.5052	4.77
<b>24-ene-13</b>	1.2556	0.0309	0.0000	0.0000	0.0194	0.1525	0.4212	0.1175	0.0221	0.0435	0.1464	0.0260	0.0805	1.1793	31.16

## IX. Concentración de PM obtenidas mediante impactador de cascada durante el periodo de muestreo 2015.

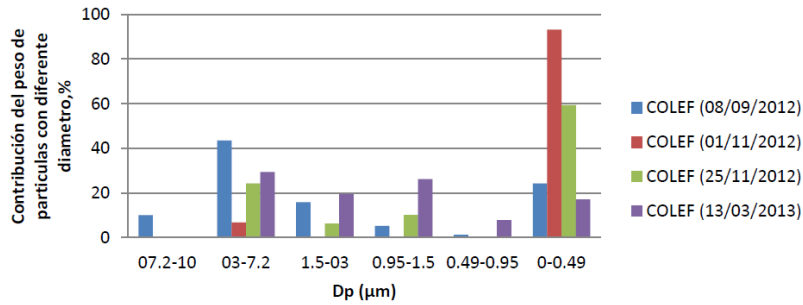
**Tabla IX-1** Concentración de PM muestreada mediante un impactador de cascada durante la primavera de 2015 en s-Habitacional II.

FECHA DE MUESTREO	FRACCIÓN	CONCENTRACIÓN DE PM
<b>19 de febrero de 2015</b>	10-7.2	1.7
	7.2-3.0	4.9
	3.0-1.5	1.3
	1.5-0.95	0.3
	0.95-0.49	1.0
	0.49	2.4
<b>11 de marzo de 2015</b>	10-7.2	13.2
	7.2-3.0	35.4
	3.0-1.5	16.1
	1.5-0.95	9.5
	0.95-0.49	9.0
	0.49	14.2
<b>19 de marzo de 2015</b>	10-7.2	7.7
	7.2-3.0	18.5
	3.0-1.5	9.4
	1.5-0.95	3.3
	0.95-0.49	1.7
	0.49	15.5
<b>21 de marzo de 2015</b>	10-7.2	8.1
	7.2-3.0	19.4
	3.0-1.5	6.8
	1.5-0.95	1.7
	0.95-0.49	4.2
	0.49	8.3
<b>28 de marzo de 2015</b>	10-7.2	18.9
	7.2-3.0	42.6
	3.0-1.5	19.5
	1.5-0.95	10.3
	0.95-0.49	7.6
	0.49	28.0
<b>14 de abril de 2015</b>	10-7.2	5.0
	7.2-3.0	82.9
	3.0-1.5	6.8
	1.5-0.95	4.3
	0.95-0.49	1.8
	0.49	17.8
<b>16 de abril de 2015</b>	10-7.2	5.3
	7.2-3.0	10.2
	3.0-1.5	5.8
	1.5-0.95	5.0
	0.95-0.49	4.2
	0.49	29.7
<b>18 de abril de 2015</b>	10-7.2	5.0
	7.2-3.0	13.7
	3.0-1.5	8.2
	1.5-0.95	5.7
	0.95-0.49	2.4
	0.49	22.4

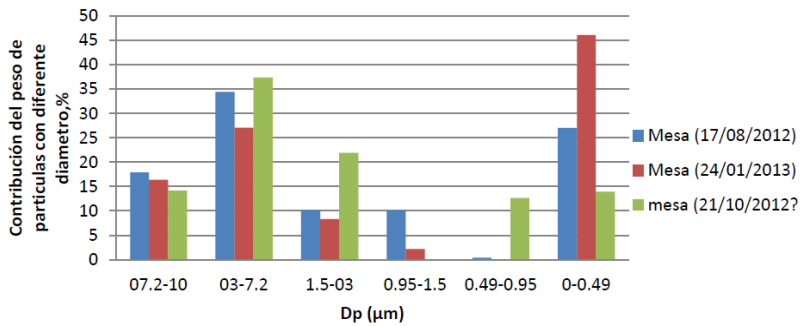
## X. Distribución del tamaño de partícula



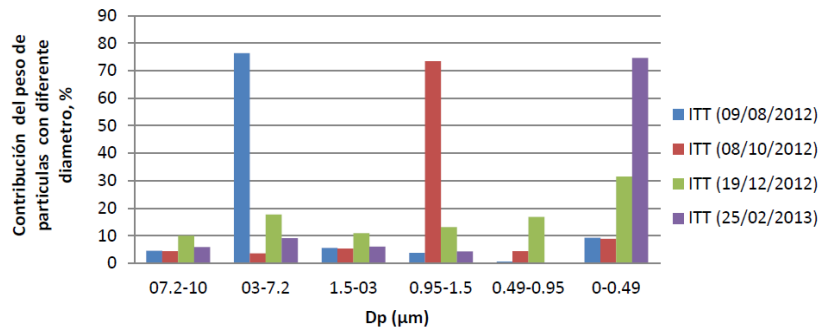
**Figura X-1.** Distribución de partículas en s-Industrial.



**Figura X-2.** Distribución de partículas en s-Comercial.



**Figura X-3.** Distribución de partículas en s-Tráfico vehicular.



**Figura X-4.** Distribución de partículas en s-Habitacional I.

## XI. Concentración de metales asociados a $PM_{0.49}$ en s-Habitacional II durante la primavera de 2015.

**Tabla XI-1.** Concentraciones de metales ( $ng/m^3$ ) de origen antropogénico en s-Habitacional II.

Fecha	Concentración de metales en $ng/m^3$												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
19 de febrero de 2015	95.99	0.00	1.00	0.12	0.00	0.00	20.20	0.83	0.00	1.04	2.89	1.07	23.33
11 de marzo de 2015	136.62	0.00	2.23	0.92	0.00	0.00	28.10	4.64	0.00	3.10	10.76	0.00	40.00
19 de marzo de 2015	174.70	0.00	0.92	0.26	0.00	0.00	6.64	2.23	0.00	0.28	6.76	5.07	14.84
21 de marzo de 2015	48.37	0.00	0.38	0.20	0.00	0.00	5.76	0.96	0.00	0.00	7.77	0.00	14.27
28 de marzo de 2015	168.81	0.00	2.15	0.63	0.00	0.00	15.74	3.14	4.48	0.84	15.65	0.02	37.63
14 de abril de 2015	79.18	0.00	0.75	0.09	0.00	0.00	8.69	1.31	0.00	0.00	7.27	0.00	14.15
16 de abril de 2015	290.78	0.00	5.09	0.20	0.00	0.00	9.01	7.21	0.00	0.00	6.23	2.10	15.22
18 de abril de 2015	136.57	0.00	1.94	0.31	0.00	0.00	8.01	3.44	0.00	0.00	7.05	3.39	13.96
25 de abril de 2015	51.55	0.00	0.67	0.12	0.00	0.00	2.96	0.61	0.00	0.00	0.72	7.31	9.61

## XII. Concentración de PM<sub>2.5</sub> y metales asociados a la superficie (2014)

**Tabla XII-1.** Concentraciones de metales (ng/m<sup>3</sup>) de origen antropogénico en s-Comercial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
03-abr-14	69.8	0.0	3.9	0.2	0.0	0.0	36.0	3.8	0.0	0.0	5.8	0.4	22.7
13-abr-14	102.0	0.0	41.8	0.8	0.0	15.4	59.7	4.3	0.0	1.2	38.4	0.0	55.4
24-abr-14	78.0	0.0	3.7	0.1	0.0	0.0	26.7	2.1	0.0	0.0	3.0	0.0	11.7
02-jun-14	68.7	0.0	2.5	0.1	0.0	0.0	16.6	1.8	0.0	0.8	0.0	0.0	8.9

**Tabla XII-2.** Concentraciones de metales (ng/m<sup>3</sup>) de origen antropogénico en s-Habitacional I.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
03-abr-14	33.1	0.0	2.2	0.4	0.0	0.0	19.1	3.3	0.0	0.0	39.8	0.0	19.7
13-abr-14	87.9	0.0	2.2	0.2	0.0	0.0	19.3	2.7	0.0	0.0	6.4	0.0	14.2
24-abr-14	332.1	0.0	15.0	0.3	0.0	0.0	45.6	9.5	0.0	0.0	8.7	0.0	28.2
02-jun-14	108.7	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	21.4	2.3	0.0	0.1	1.3	0.0	10.8

**Tabla XII-3.** Concentraciones de metales (ng/m<sup>3</sup>) de origen antropogénico en s-Industrial.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
01-abr-14	180.8	0.0	5.8	0.5	0.1	0.0	125.1	9.1	6.3	1.3	164.1	0.0	63.2
15-abr-14	555.1	0.0	18.3	0.7	0.0	0.0	119.2	25.4	2.1	7.5	453.1	0.0	53.0
27-abr-14	84.5	0.0	1.9	2.1	0.0	0.0	15.5	1.0	0.0	0.0	285.1	1.1	10.9
27-may-14	85.0	0.0	2.9	0.3	0.0	0.0	66.3	21.2	0.0	0.7	16.9	0.0	46.0
06-jun-14	163.4	0.0	4.8	0.1	0.1	0.0	15.1	7.3	0.0	2.1	7.3	0.5	53.2

**Tabla XII-4.** Concentraciones de metales (ng/m<sup>3</sup>) de origen antropogénico en s-Tráfico vehicular.

FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
01-abr-14	93.4	0.0	2.8	-0.1	0.0	0.0	31.3	2.2	0.0	0.0	2.4	0.0	21.5
15-abr-14	105.9	0.0	3.9	0.2	0.0	0.0	31.7	3.6	0.0	0.0	14.8	0.0	18.9
27-abr-14	316.3	0.0	13.2	0.5	0.1	0.0	53.3	11.5	0.0	0.0	20.0	0.0	33.5
27-may-14	102.8	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	34.3	3.1	0.0	0.0	1.6	0.0	11.2
06-jun-14	171.8	0.0	4.8	0.2	0.1	0.0	34.5	4.2	0.0	1.1	2.1	2.0	27.9

**Tabla XII-5.** Concentración de metales y PM<sub>2.5</sub> durante 2014 en el s-Habitacional II.

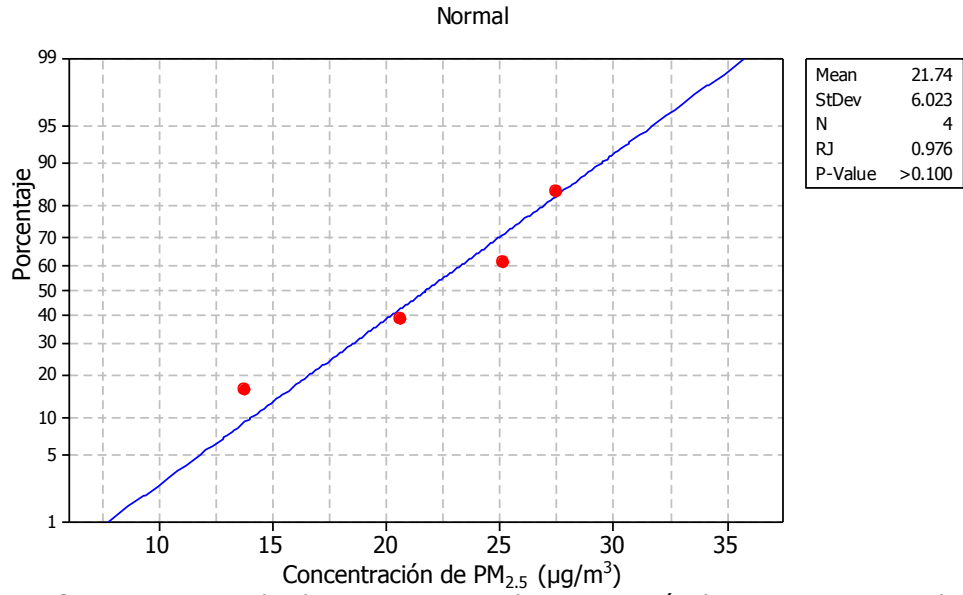
FECHA	Concentración de metales en ng/m <sup>3</sup>												
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
<b>10-abr-14</b>	159.7	0.0	9.5	2.2	0.0	0.0	58.1	10.8	0.0	3.8	96.5	0.0	72.4
<b>07-may-14</b>	83.5	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	21.0	0.9	0.0	0.0	1.9	0.0	16.3
<b>09-may-14</b>	152.3	0.0	2.8	0.3	0.0	0.0	48.5	3.3	0.0	0.3	15.5	0.0	99.4
<b>21-may-14</b>	89.6	0.0	2.1	0.4	0.1	0.0	39.8	2.7	0.0	1.9	20.7	3.7	33.4
<b>19-jun-14</b>	51.0	0.0	2.5	0.7	0.0	0.0	59.8	6.3	0.0	11.2	45.8	0.0	30.7
<b>21-jun-14</b>	27.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	26.5	1.2	0.0	0.0	5.3	0.0	7.8
<b>04-ago-14</b>	34.0	0.0	2.3	0.6	0.0	0.0	46.3	3.3	0.0	4.6	45.6	0.0	17.1
<b>06-ago-14</b>	35.3	0.0	1.5	0.2	0.0	0.0	37.8	2.3	0.0	0.8	20.3	0.0	16.7
<b>05-sep-14</b>	70.1	0.0	8.4	0.9	0.1	0.0	40.0	4.2	0.0	4.3	54.4	0.0	20.2
<b>14-oct-14</b>	48.5	0.0	9.0	0.3	0.1	0.0	38.4	2.6	0.0	2.6	10.8	0.0	19.0
<b>17-oct-14</b>	73.3	0.0	10.4	0.2	0.0	0.0	32.6	3.5	0.0	2.5	15.9	1.3	12.5
<b>29-oct-14</b>	156.6	0.0	14.0	0.6	0.0	0.0	41.9	5.8	0.0	0.0	38.2	0.0	49.9

### XIII. Carbono orgánico, carbono elemental y carbono total en PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional II

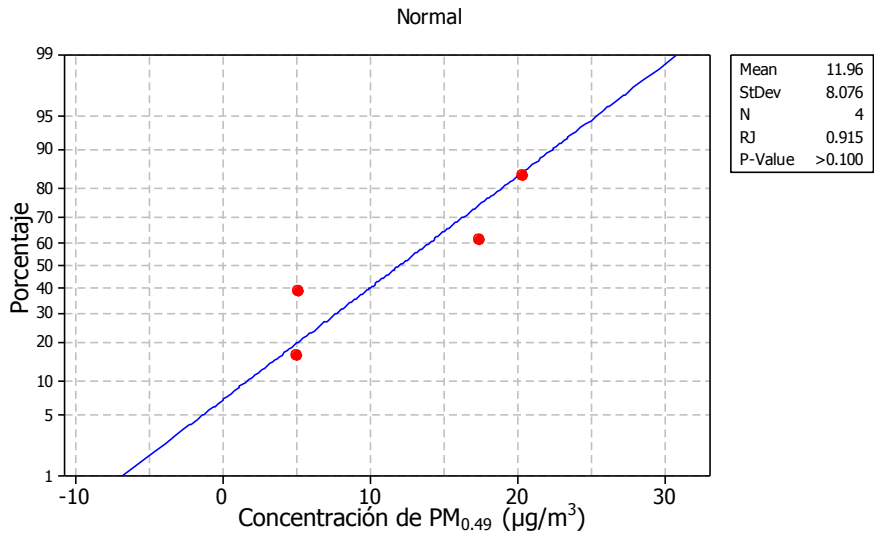
**Tabla XIII-1.** Concentración de CO, CE y CT ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional II.

NO. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	DÍA DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
			CO	CE	CT
1	Cecyte ID6R	10-abr-14	3.70	0.70	4.40
3	Cecyte ID16R	08-may-14	9.15	2.45	11.60
4	Cecyte ID17R	19-jun-14	11.24	2.59	13.83
5	Cecyte ID18R	21-jun-14	4.77	0.59	5.36
6	Cecyte ID19R	21-may-14	6.79	0.98	7.77
7	Cecyte ID26R	05-ago-14	9.51	2.25	11.75
8	Cecyte ID27R	04-ago-14	12.06	0.00	12.02
9	Cecyte ID28R	05-sep-14	7.07	1.12	8.18
10	Cecyte ID30R	29-oct-14	7.92	1.06	8.98
11	Cecyte ID31R	17-oct-14	5.65	1.09	6.75

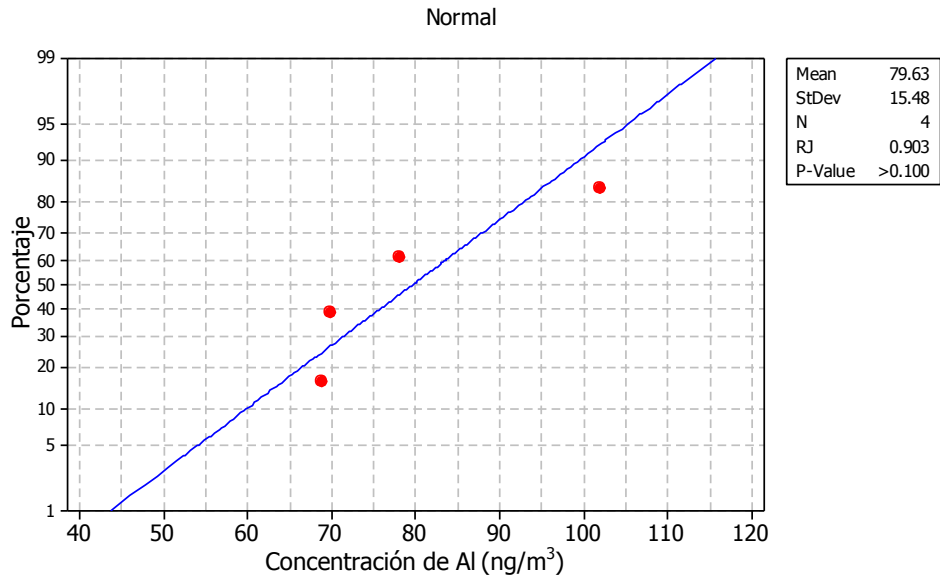
## XIV. Pruebas de Normalidad



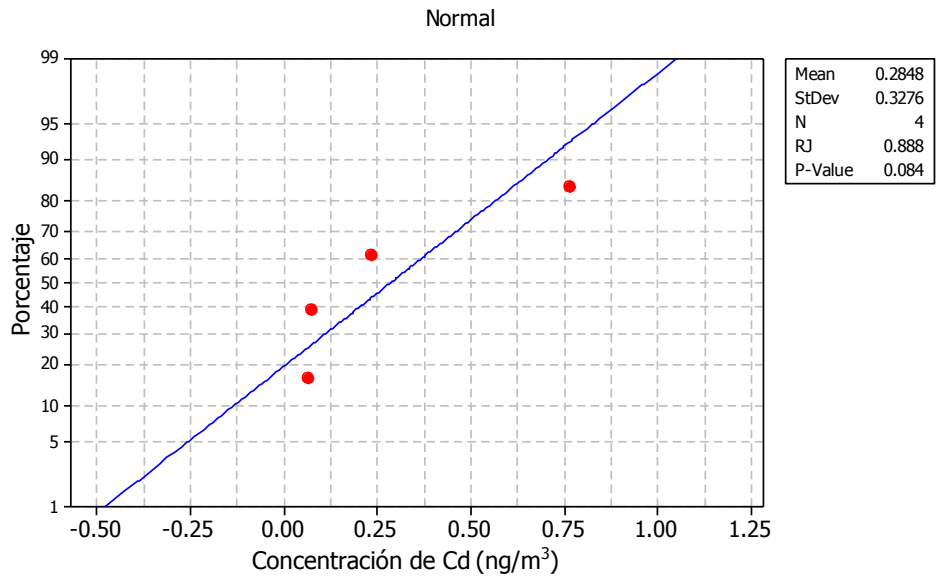
**Figura XIV-1.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



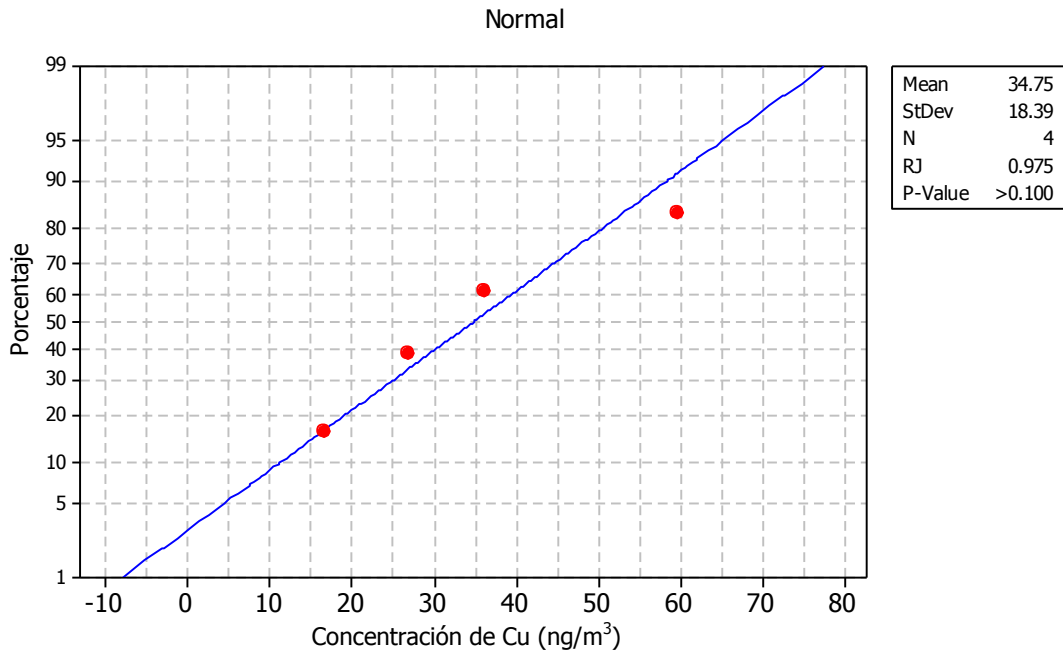
**Figura XIV-2.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de PM<sub>0.49</sub> en s-Comercial.



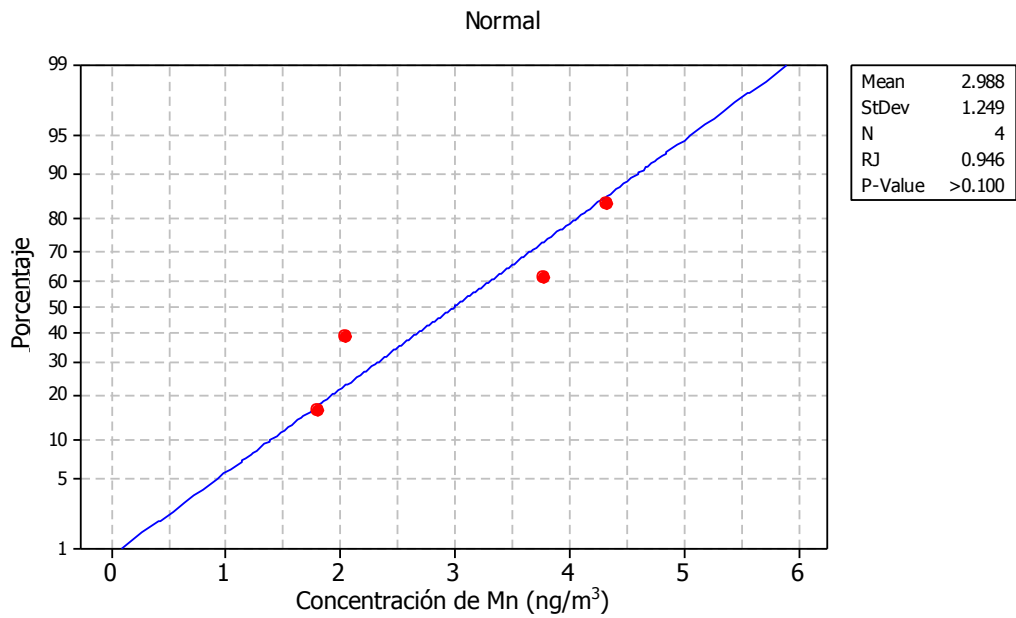
**Figura XIV-3.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Al asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



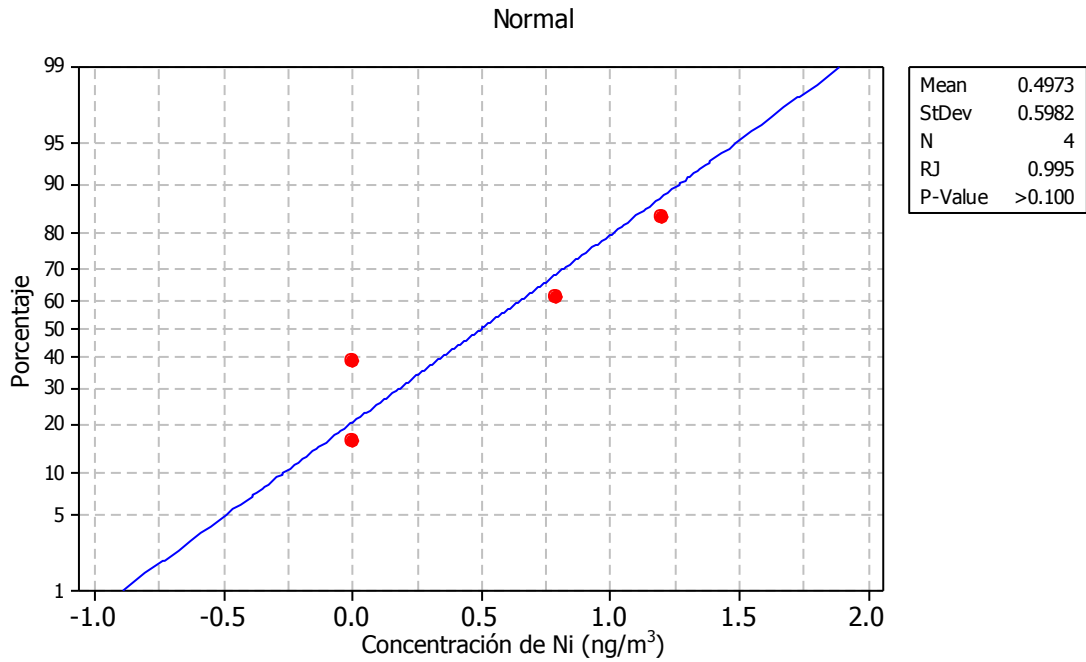
**Figura XIV-4.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cd asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



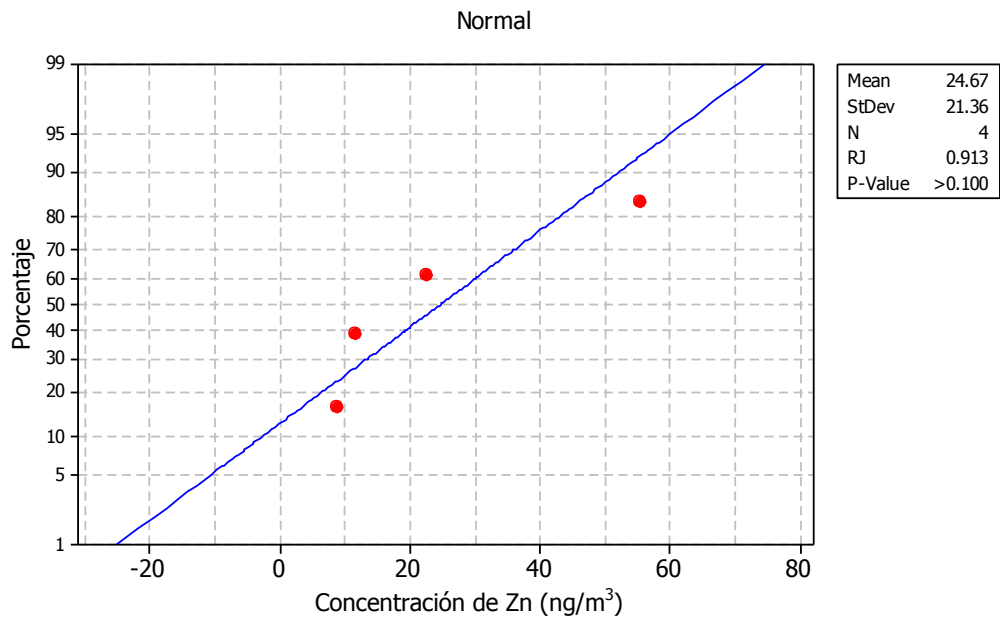
**Figura XIV-5.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cu asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



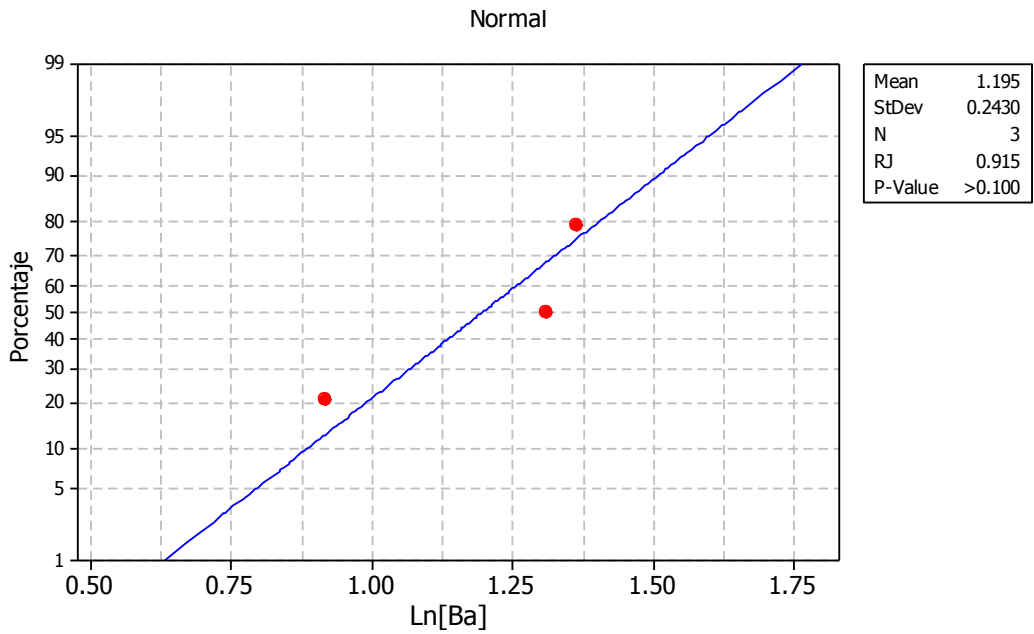
**Figura XIV-6.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Mn asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



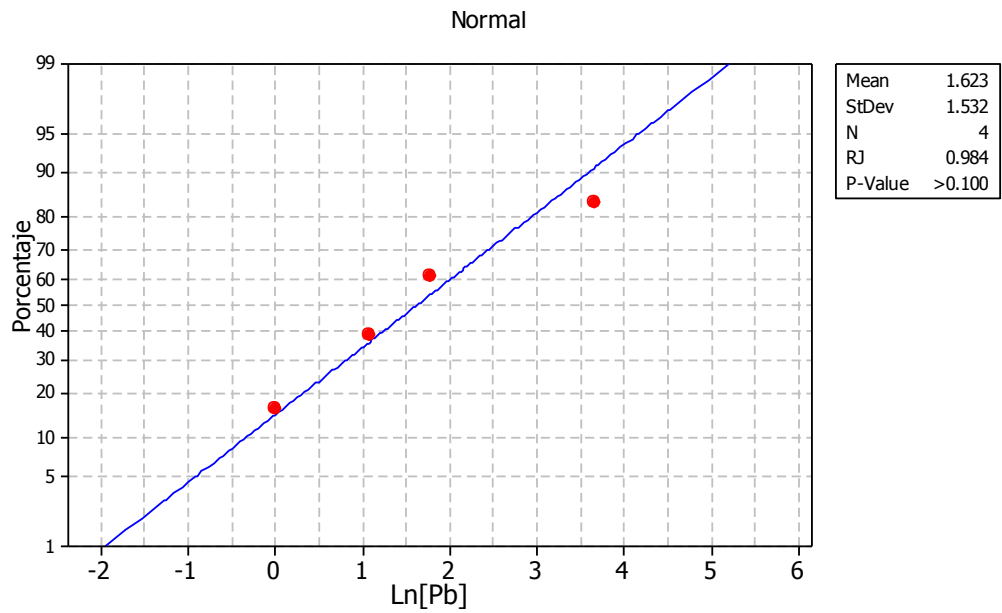
**Figura XIV-7.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Ni asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



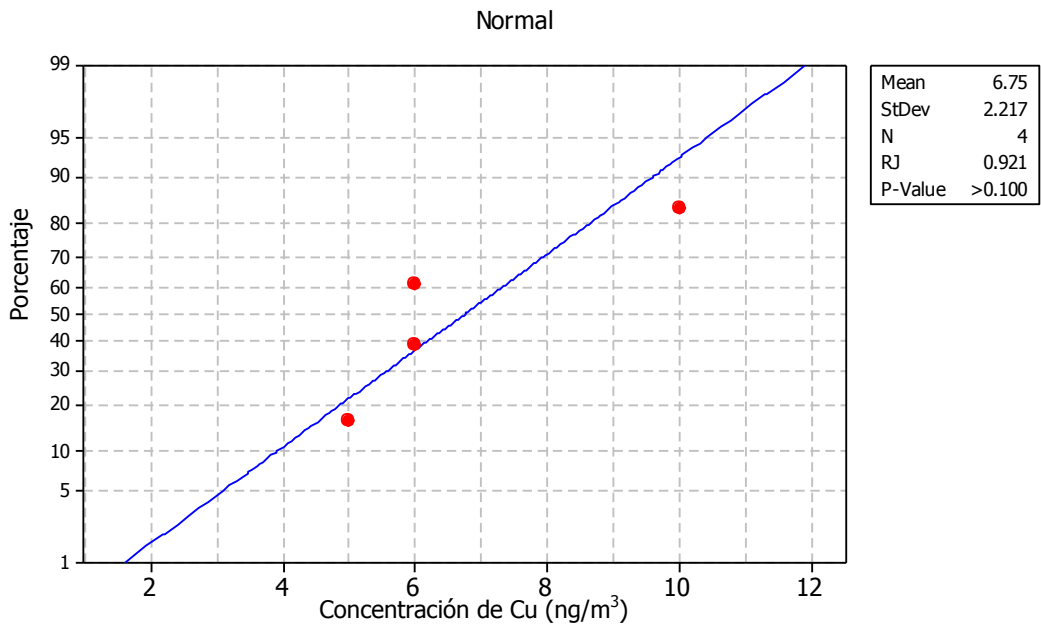
**Figura XIV-8.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Zn asociada a PM<sub>2.5</sub> en s-Comercial.



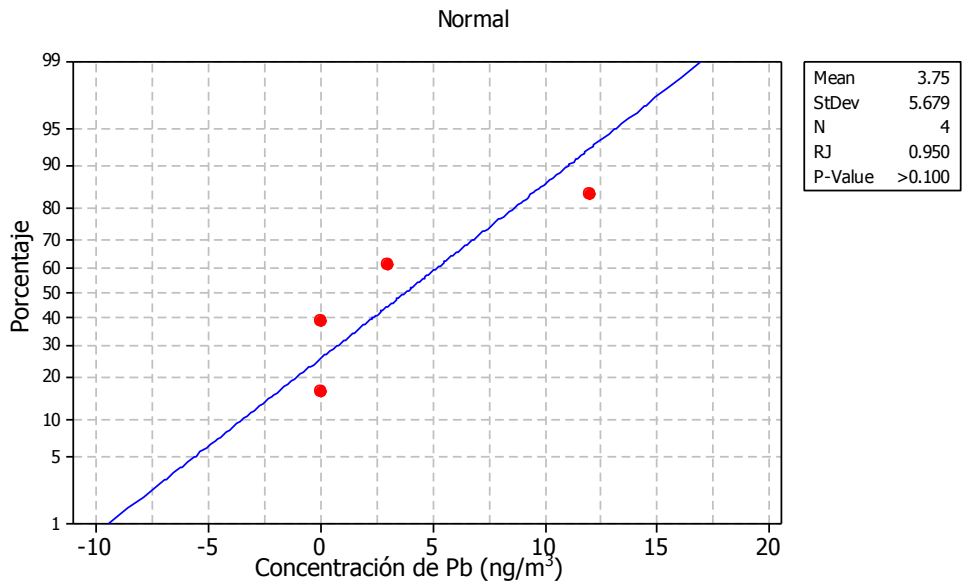
**Figura XIV-9.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[\text{Ba}]$  asociada a  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Comercial.



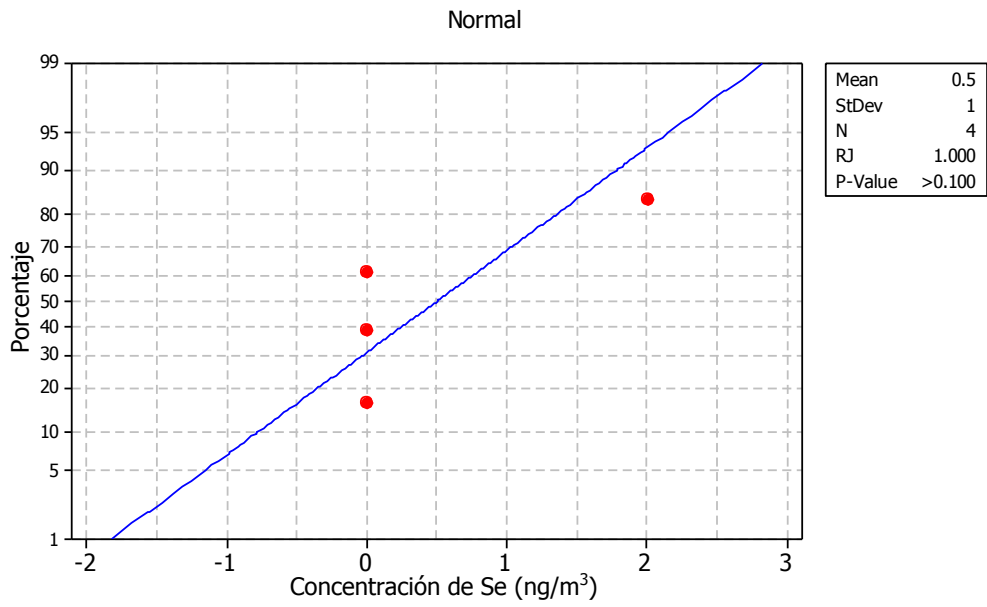
**Figura XIV-10.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[\text{Pb}]$  asociada a  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Comercial.



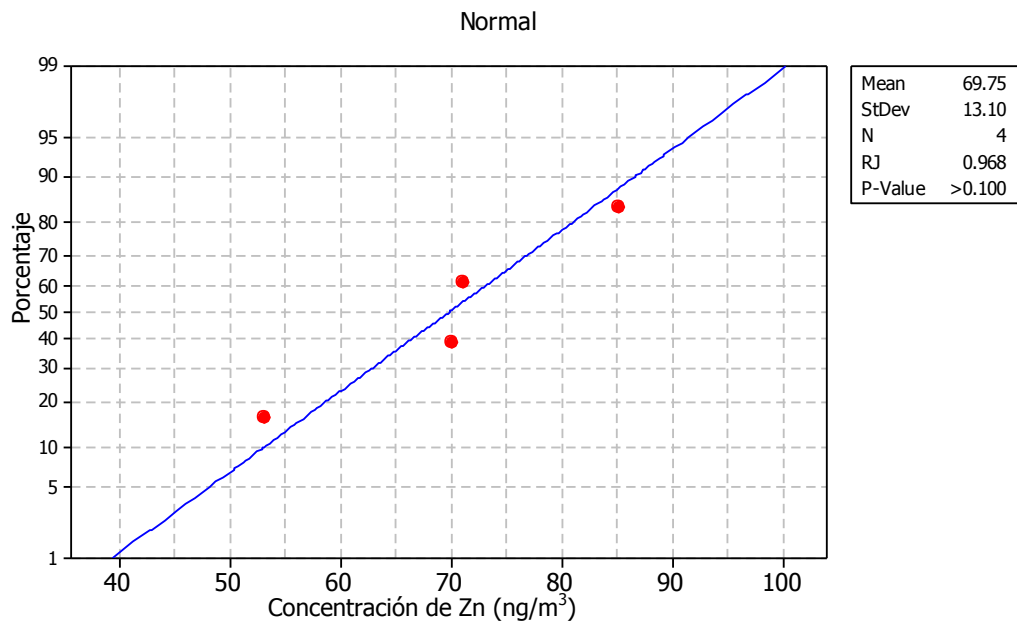
**Figura XIV-11.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Cu asociada a PM<sub>0.49</sub> en s-Comercial.



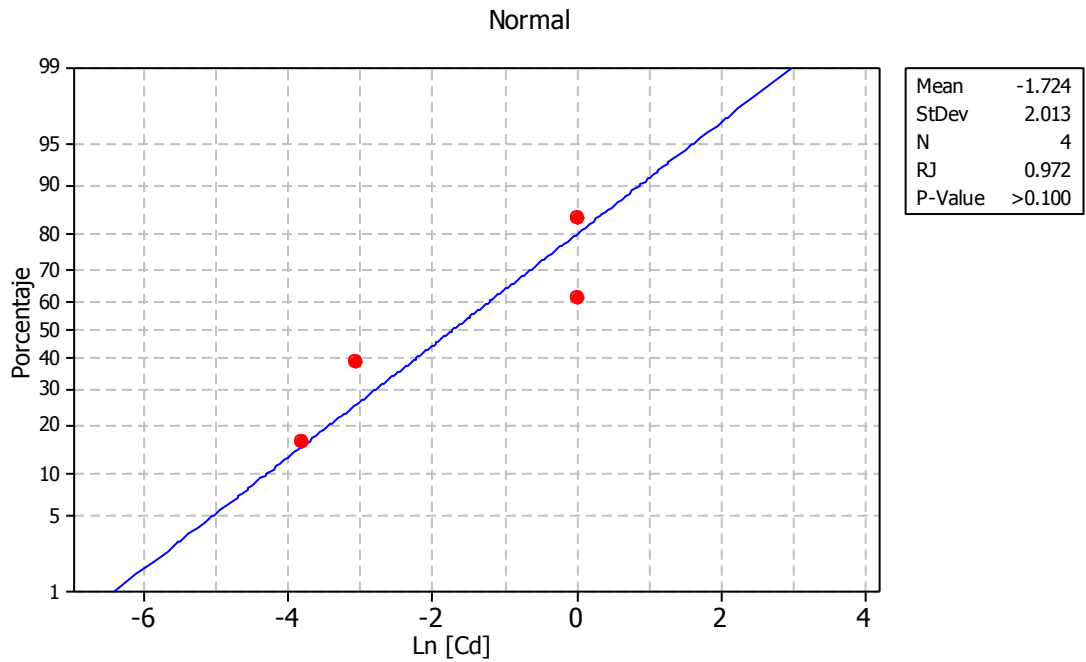
**Figura XIV-12.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Pb asociada a PM<sub>0.49</sub> en s-Comercial.



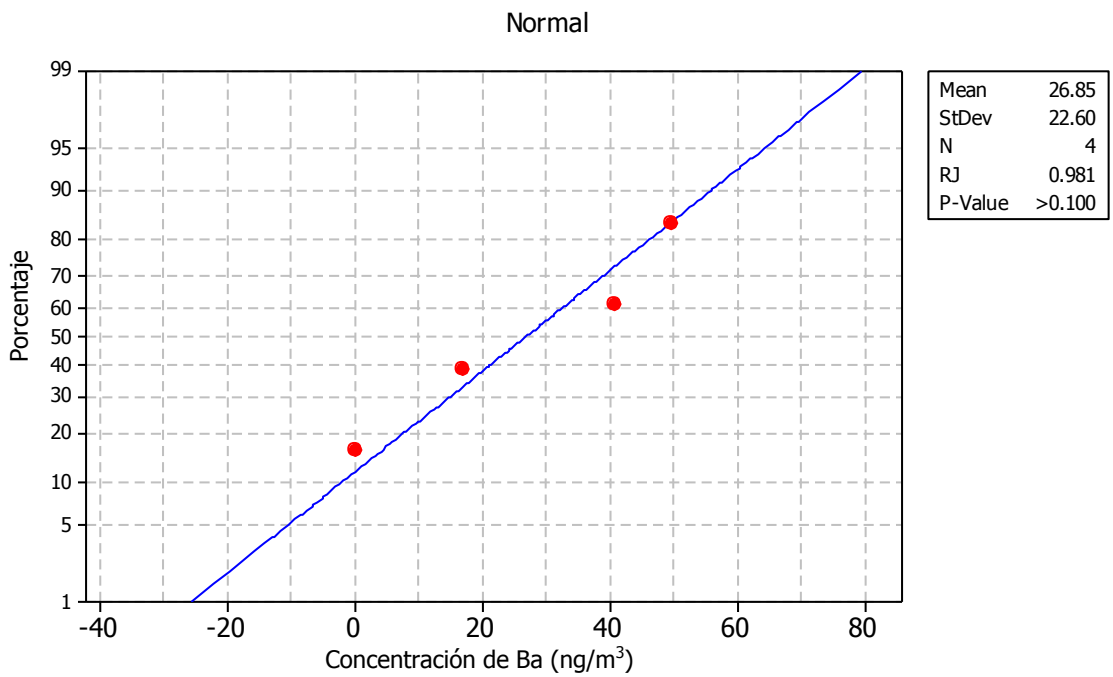
**Figura XIV-13.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Se asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Comercial.



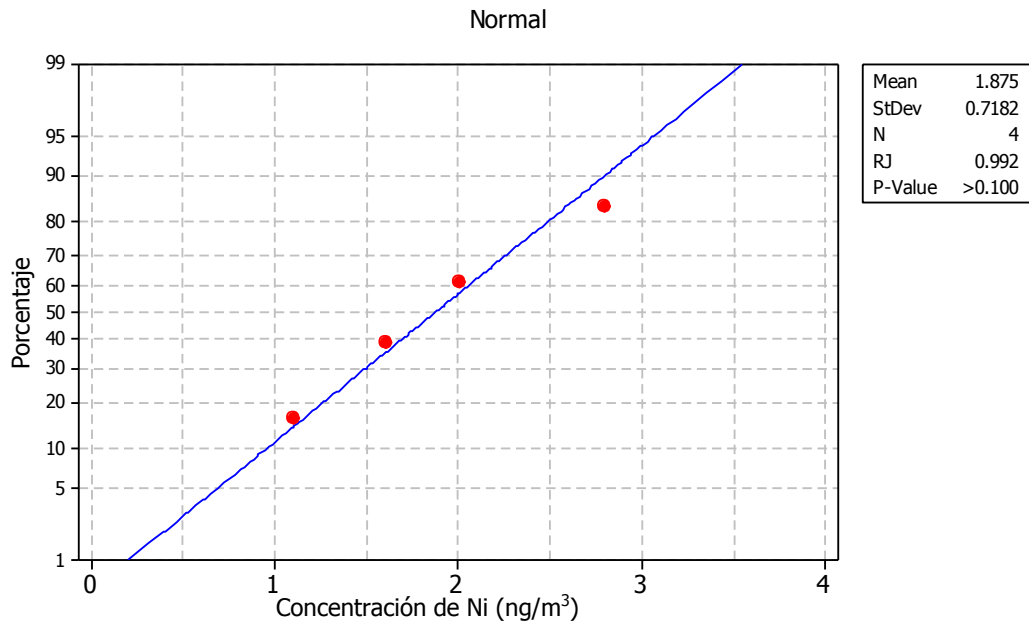
**Figura XIV-14.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración Zn asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Comercial.



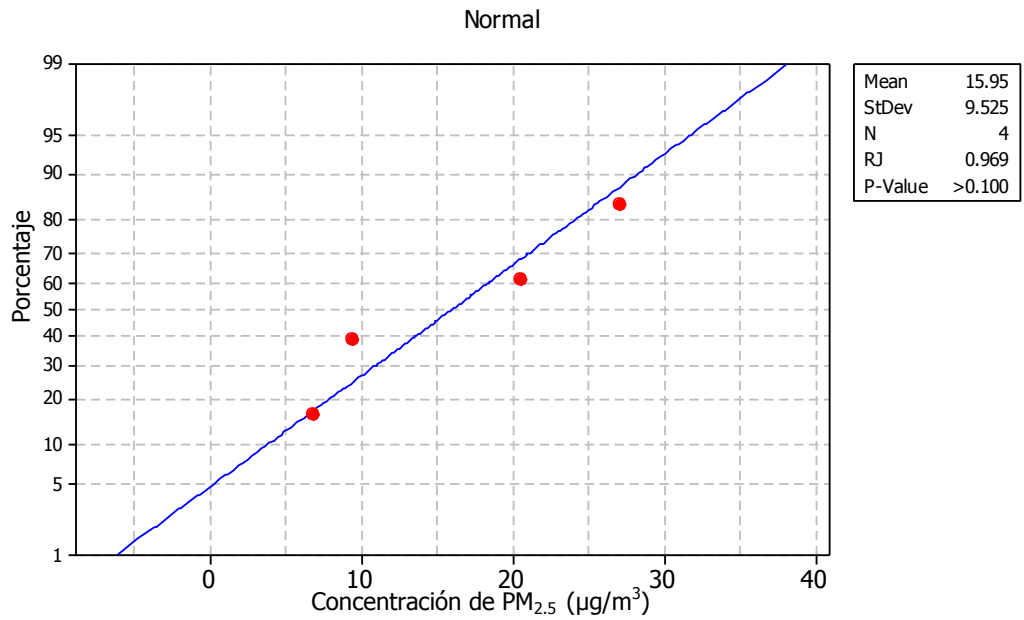
**Figura XIV-15.** Prueba de Ryan-Joiner para la  $\ln[\text{Cd}]$  asociada a  $\text{PM}_{0.49}$  en s-Comercial.



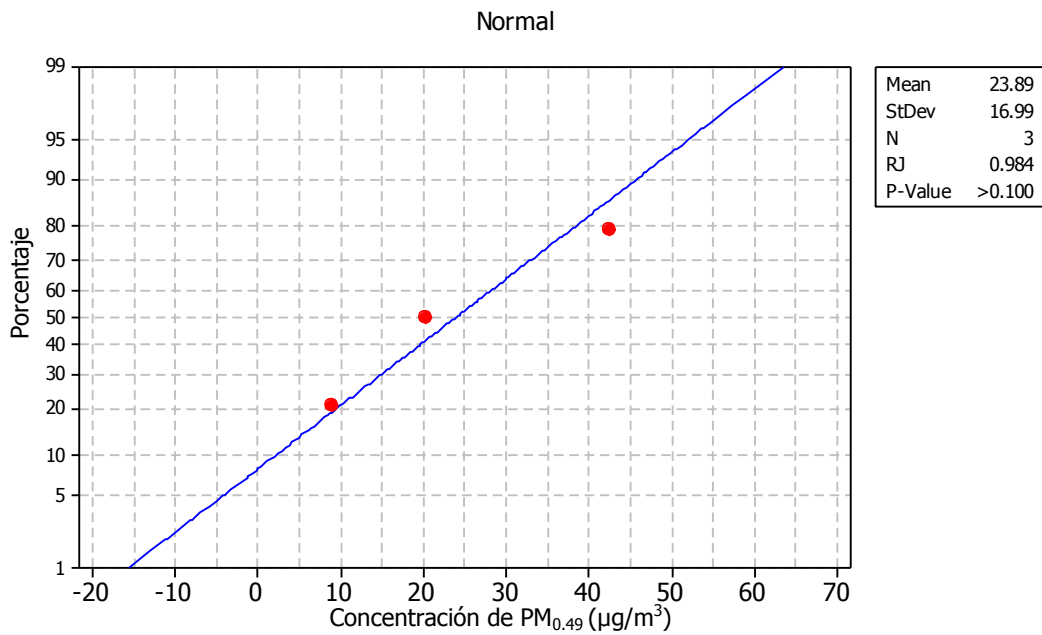
**Figura XIV-16.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ba asociada a  $\text{PM}_{0.49}$  en s-Comercial.



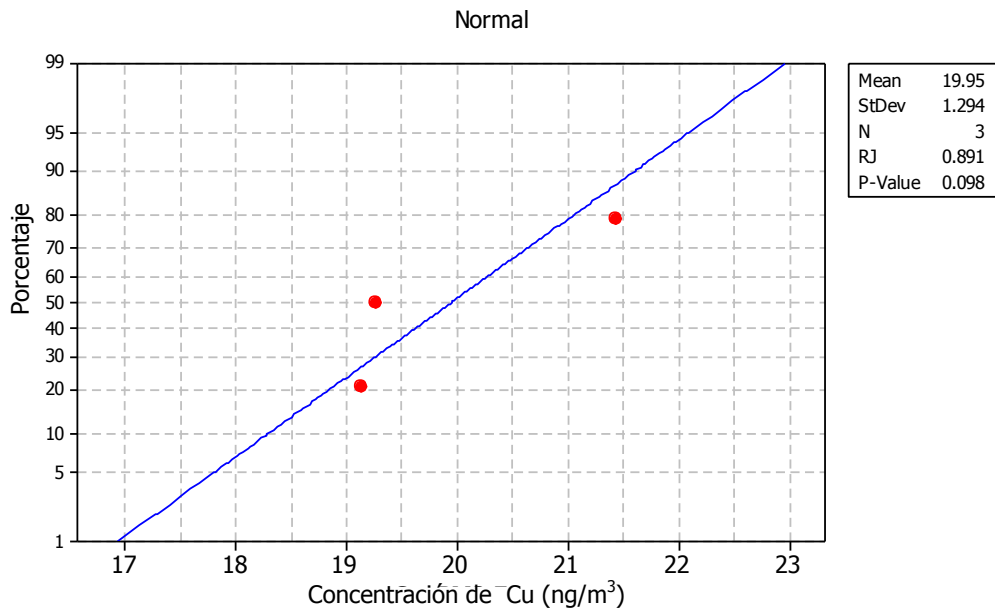
**Figura XIV-17.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociada a  $PM_{0.49}$  en s-Comercial.



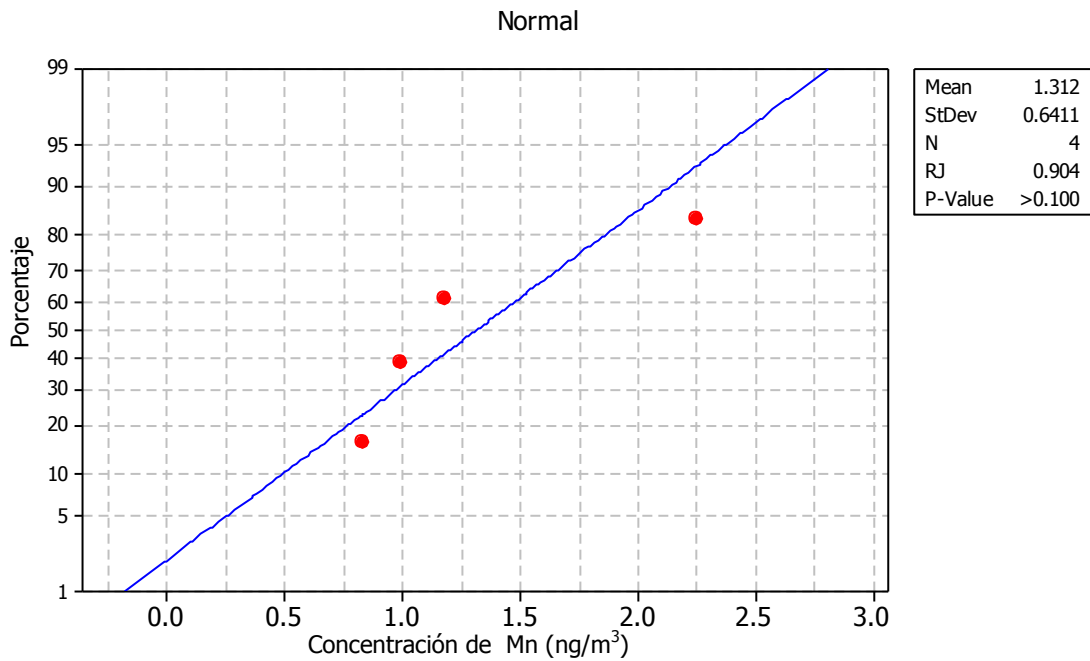
**Figura XIV-18.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de  $PM_{2.5}$  en s-Habitacional I.



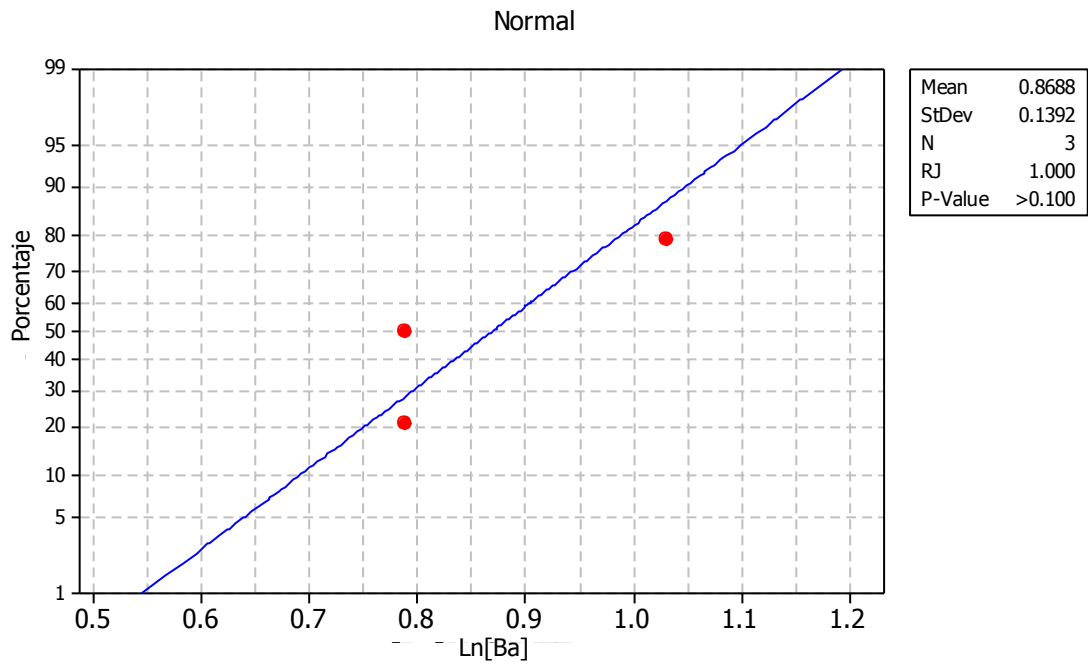
**Figura XIV-19.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional I.



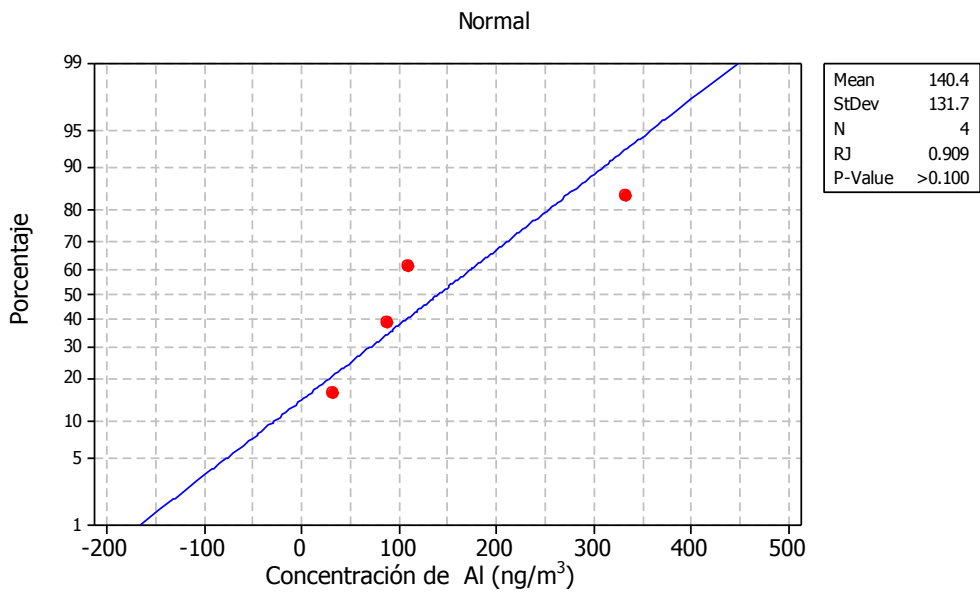
**Figura XIV-20.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



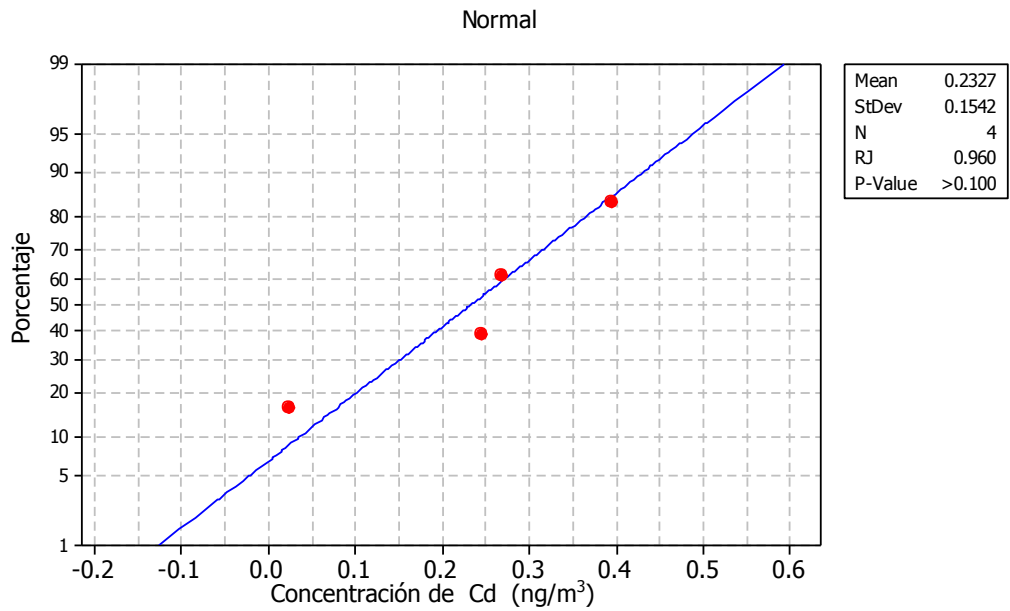
**Figura XIV-21.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Mn asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



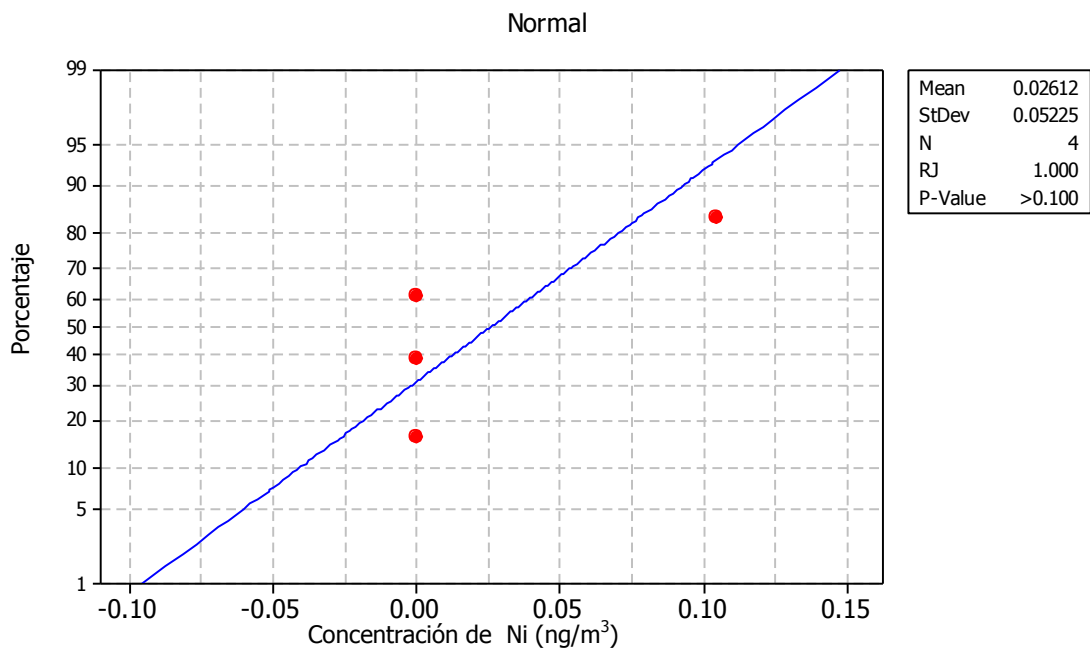
**Figura XIV-22.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[Ba]$  asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Habitacional I.



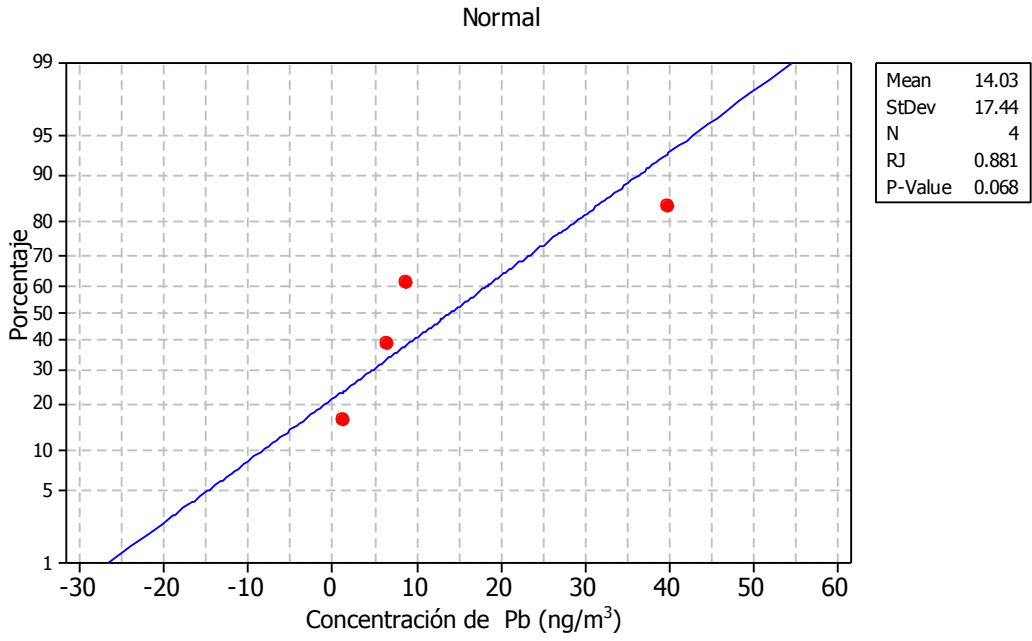
**Figura XIV-23.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Al asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Habitacional I.



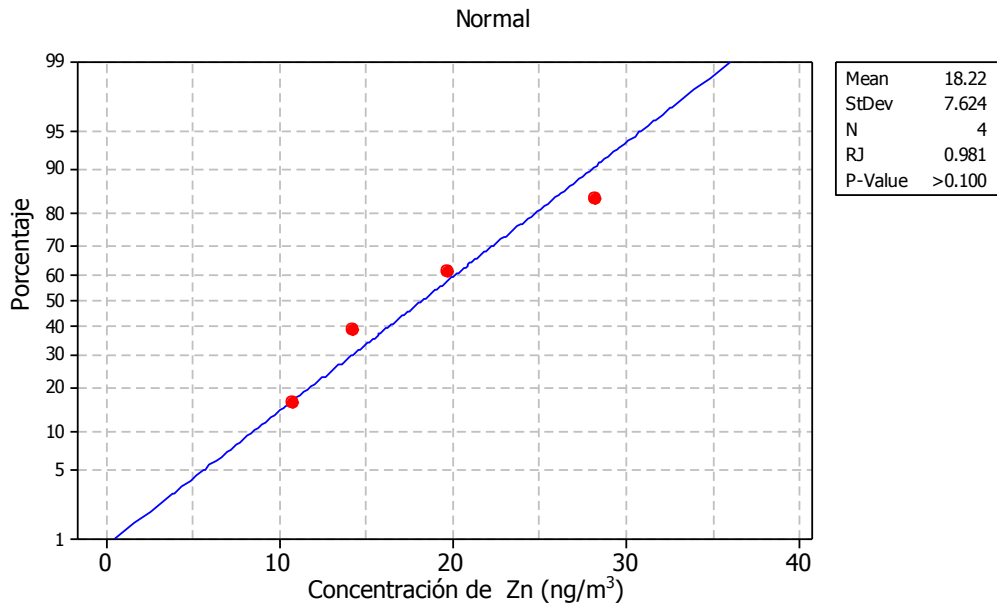
**Figura XIV-24.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



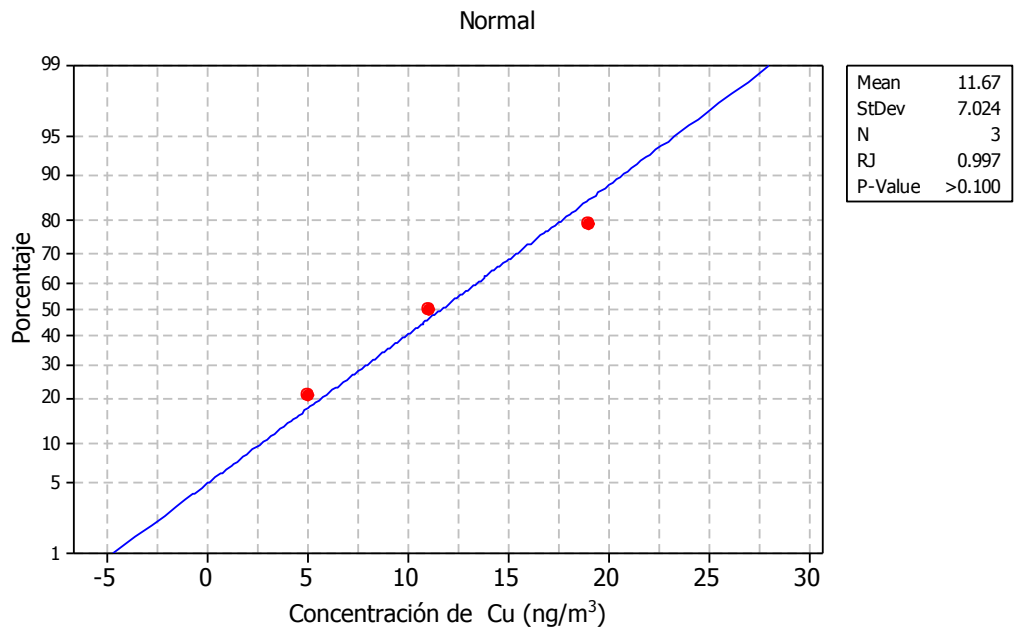
**Figura XIV-25.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



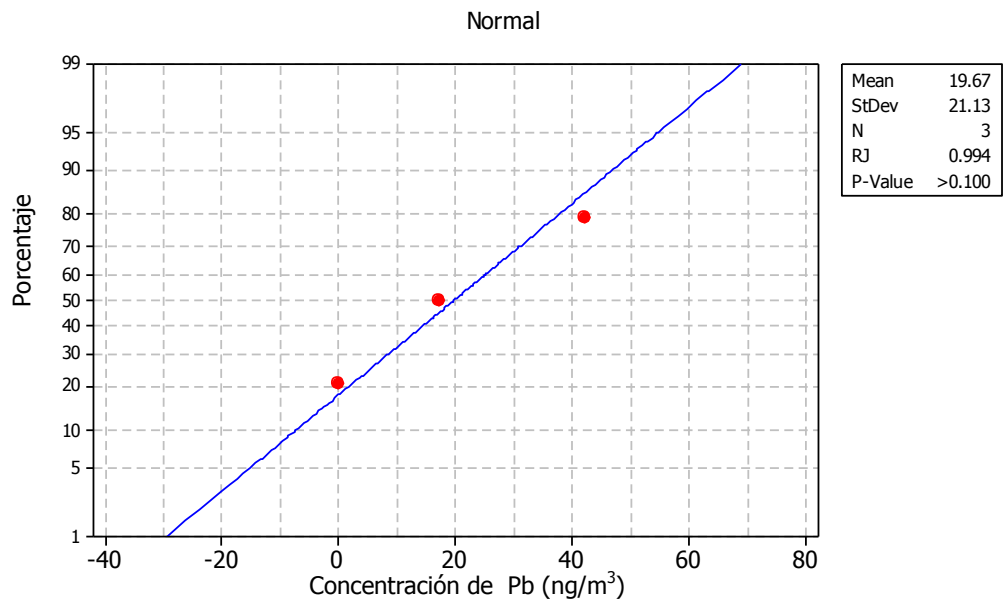
**Figura XIV-26.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



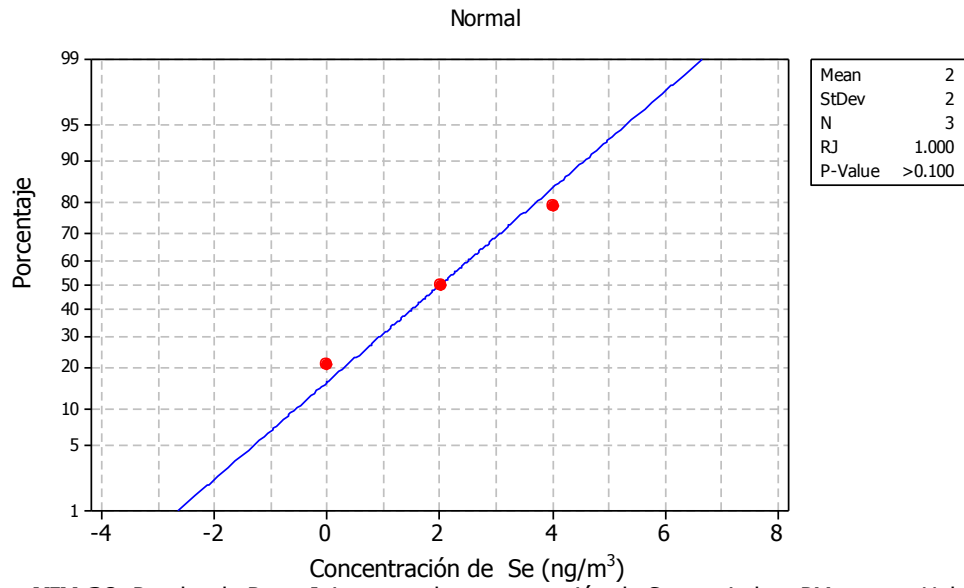
**Figura XIV-27.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional I.



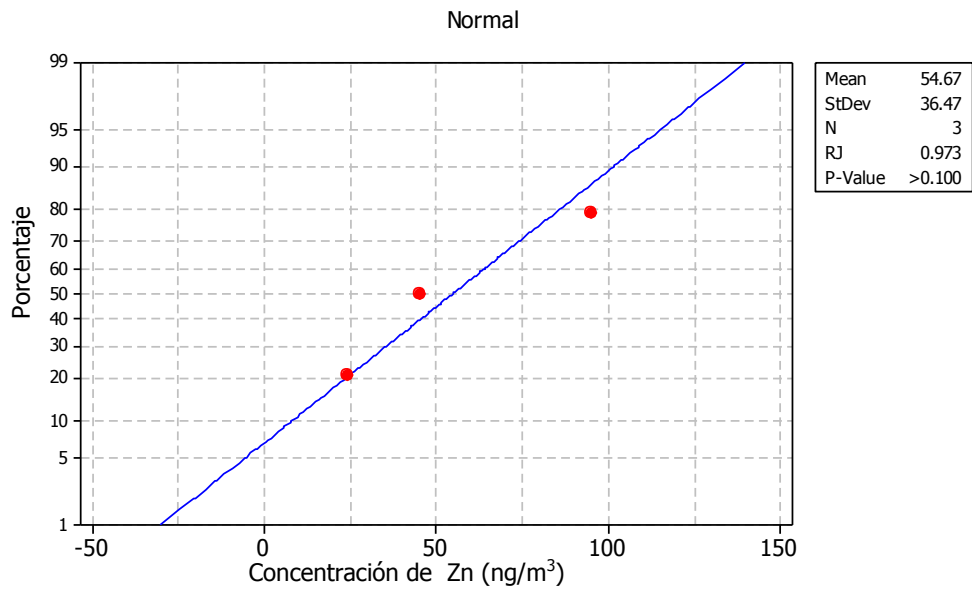
**Figura XIV-28.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional I.



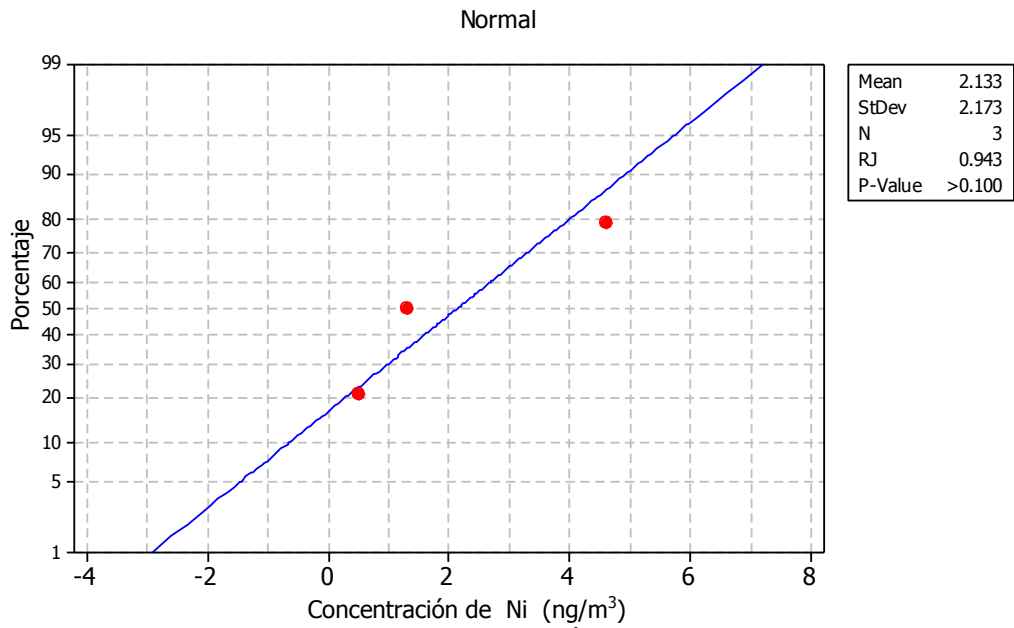
**Figura XIV-29.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional I.



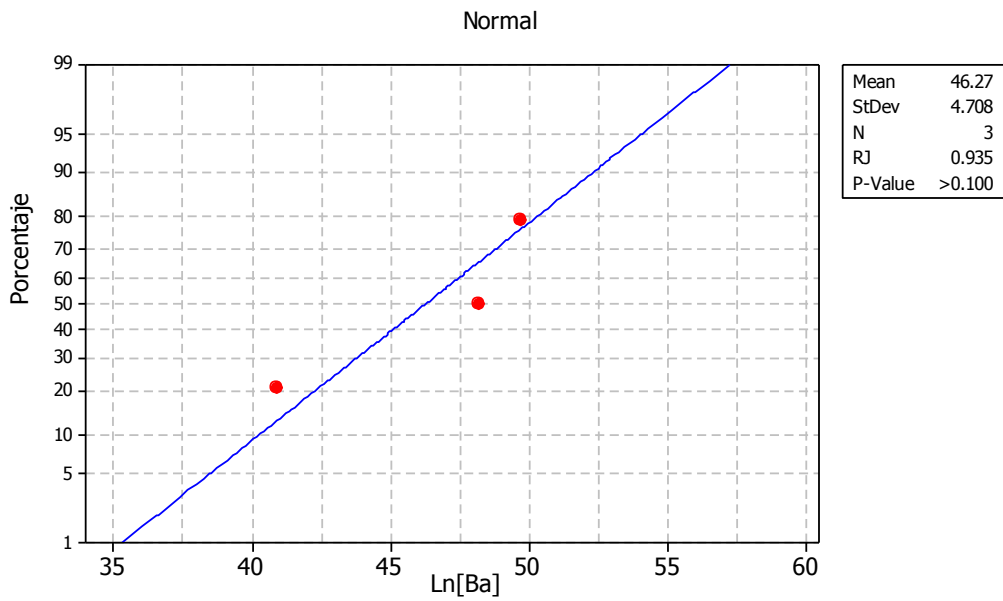
**Figura XIV-30.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Se asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Habitacional I.



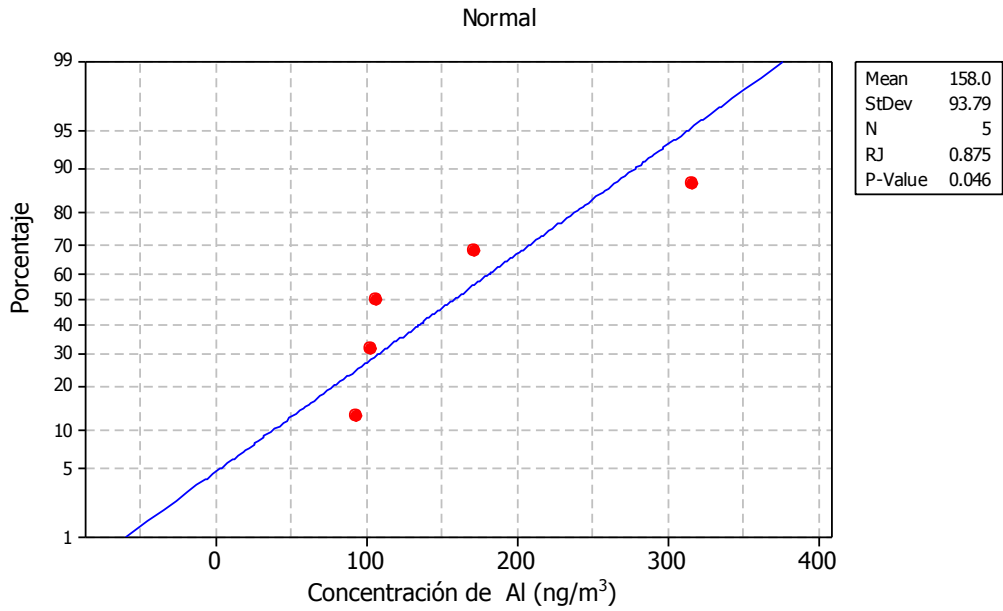
**Figura XIV-31.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Habitacional I.



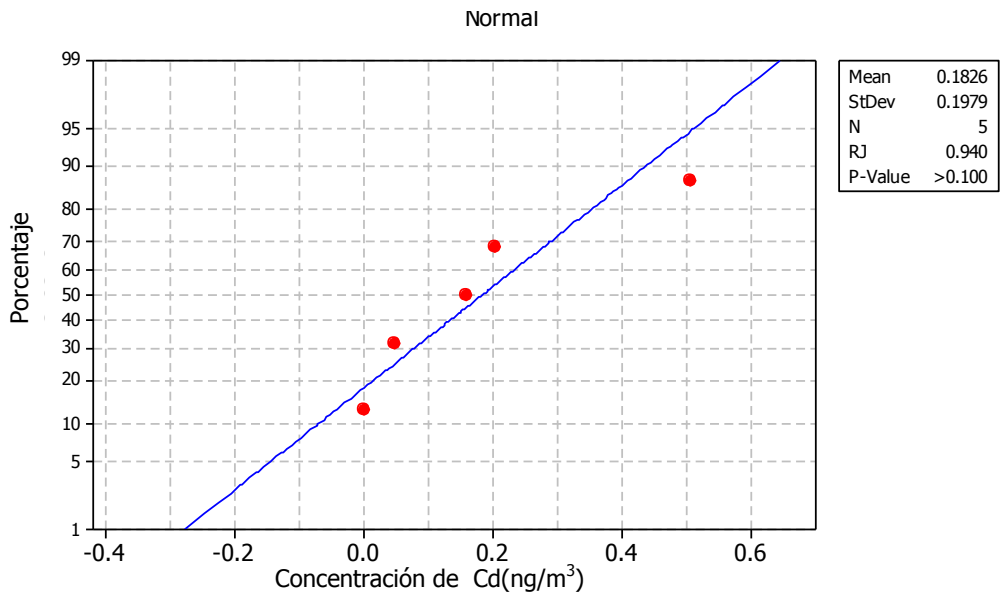
**Figura XIV-32.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional I.



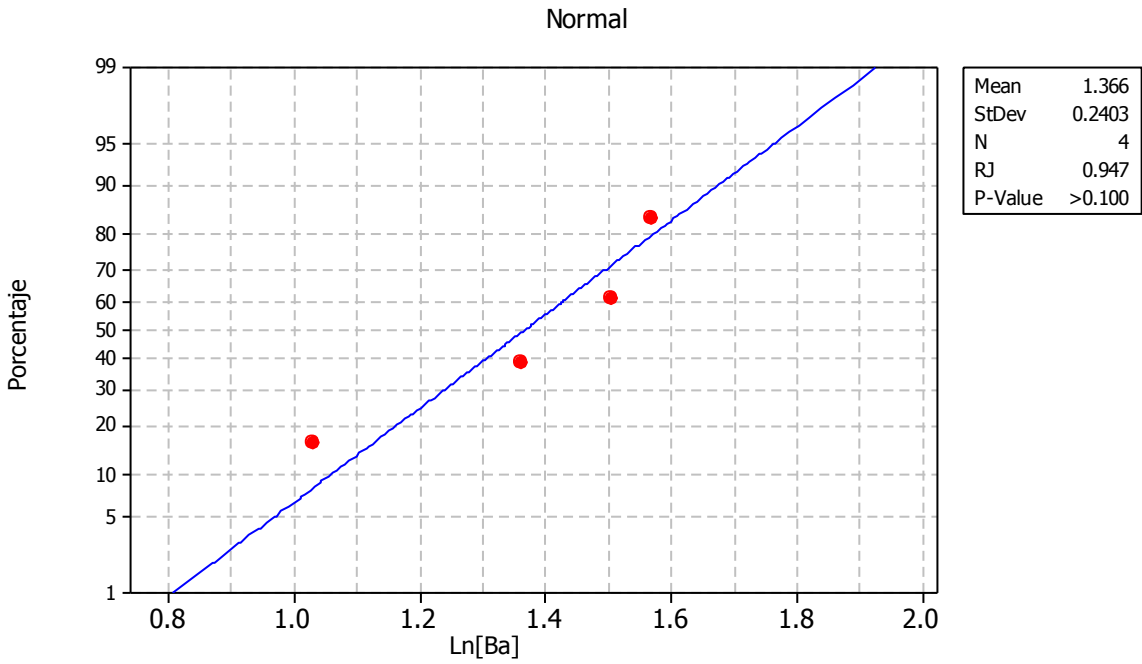
**Figura XIV-33.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[Ba]$  asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional I.



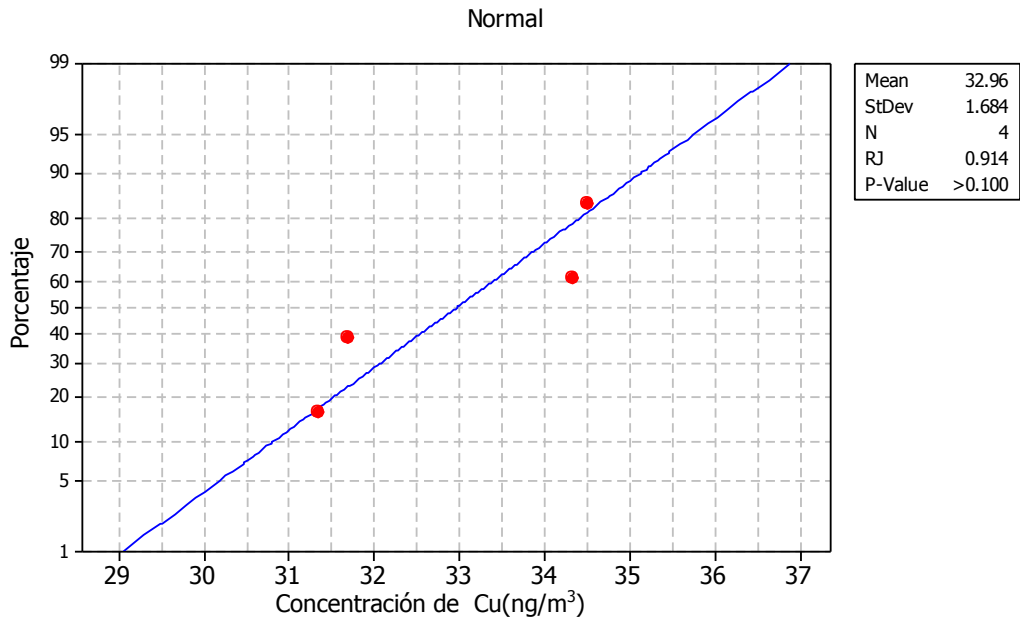
**Figura XIV-34.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Al asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Tráfico Vehicular.



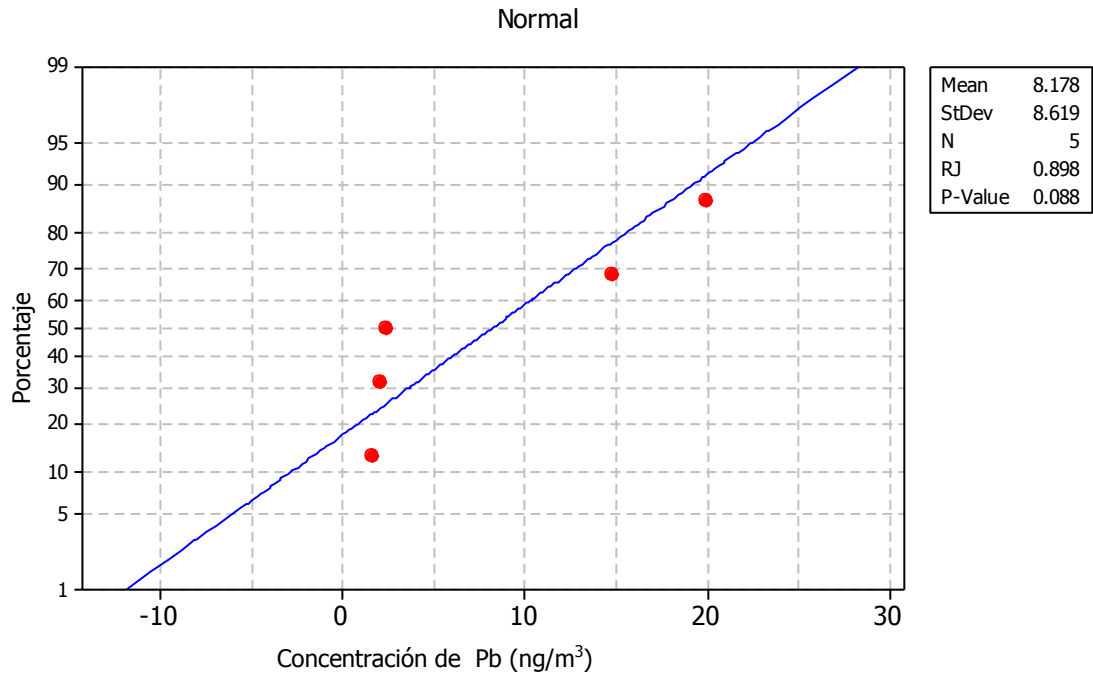
**Figura XIV-35.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Tráfico Vehicular.



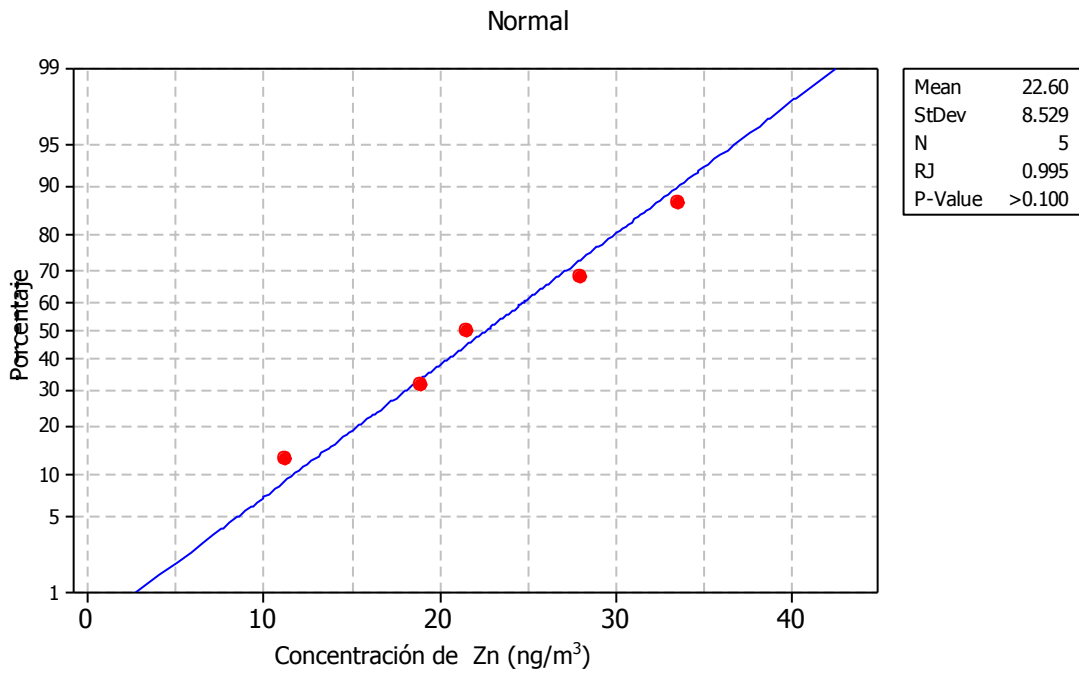
**Figura XIV-36.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[\text{Ba}]$  asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Tráfico Vehicular.



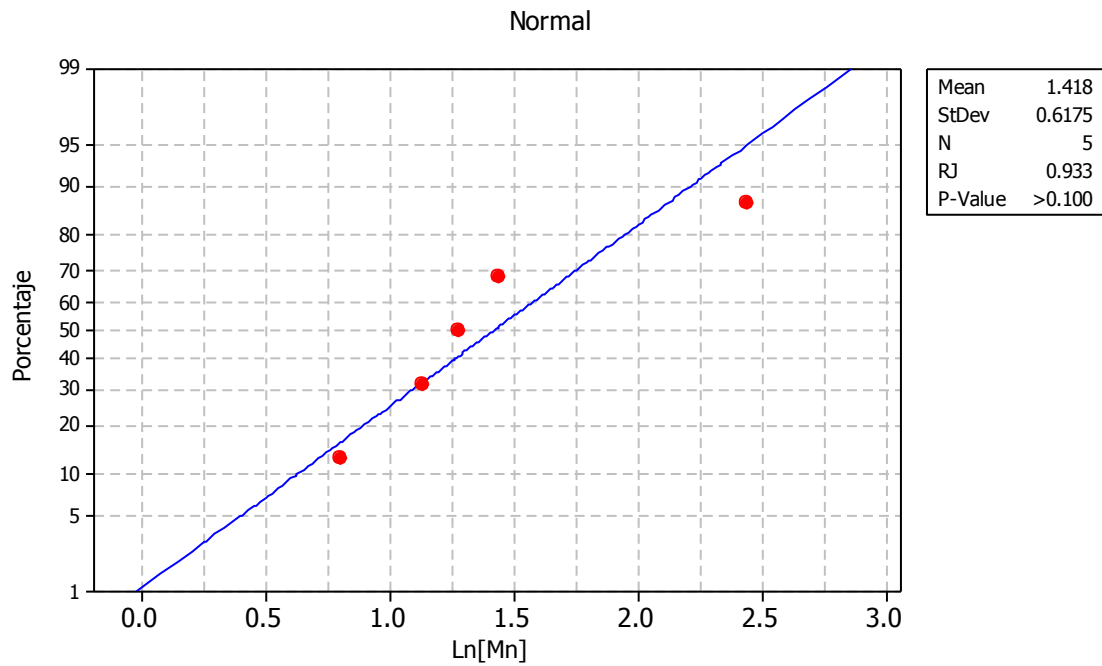
**Figura XIV-37.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en s-Tráfico Vehicular.



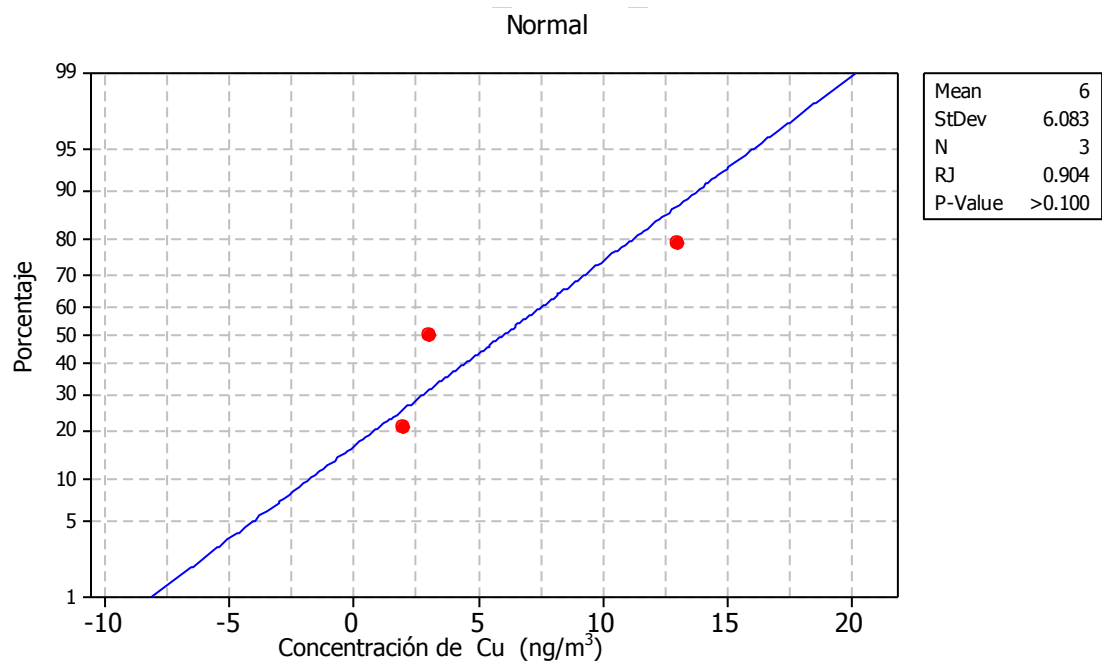
**Figura XIV-38.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Tráfico Vehicular.



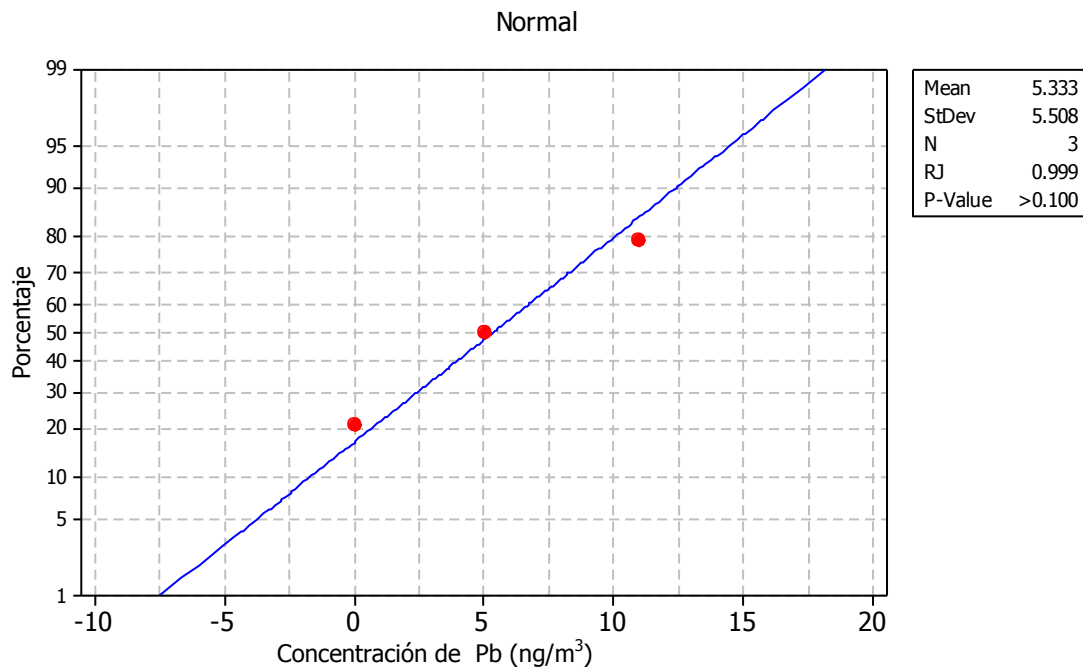
**Figura XIV-39.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Tráfico Vehicular.



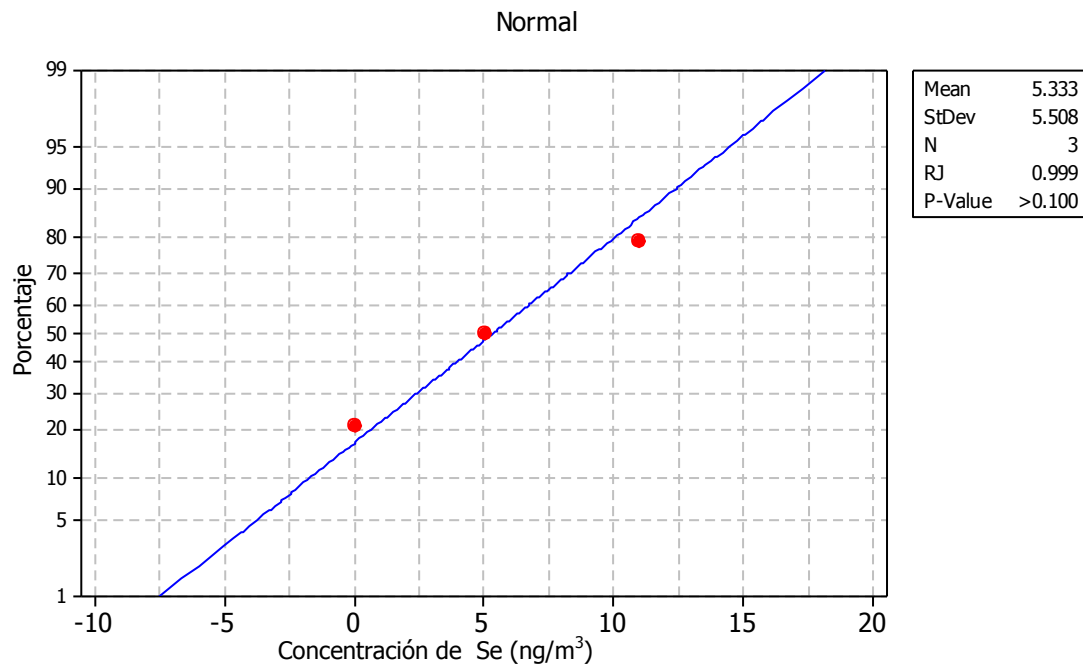
**Figura XIV-40.** Prueba de Ryan-Joiner para el  $\ln[Mn]$  asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Tráfico Vehicular.



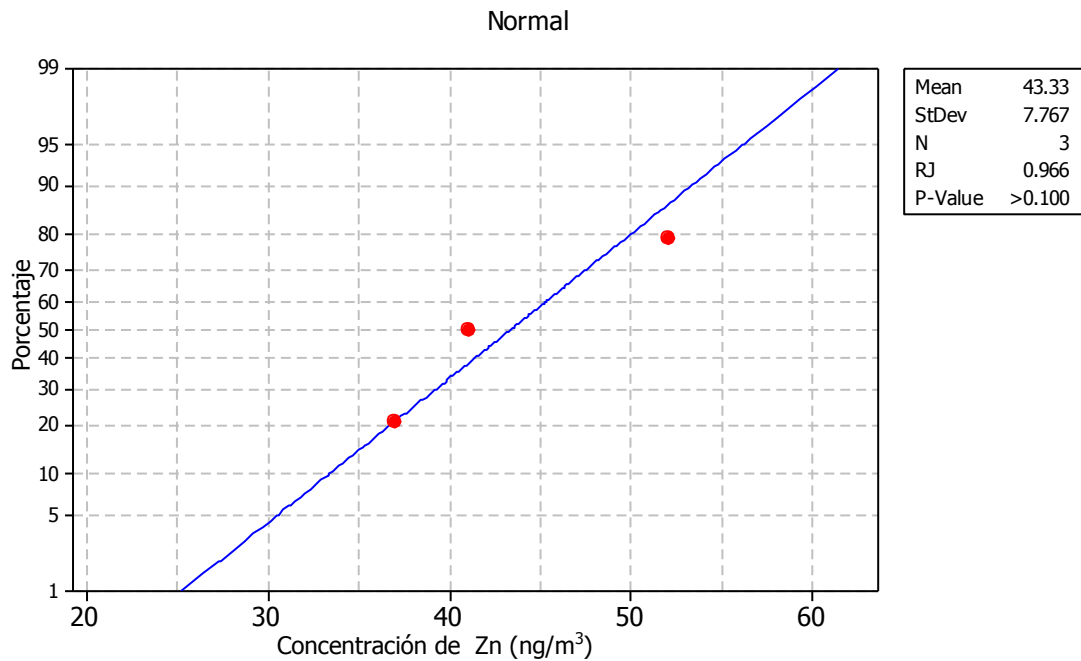
**Figura XIV-41.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Tráfico Vehicular.



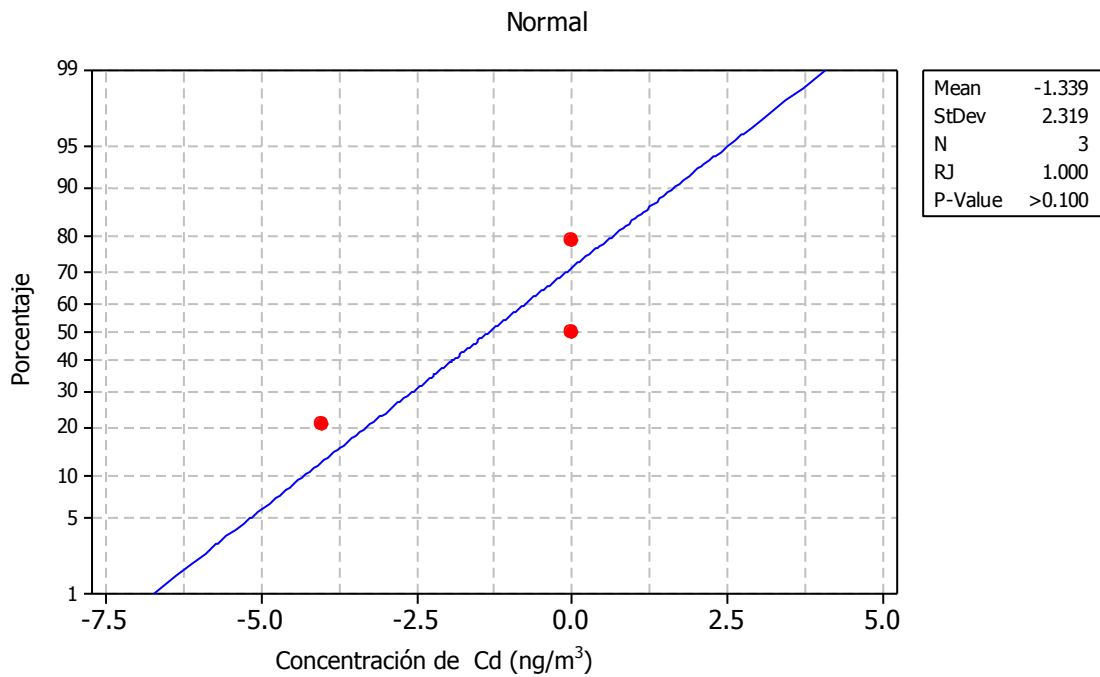
**Figura XIV-42.** Prueba de Ryan-Joiner para concentración de Pb asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Tráfico Vehicular.



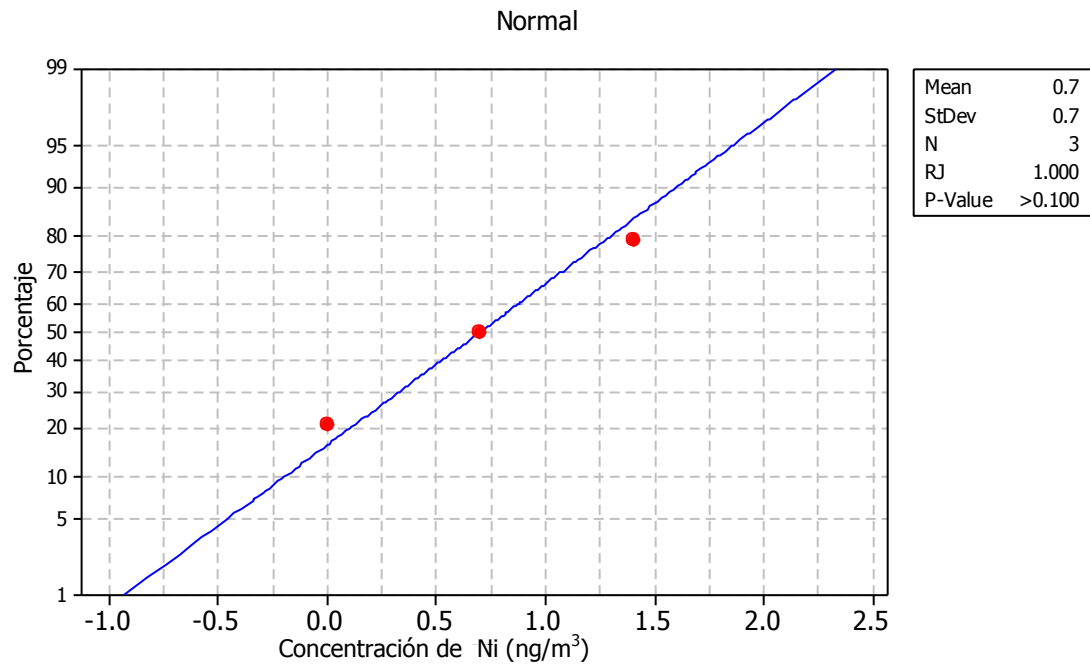
**Figura XIV-43.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Se asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Tráfico Vehicular.



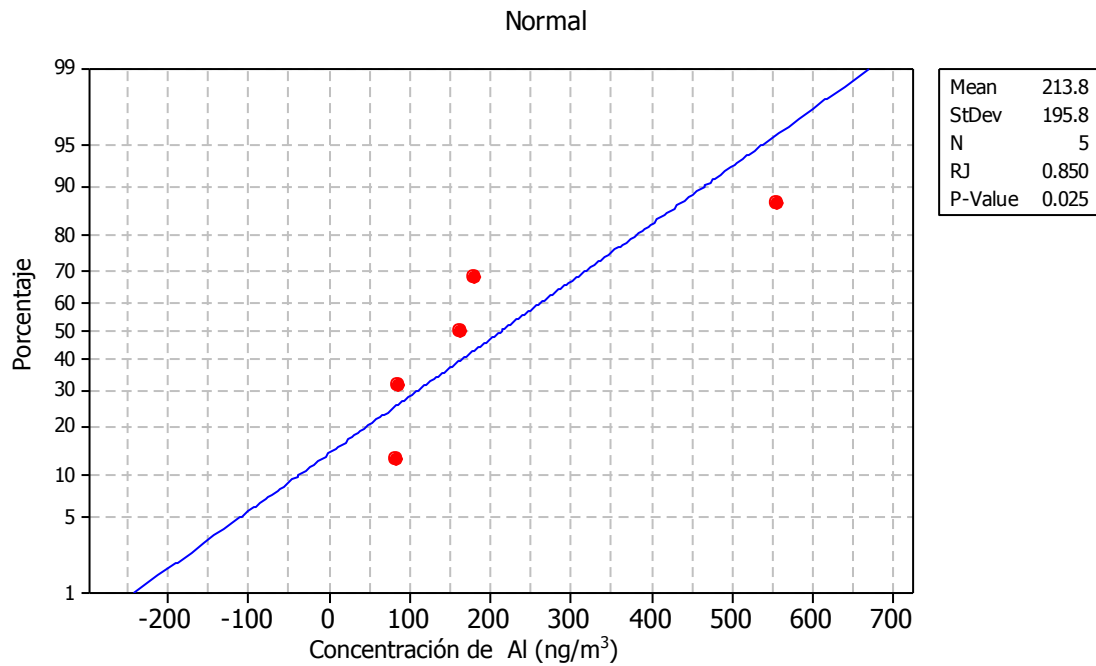
**Figura XIV-44.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Tráfico Vehicular.



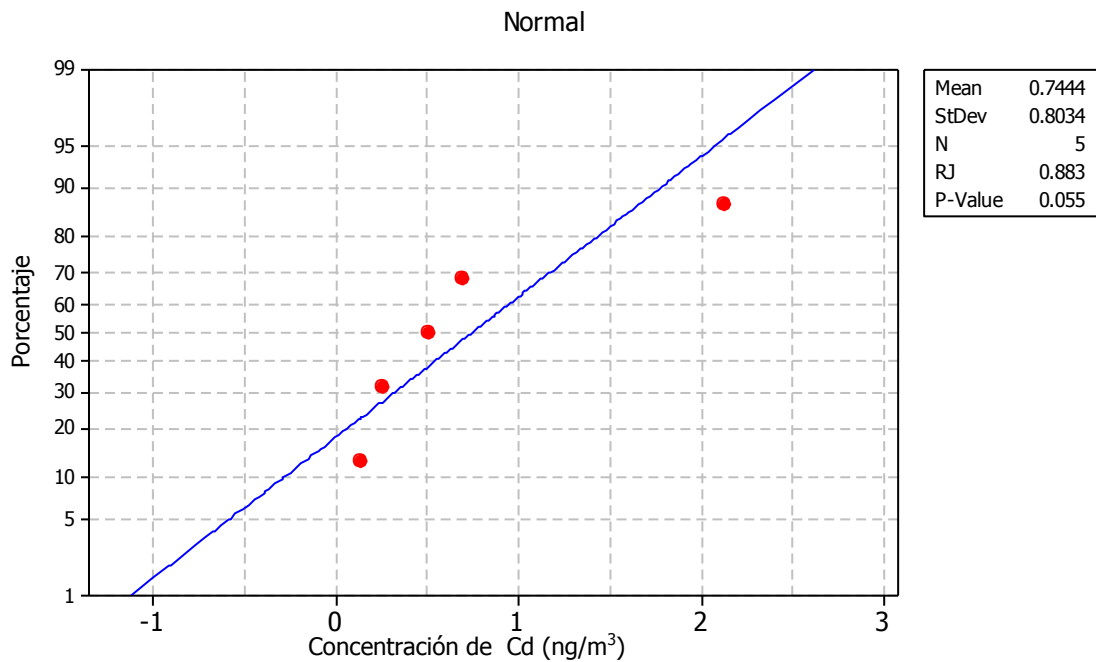
**Figura XIV-45.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Tráfico Vehicular.



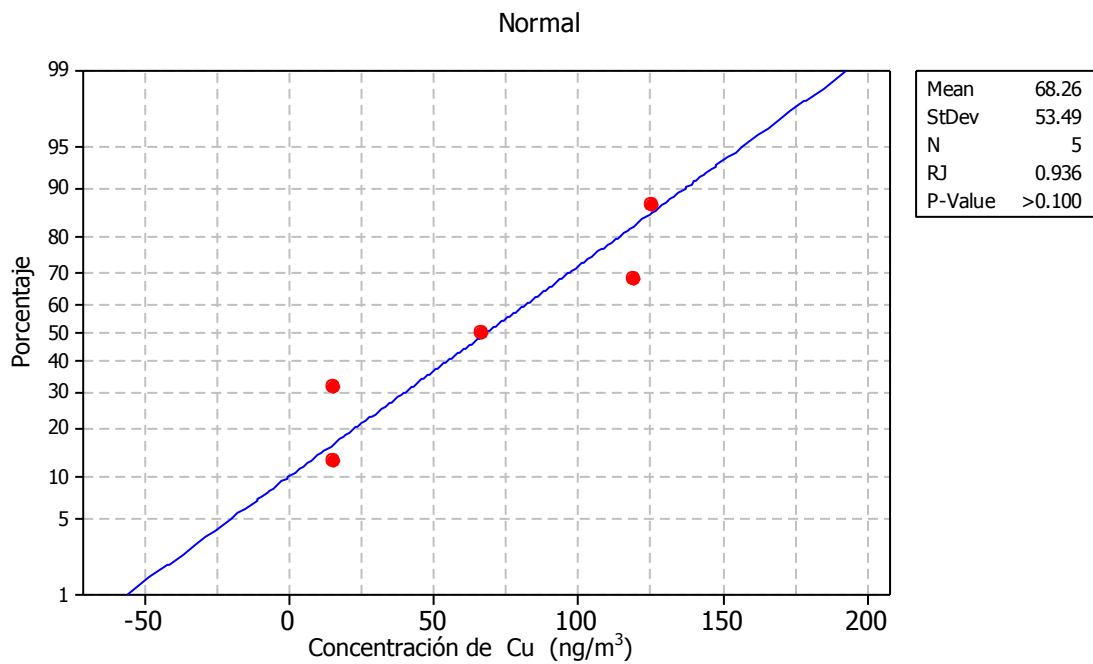
**Figura XIV-46.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Tráfico Vehicular.



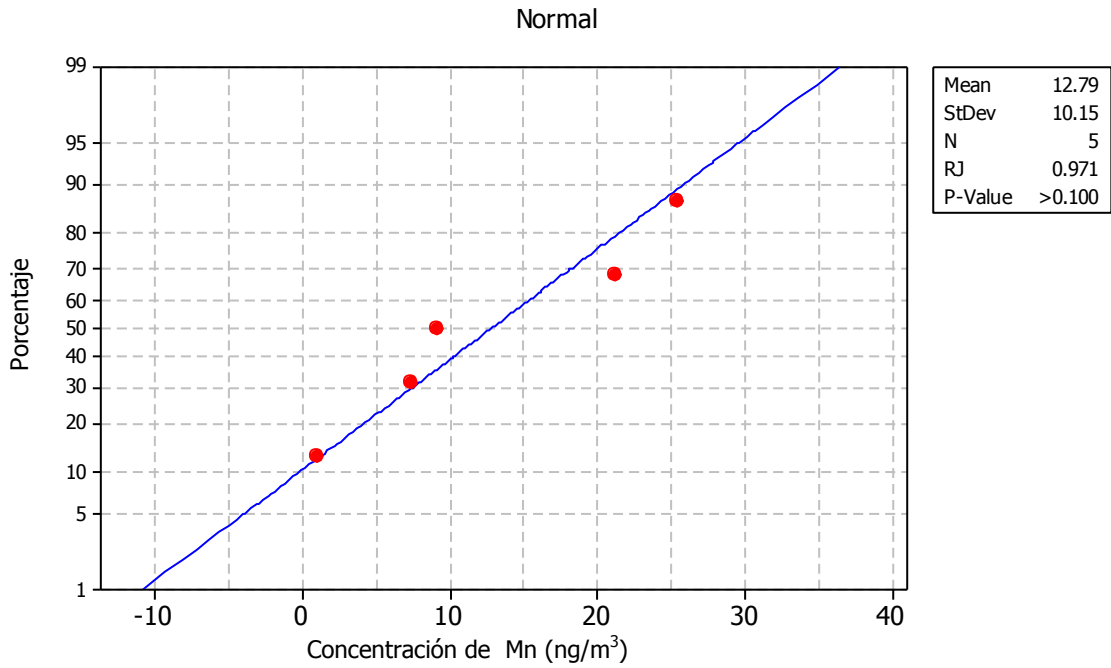
**Figura XIV-47.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Al asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



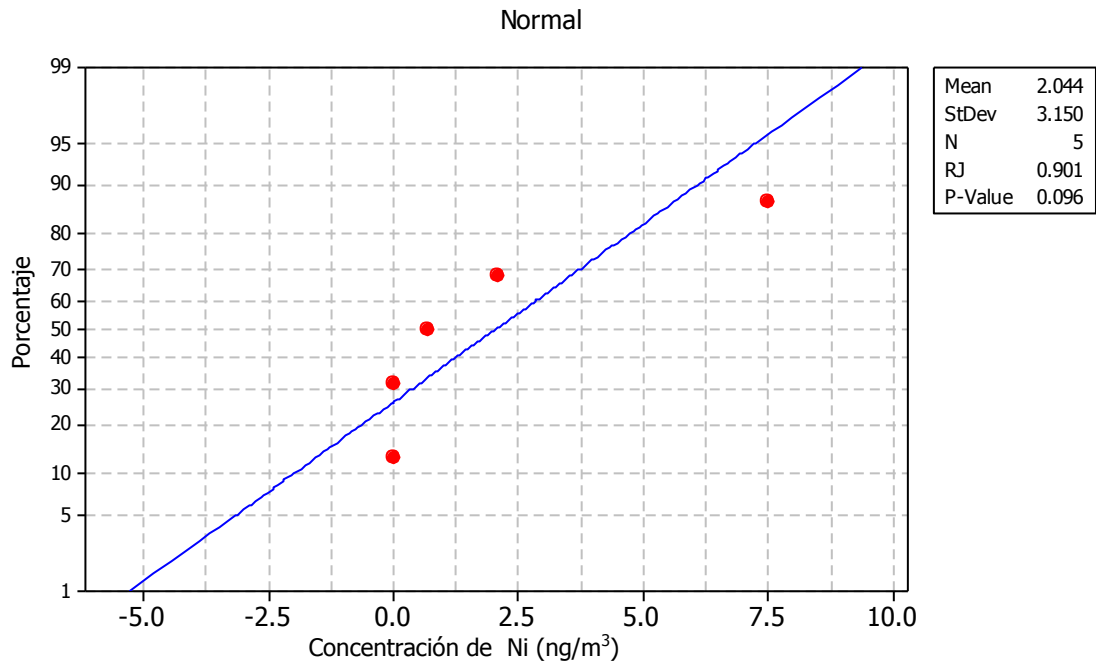
**Figura XIV-48.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



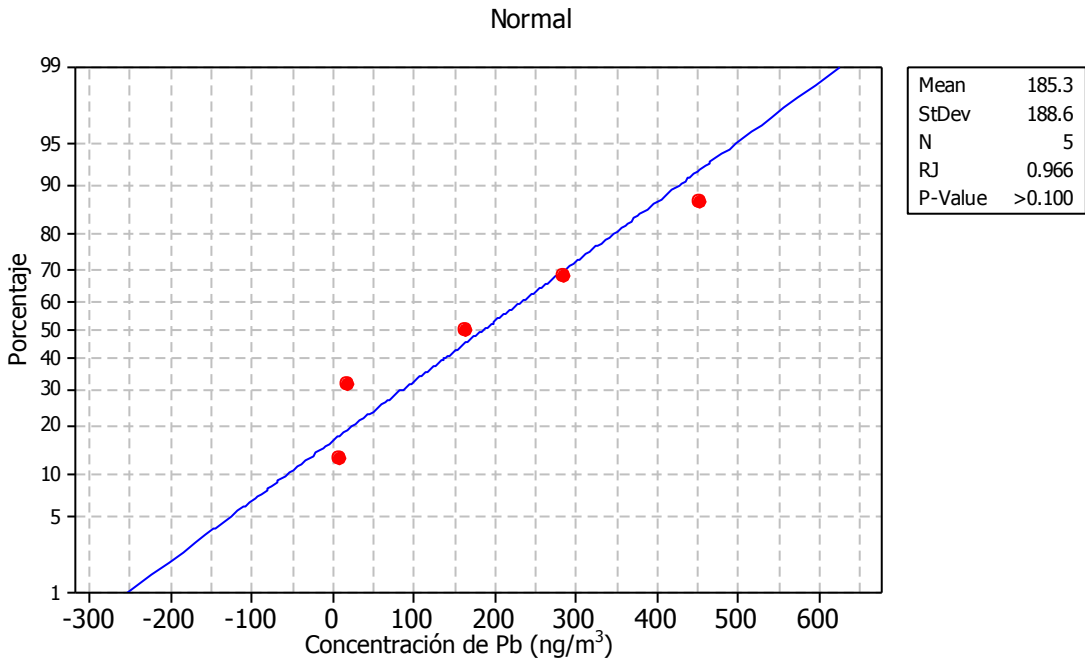
**Figura XIV-49.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



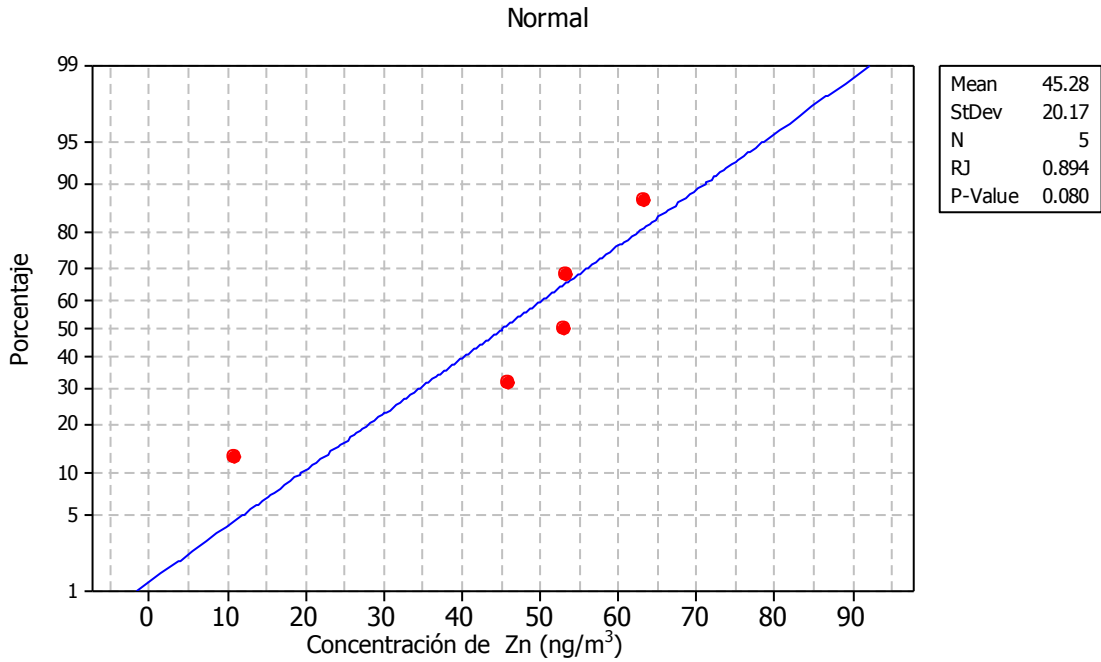
**Figura XIV-50.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Mn asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



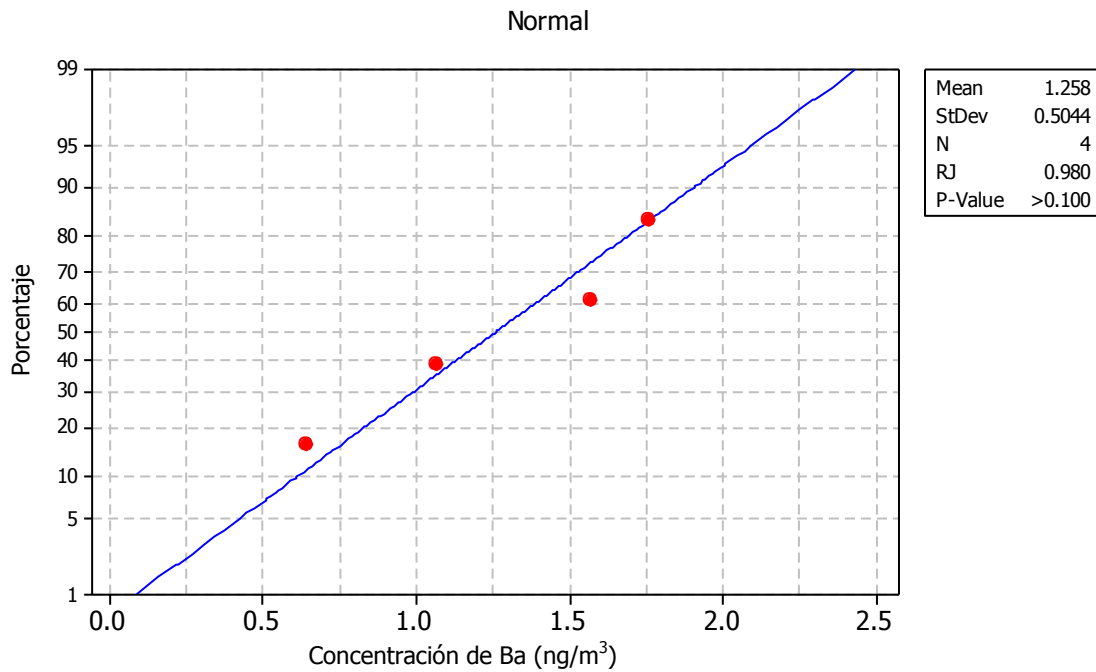
**Figura XIV-51.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ni asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



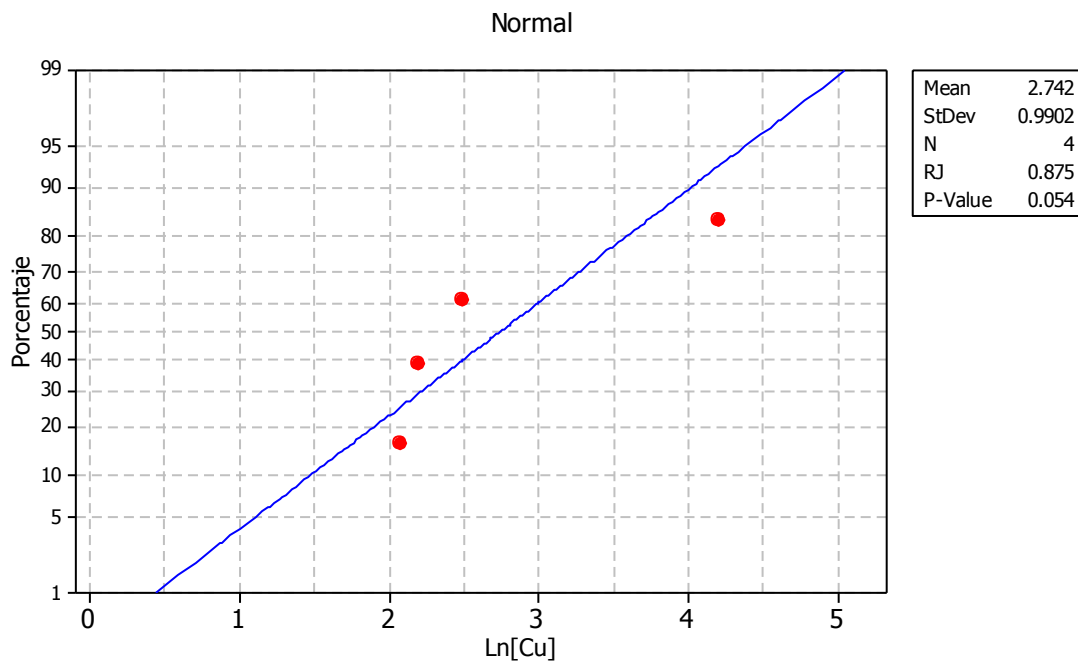
**Figura XIV-52.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



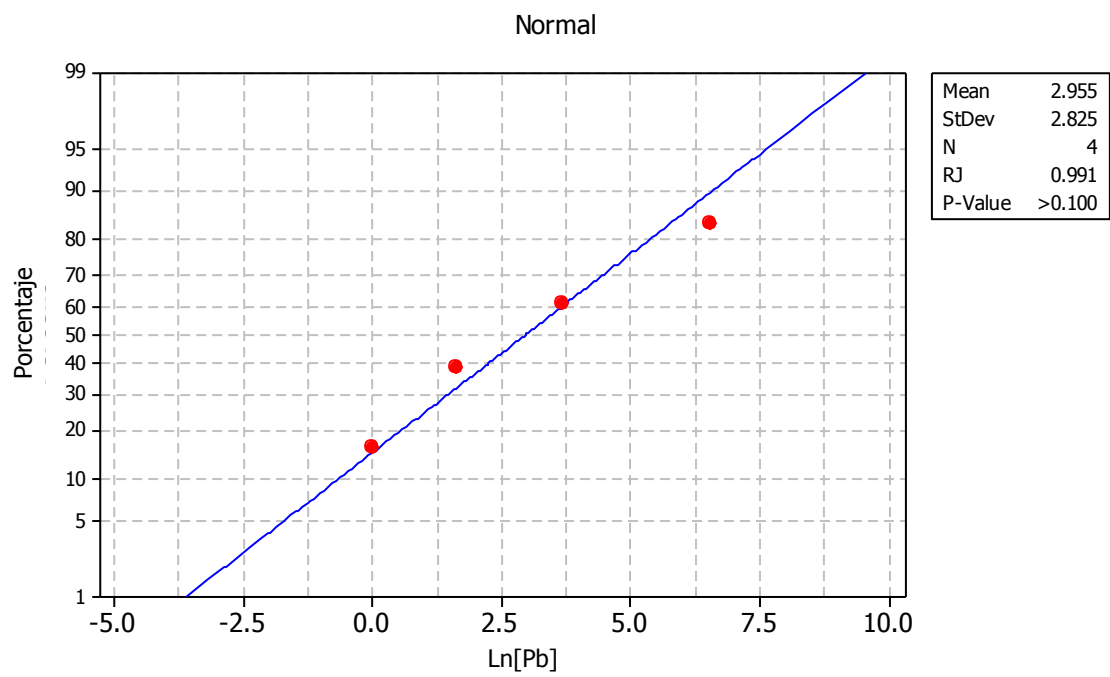
**Figura XIV-53.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Industrial.



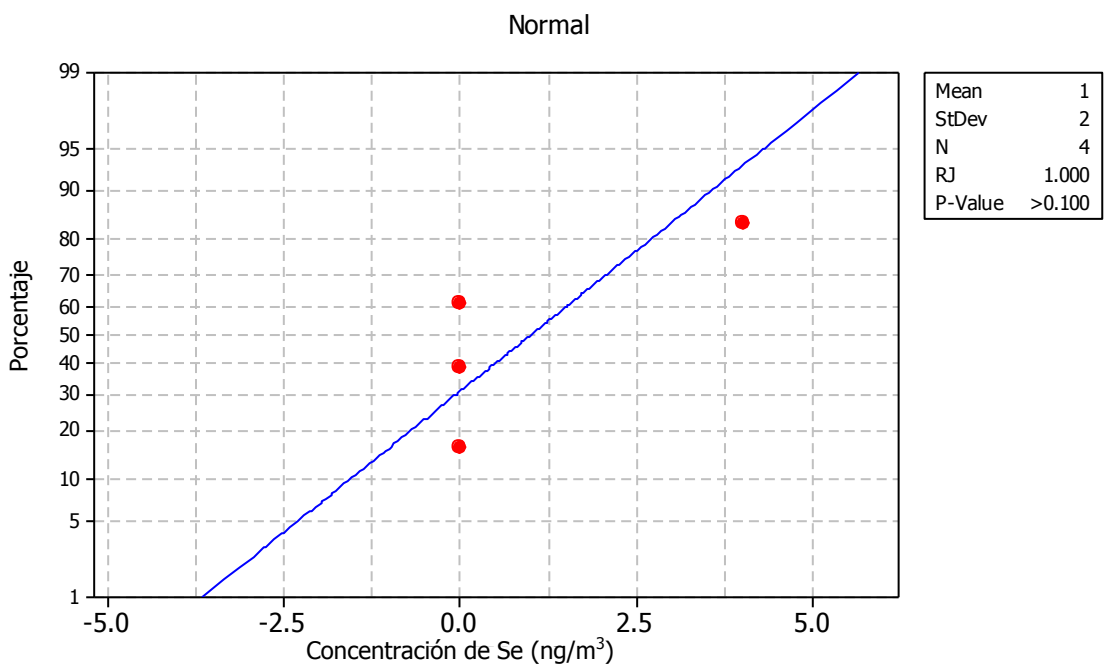
**Figura XIV-54.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ba asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Industrial.



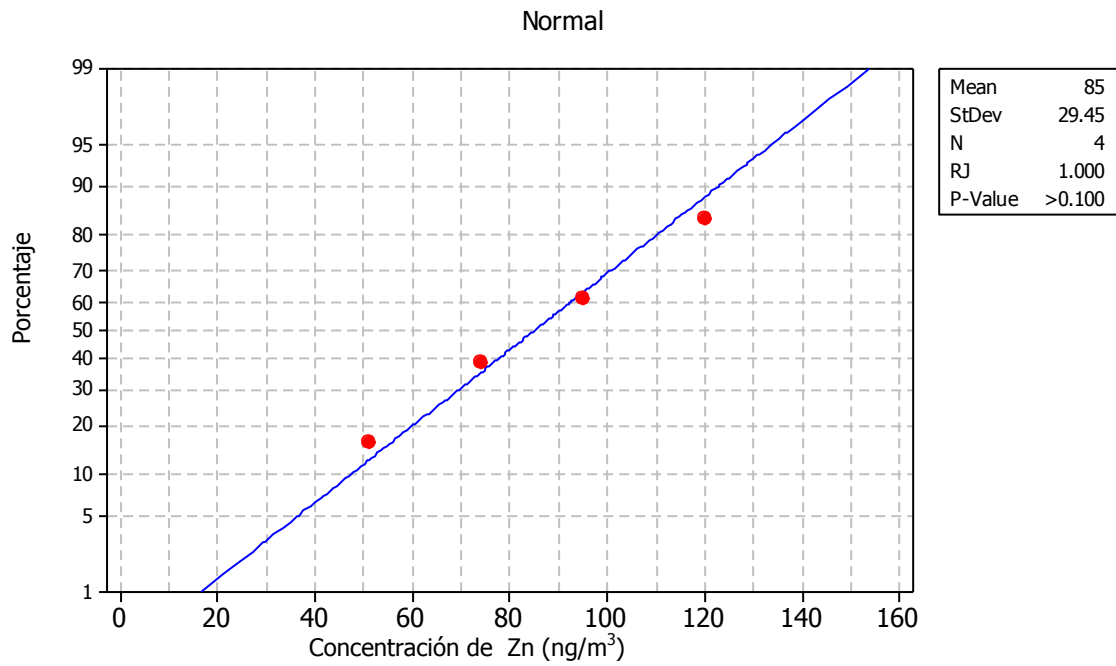
**Figura XIV-55.** Prueba de Ryan-Joiner para el  $\text{Ln}[\text{Cu}]$  asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Industrial.



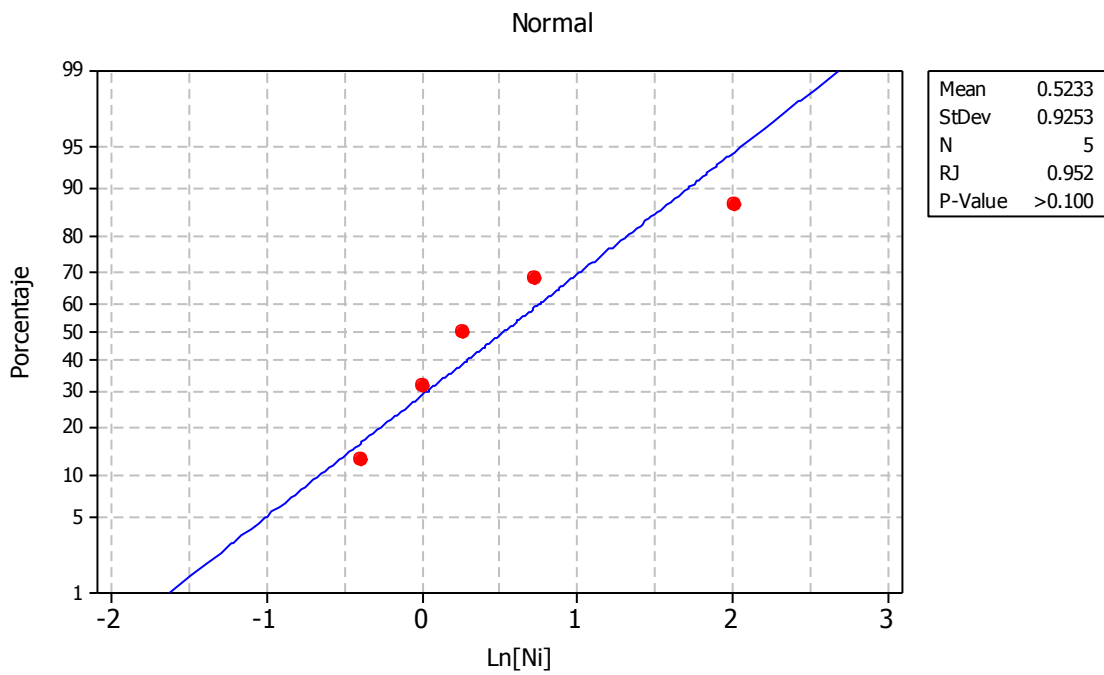
**Figura XIV-56.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[Pb] asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Industrial.



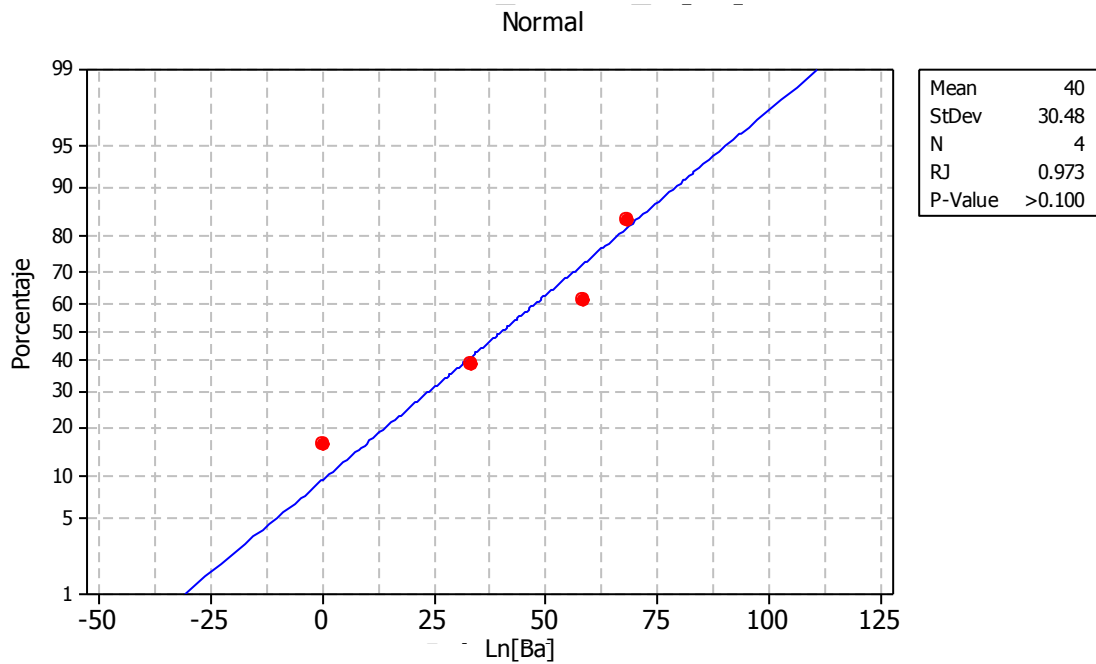
**Figura XIV-57.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Se asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Industrial.



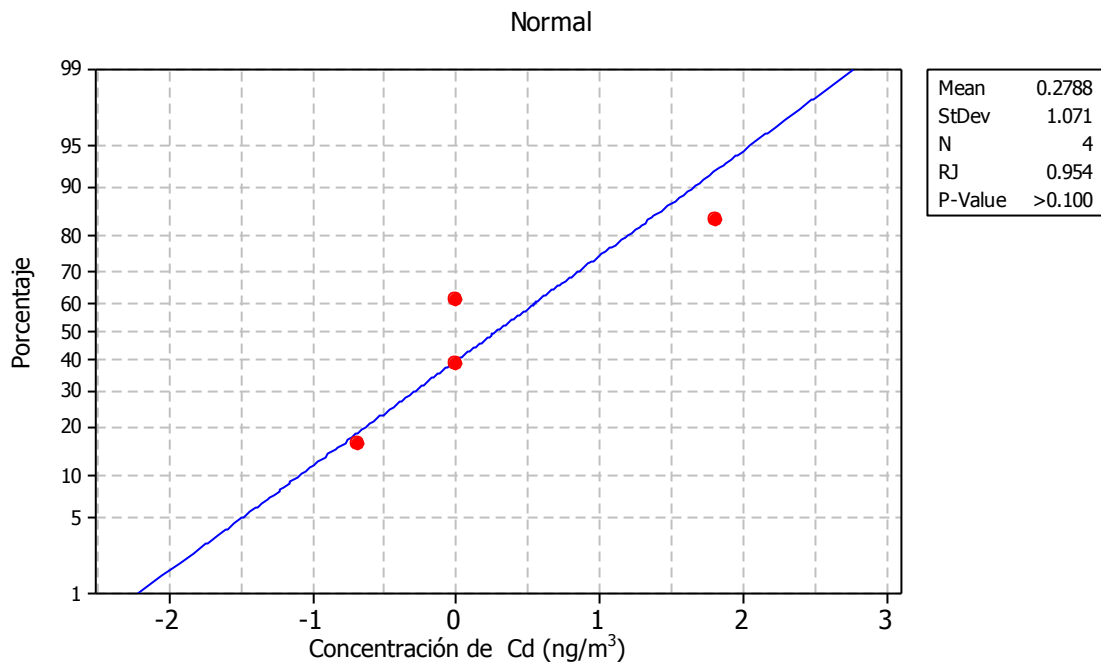
**Figura XIV-58.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Zn asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Industrial.



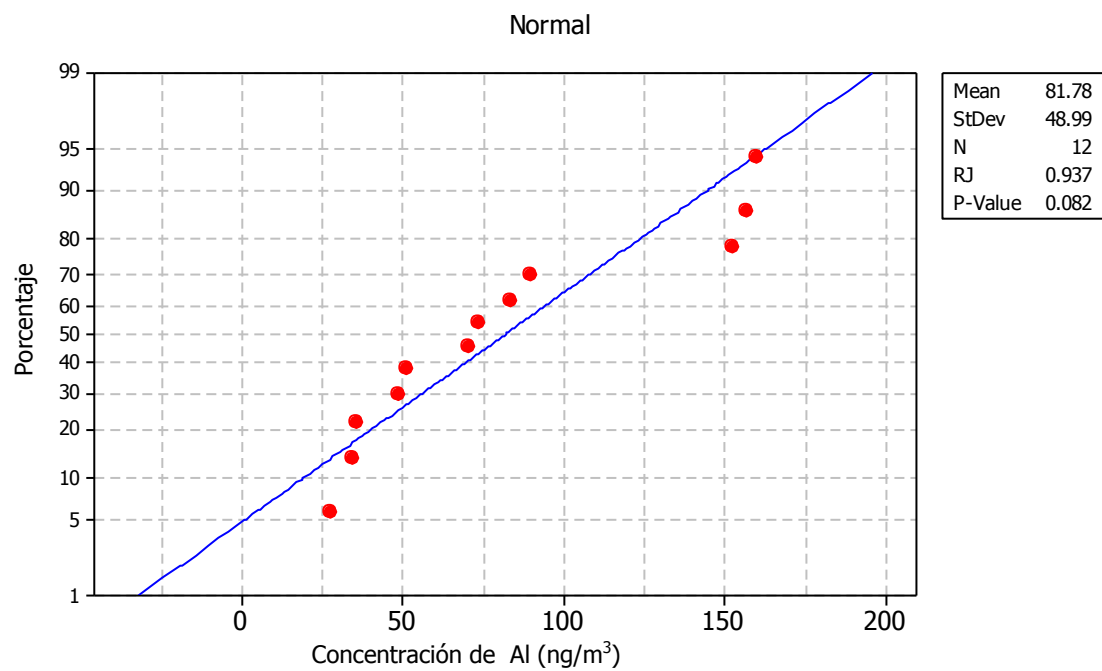
**Figura XIV-59.** Prueba de Ryan-Joiner para el  $\text{Ln}[\text{Ni}]$  asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Industrial.



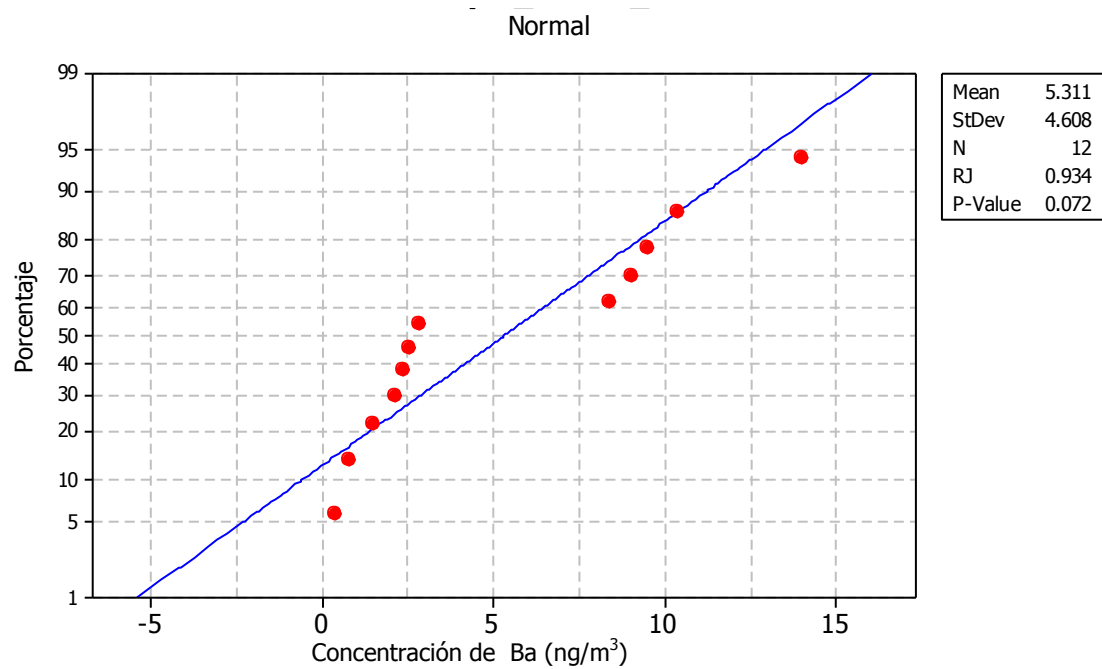
**Figura XIV-60.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[Ba] asociado a PM<sub>0,49</sub> en s-Industrial.



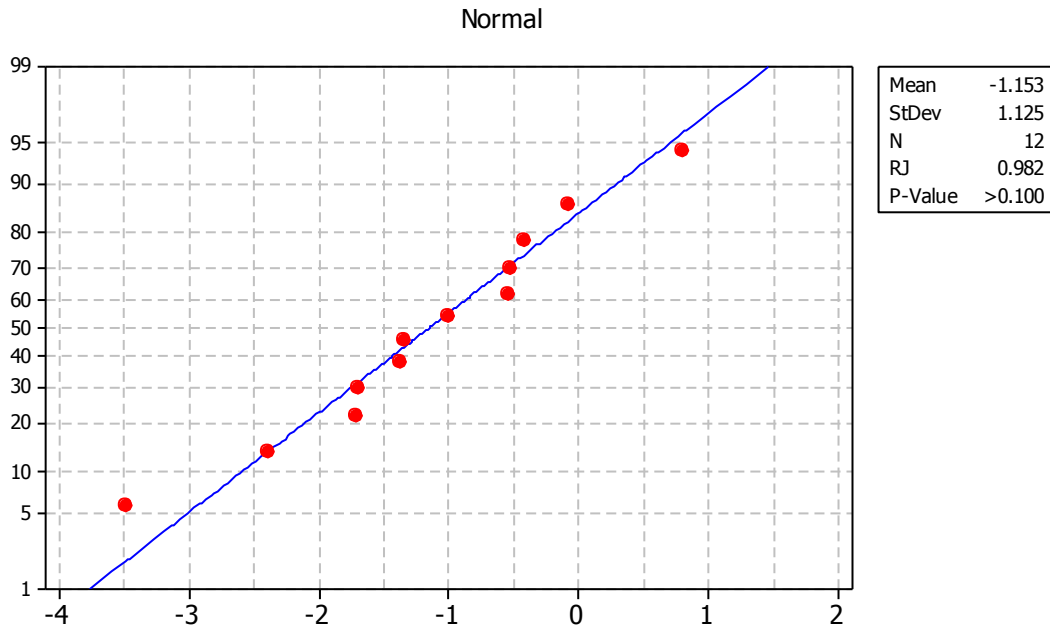
**Figura XIV-61.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>0,49</sub> en s-Industrial.



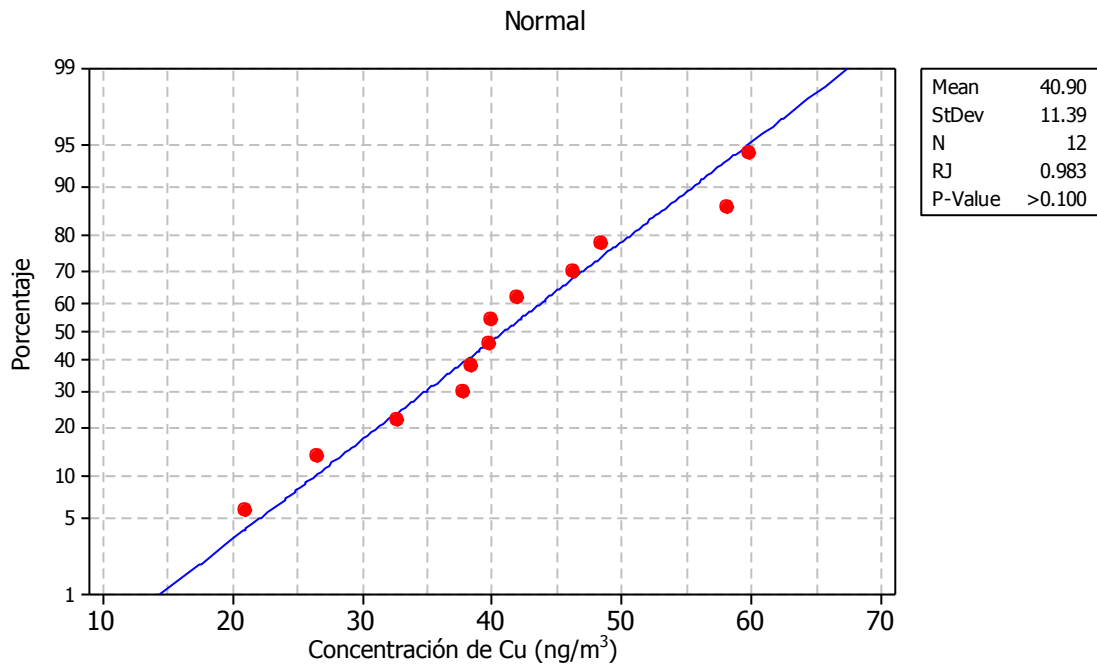
**Figura XIV-62.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Al asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Habitacional II.



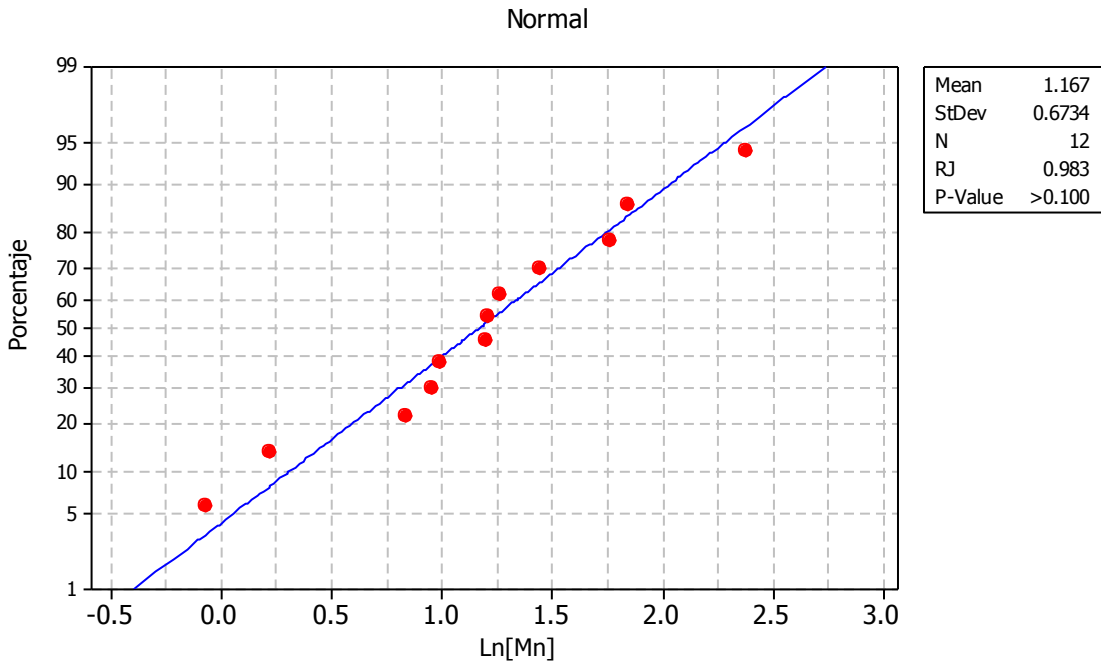
**Figura XIV-63.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Ba asociado a PM<sub>2.5</sub> en s- Habitacional II.



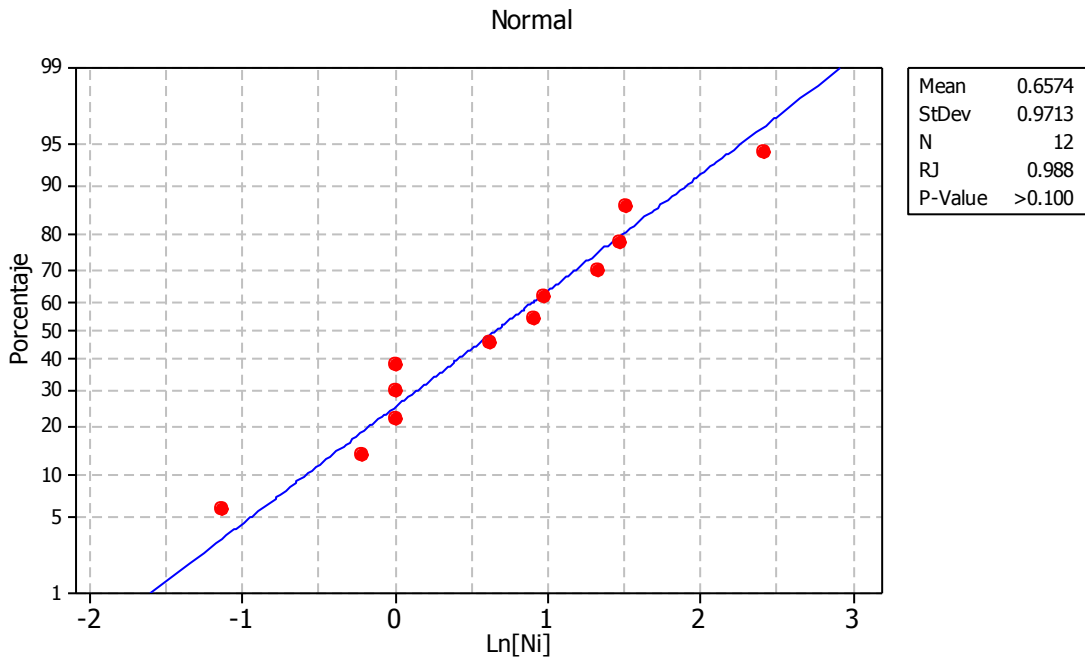
**Figura XIV-64.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[\text{Cd}]$  asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en s- Habitacional II.



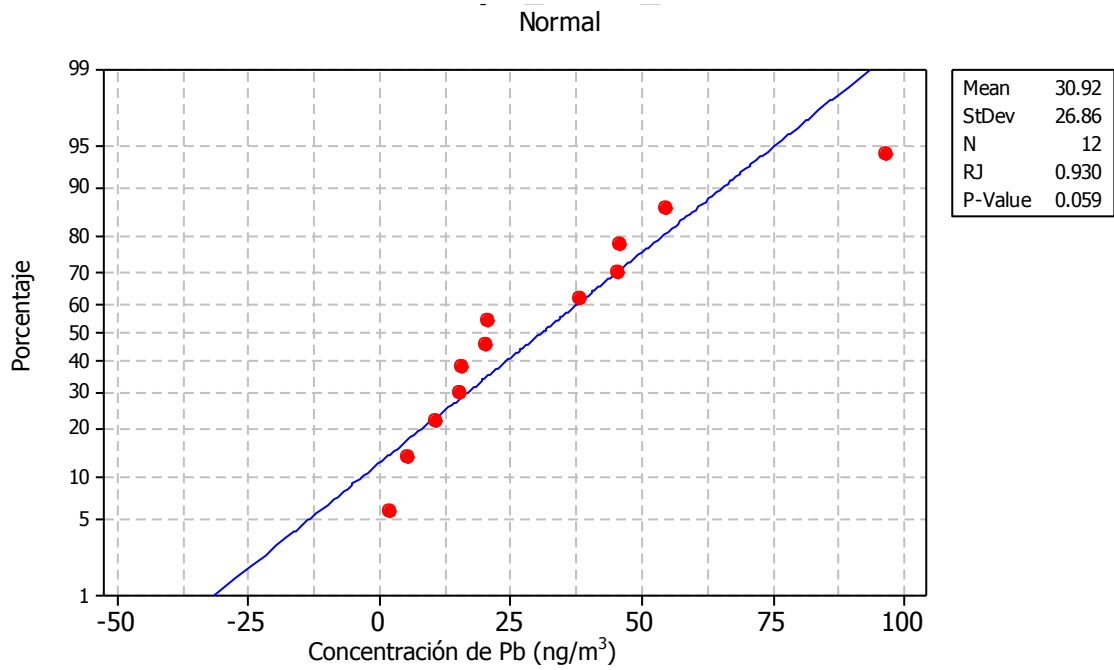
**Figura XIV-65.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a  $\text{PM}_{2.5}$  en s- Habitacional II.



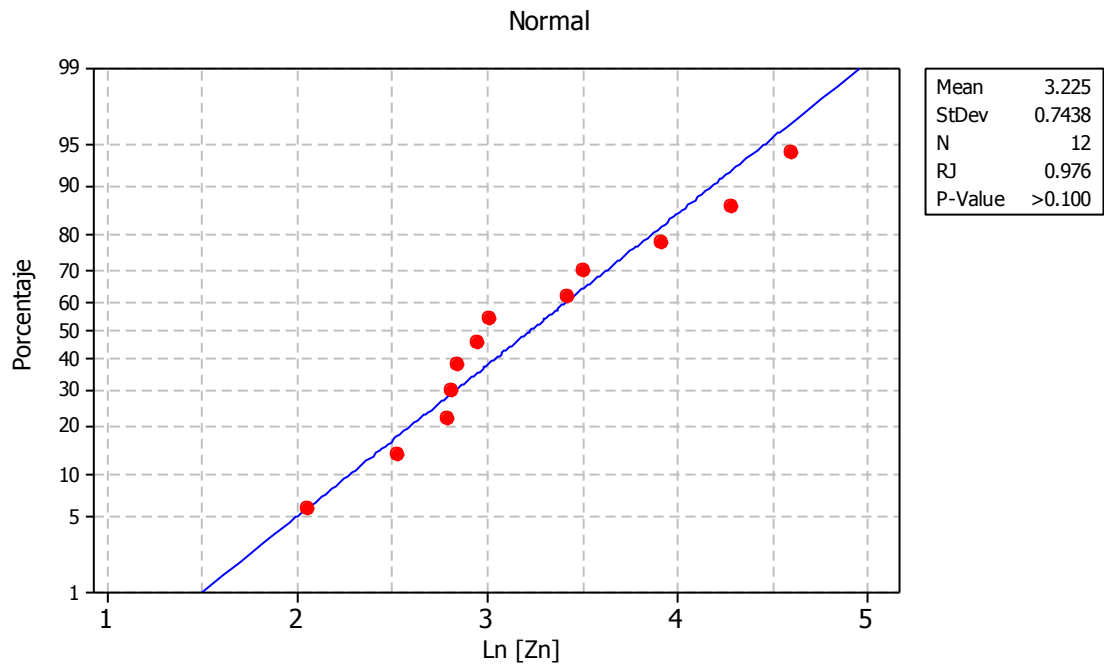
**Figura XIV-66.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[Mn] asociado a PM<sub>2,5</sub> en s- Habitacional II.



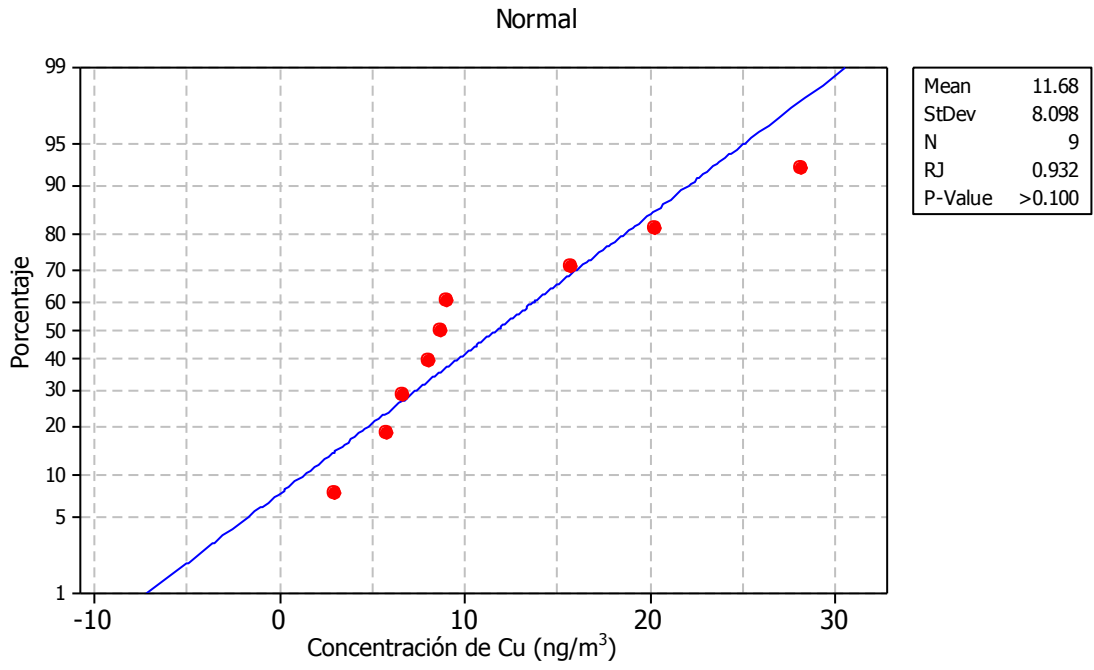
**Figura XIV-67.** Prueba de Ryan-Joiner para ln[Ni] asociado a PM<sub>2,5</sub> en s- Habitacional II.



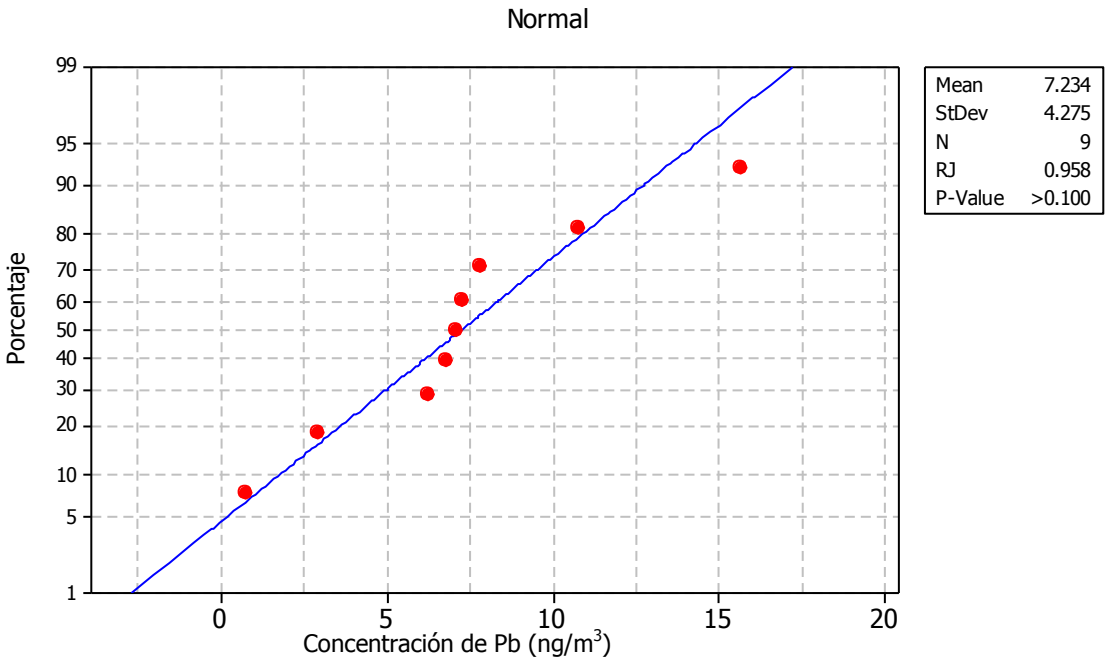
**Figura XIV-68.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a PM<sub>2.5</sub> en s- Habitacional II.



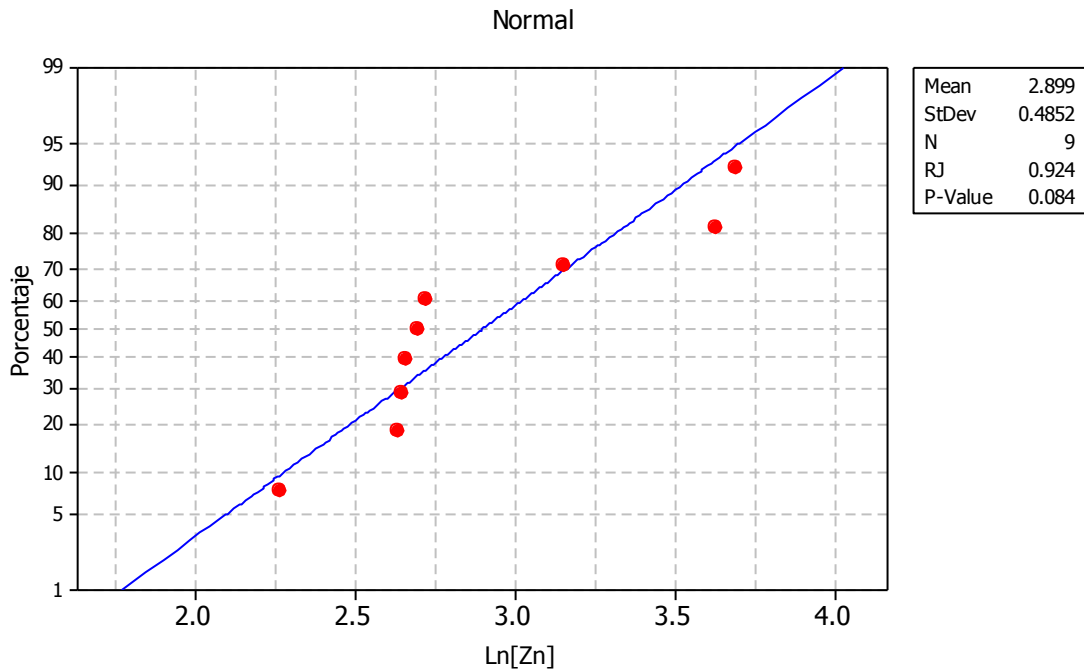
**Figura XIV-69.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[Zn] asociado a PM<sub>2.5</sub> en s- Habitacional II.



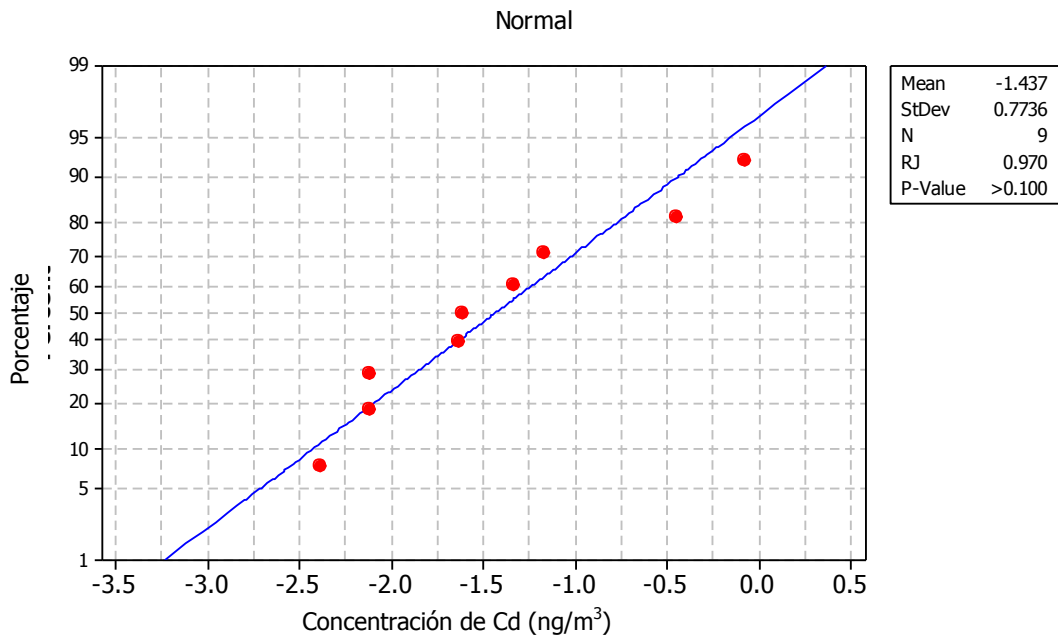
**Figura XIV-70.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cu asociado a  $PM_{0.49}$  en s- Habitacional II.



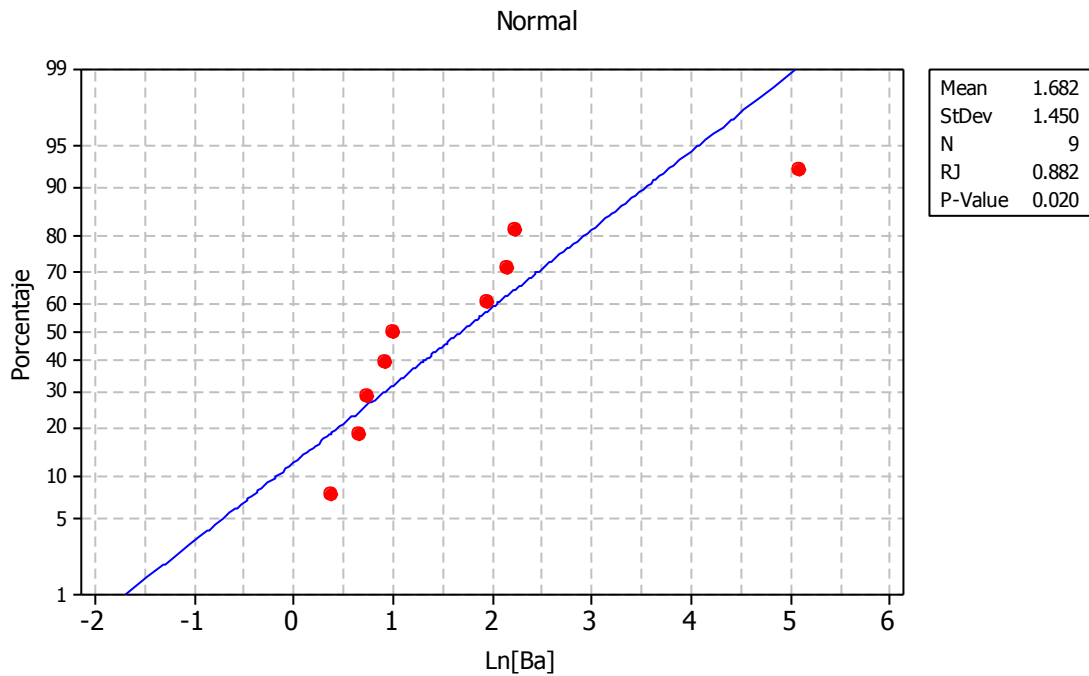
**Figura XIV-71.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Pb asociado a  $PM_{0.49}$  en s- Habitacional II.



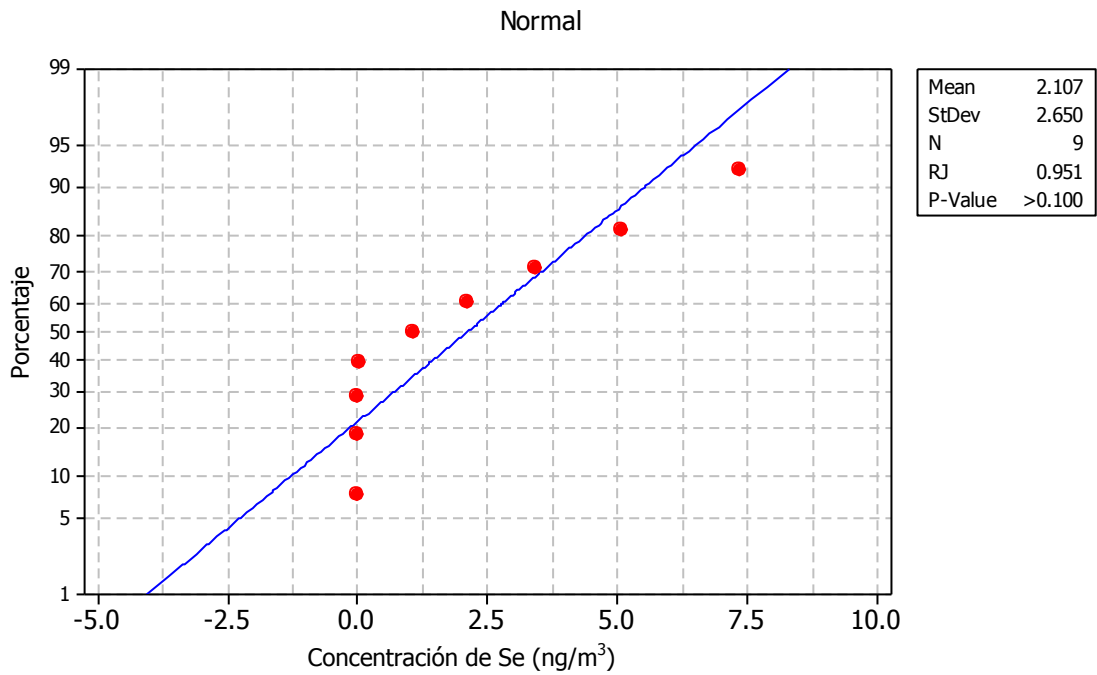
**Figura XIV-72.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[ Zn] asociado a PM<sub>0.49</sub> en s- Habitacional II.



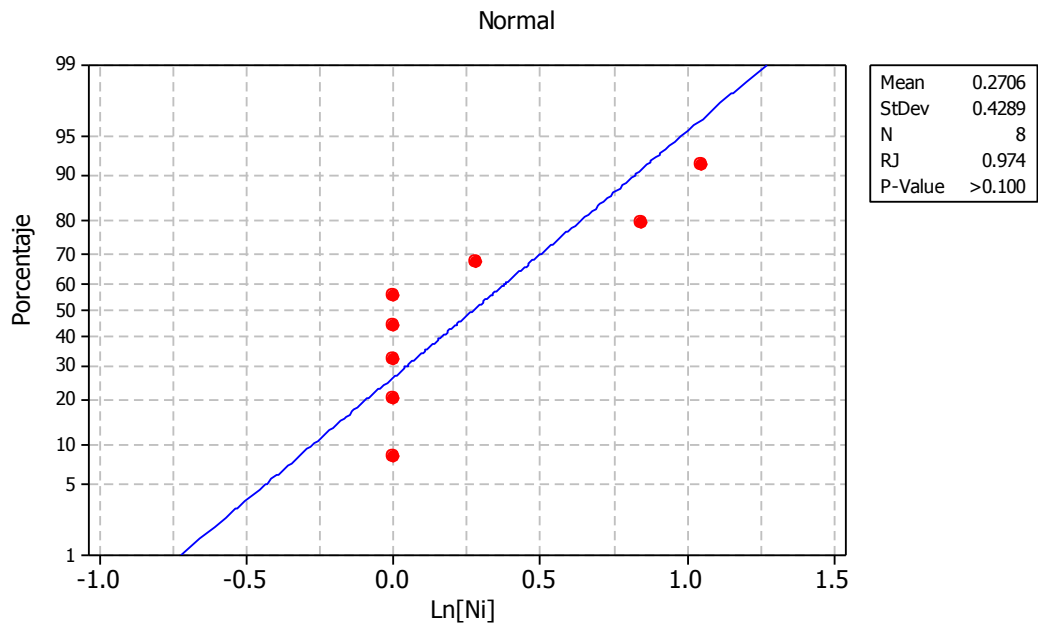
**Figura XIV-73.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Cd asociado a PM<sub>0.49</sub> en s- Habitacional II.



**Figura XIV-74.** Prueba de Ryan-Joiner para el Ln[Ba] asociado a PM<sub>0.49</sub> en s- Habitacional II.



**Figura XIV-75.** Prueba de Ryan-Joiner para la concentración de Se asociado a PM<sub>0.49</sub> en s- Habitacional II.



**Figura XIV-76.** Prueba de Ryan-Joiner para  $\ln[\text{Ni}]$  asociado a  $\text{PM}_{0.49}$  en s- Habitacional II.

## XV. Prueba de Grubbs

**Tabla XV-1.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Comercial.

Datos ( $ng/m^3$ )
2.5
3.7
3.9
41.8

Xo	41.76
media	12.97
std	19.21
$\alpha$	0.05
n	4
t.Prueba	1.499
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-2.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Pb asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Comercial.

Datos ( $ng/m^3$ )
0
3
5.8
38.4

Xo	38.40
media	11.80
std	17.89
$\alpha$	0.05
n	4
t.Prueba	1.487
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-3.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Cr asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Comercial.

Datos ( $ng/m^3$ )
0.0
0.0
0.0
15.4

Xo	15.36
media	3.84
std	7.68
$\alpha$	0.05
n	4
t.Prueba	1.500
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-4.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Comercial.

Datos ( $ng/m^3$ )
0
0
0
0.4

Xo	0.40
media	0.10
std	0.20
$\alpha$	0.05
n	4
t.Prueba	1.500
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-5.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Habitacional I.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
2.2
2.2
2.8
15.03

Xo	15.03
media	5.59
std	6.30
α	0.05
n	4
t.Prueba	1.498
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-6.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Cu asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Habitacional I.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
19.1
19.3
21.4
45.6

Xo	45.59
media	26.36
std	12.87
α	0.05
n	4
t.Prueba	1.495
t. critico	1.463
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-7.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Cu asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Tráfico vehicular.

Datos ( $ng/m^3$ )
31.3
31.7
34.3
34.5
53.3

Xo	53.27
media	37.02
std	9.20
$\alpha$	0.05
n	5
t.Prueba	1.766
t. critico	1.672
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-8.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Tráfico vehicular.

Datos ( $ng/m^3$ )
2.8
3.9
4.5
4.8
13.2

Xo	13.20
media	5.84
std	4.18
$\alpha$	0.05
n	5
t.Prueba	1.759
t. critico	1.672
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-9.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a PM<sub>2.5</sub> en s-Tráfico vehicular.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
0
0
0
0
2

Xo	2.00
media	0.40
std	0.89
α	0.05
n	5
t.Prueba	1.789
t. critico	1.672
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-10.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Pb asociado a PM<sub>0.49</sub> en s-Industrial.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
0
5
39
696

Xo	696.00
media	185.00
std	341.11
α	0.05
n	4
t.Prueba	1.498
t. critico	2.032
Resultado	TIPICO

**Tabla XV-11.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ni asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Industrial.

Datos ( $ng/m^3$ )
2
3
4
28

Xo	28.20
media	2.87
std	12.69
$\alpha$	0.05
n	3
t.Prueba	1.997
t. critico	1.153
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-12.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Industrial.

Datos ( $ng/m^3$ )
0
33.3
58.3
68.4

Xo	0.00
media	40.00
std	30.48
$\alpha$	0.05
n	4
t.Prueba	1.313
t. critico	1.463
Resultado	TIPICO

**Tabla XV-13.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Industrial.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
0
0
0
0.5
1.1

Xo	1.10
media	0.32
std	0.49
α	0.05
n	5
t.Prueba	1.602
t. critico	1.672
Resultado	TIPICO

**Tabla XV-14.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Ba asociado a PM<sub>2,5</sub> en s-Industrial.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
1.9
2.9
4.8
5.8
18.3

Xo	18.30
media	6.74
std	6.64
α	0.05
n	5
t.Prueba	1.741
t. critico	1.672
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-15.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Se asociado a  $PM_{2.5}$  en s-Habitacional II.

Datos ( $ng/m^3$ )
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
3.7

Xo	3.66
media	0.33
std	1.10
$\alpha$	0.05
n	7
t.Prueba	3.015
t. critico	1.938
Resultado	ATIPICO

**Tabla XV-16.** Prueba de Grubbs para la Concentración de Mo asociado a  $PM_{0.49}$  en s-Habitacional II.

Datos (ng/m <sup>3</sup> )
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
4.48

Xo	4.48
media	0.50
std	1.49
$\alpha$	0.05
n	9
t.Prueba	2.667
t. critico	2.110
Resultado	ATIPICO

## XVI. Pruebas de Fisher y t-student

**Tabla XVI-1.** Concentración media y desviación estándar asociada a  $PM_{2.5}$  en los cinco distintos de muestreo.

$PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	25.84	21.01	21.04	13.72	15.64
<b>std</b>	1.72	1.71	1.36	1.92	1.52

**Tabla XVI-2.** Resultados de Prueba de varianzas para la concentración de  $PM_{2.5}$ .

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.99	0.378	0.709	0.465
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.384	0.704	0.475
<b>s-Comercial</b>			0.248	0.656
<b>s-Habitacional I</b>				0.251

**Tabla XVI-3.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración de  $PM_{2.5}$ .

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.002</b>	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.978	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.001</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Habitacional I</b>				0.058

NOTA: Los valores en morado indican que existe diferencia entre las medias.

**Tabla XVI-4.** Concentración media y desviación estándar asociada a  $PM_{0.49}$  en los cinco distintos de muestreo.

$PM_{0.49}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	27.18	10.63	9.74	19.76	13.54
<b>std</b>	2.34	2.63	2.14	2.18	2.17

**Tabla XVI-5.** Resultados de Prueba de varianzas para la concentración de  $PM_{0.49}$ .

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.784	0.864	0.973	0.743
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.67	0.785	0.539
<b>s-Comercial</b>			0.908	0.911
<b>s-Habitacional I</b>				0.818

**Tabla XVI-6.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración de  $PM_{0.49}$ .

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.641	<b>0.010</b>	0.083
<b>s-Comercial</b>			<b>0.002</b>	<b>0.014</b>
<b>s-Habitacional I</b>				0.002

NOTA: Los valores en morado indican que existe diferencia entre las medias.

**Tabla XVI-7.** Concentración media y desviación estándar de Cu asociada a  $PM_{2.5}$  en los cinco distintos de muestreo.

Cu (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	46.99	32.79	31.17	19.89	39.39
<b>std</b>	2.88	1.05	1.71	1.07	1.54

**Tabla XVI-8.** Resultados de Prueba de varianzas para Cu asociado a  $PM_{2.5}$ .

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	0.294	<b>0.007</b>	0.074
<b>s-Tráfico vehicular</b>		<b>0.003</b>	0.688	<b>0.005</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.028</b>	0.617
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.044</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-9.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cu asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.197	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.000</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-10.** Concentración media y desviación estándar de Ni asociado a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Ni (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	1.62	1.02	0.99	0.56	1.70
<b>std</b>	2.58	1.04	1.19	3.16	3.48

**Tabla XVI-11.** Resultados de Prueba de varianzas para Ni asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	<b>0.018</b>	0.695	0.613
<b>s-Tráfico vehicular</b>		<b>0.021</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.011</b>	0.080
<b>s-Habitacional I</b>				0.954

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-12.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ni asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.650	0.648	0.596	0.967
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.970	0.748	0.665
<b>s-Comercial</b>			0.815	0.661
<b>s-Habitacional I</b>				0.614

**Tabla XVI-13.** Concentración media y desviación estándar de Pb asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Pb (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	76.38	4.74	5.08	7.26	15.60
<b>std</b>	6.20	3.29	4.62	4.13	4.16

**Tabla XVI-14.** Resultados de Prueba de varianzas para Pb asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.430	0.805	0.708	0.594
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.626	0.723	0.752
<b>s-Comercial</b>			0.903	0.825
<b>s-Habitacional I</b>				0.935

**Tabla XVI-15.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Pb asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.901	0.341	<b>0.001</b>
<b>s-Comercial</b>			0.508	<b>0.006</b>
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.014</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-16.** Concentración media y desviación estándar de Zn asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Zn (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	38.94	21.18	19.01	17.07	31.28
<b>std</b>	2.06	1.52	2.26	1.52	2.56

**Tabla XVI-17.** Resultados de Prueba de varianzas para Zn asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.318	0.791	0.395	0.629
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.232	0.965	0.143
<b>s-Comercial</b>			0.300	0.852
<b>s-Habitacional I</b>				0.212

**Tabla XVI-18.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Zn asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.128	<b>0.005</b>	<b>0.000</b>
<b>s-Comercial</b>			0.204	<b>0.000</b>
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.000</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-19.** Concentración media y desviación estándar de Al asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Al (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	163.80	140.75	78.59	101.21	79.57
<b>std</b>	2.16	1.67	1.20	2.58	1.96

**Tabla XVI-20.** Resultados de Prueba de varianzas para Al asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.447	<b>0.040</b>	0.680	0.762
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.123	0.264	0.613
<b>s-Comercial</b>			<b>0.023</b>	0.057
<b>s-Habitacional I</b>				0.472

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-21.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Al asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.723	0.108	0.426	0.131
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.069	0.522	0.155
<b>s-Comercial</b>			0.636	0.973
<b>s-Habitacional I</b>				0.648

**Tabla XVI-22.** Concentración media y desviación estándar de Ba asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Ba (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	3.52	3.92	3.30	2.38	1.88
<b>std</b>	1.66	1.27	1.28	1.15	2.99

**Tabla XVI-23.** Resultados de Prueba de varianzas para Ba asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.255	0.388	0.143	0.232
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.917	0.523	<b>0.031</b>
<b>s-Comercial</b>			0.494	0.095
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.032</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-24.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ba asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.715	0.857	0.359	0.352
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.552	0.160	0.182
<b>s-Comercial</b>			0.407	0.468
<b>s-Habitacional I</b>				0.731

**Tabla XVI-25.** Concentración media y desviación estándar de Cd asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Cd (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	0.48	0.44	0.25	0.48	0.48
<b>std</b>	2.84	2.38	3.53	1.99	3.06

**Tabla XVI-26.** Resultados de Prueba de varianzas para Cd asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.728	0.836	0.453	0.918
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.596	0.652	0.641
<b>s-Comercial</b>			0.372	0.902
<b>s-Habitacional I</b>				0.391

**Tabla XVI-27.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cd asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.880	0.202	0.767	0.992
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.205	0.868	0.890
<b>s-Comercial</b>			0.246	0.199
<b>s-Habitacional I</b>				0.784

**Tabla XVI-28.** Concentración media y desviación estándar de Mn asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Mn (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	8.10	4.13	2.79	3.71	3.04
<b>std</b>	4.47	2.04	1.55	1.90	2.84

**Tabla XVI-29.** Resultados de Prueba de varianzas para Mn asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.181	0.103	0.276	0.682
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.589	0.910	0.337
<b>s-Comercial</b>			0.541	0.183
<b>s-Habitacional I</b>				0.450

**Tabla XVI-30.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Mn asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.326	0.163	0.312	0.225
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.319	0.807	0.589
<b>s-Comercial</b>			0.487	0.880
<b>s-Habitacional I</b>				0.750

**Tabla XVI-31.** Concentración media y desviación estándar de Cu asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Cu (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	15.51	4.27	6.51	10.15	8.65
<b>std</b>	2.69	2.68	1.35	1.96	1.95

**Tabla XVI-32.** Resultados de Prueba de varianzas para Cu asociado a PM<sub>0,49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.936	0.080	0.660	0.355
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.084	0.634	0.371
<b>s-Comercial</b>			0.219	0.212
<b>s-Habitacional I</b>				0.826

**Tabla XVI-33.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cu asociado a PM<sub>0,49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.034</b>	<b>0.001</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.141	<b>0.024</b>	<b>0.003</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.032</b>	<b>0.02</b>
<b>s-Habitacional I</b>				0.639

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-34.** Concentración media y desviación estándar de Ni asociada a PM<sub>0,49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Ni (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	5.41	0.99	1.77	1.44	0.96
<b>std</b>	3.02	1.41	1.48	3.04	1.90

**Tabla XVI-35.** Resultados de Prueba de varianzas para Ni asociado a PM<sub>0,49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.241	0.196	<b>0.026</b>	0.077
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.933	0.177	0.486
<b>s-Comercial</b>			0.124	0.446
<b>s-Habitacional I</b>				0.231

**Tabla XVI-36.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Ni asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.069	0.074	0.162	<b>0.010</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.513	0.827	0.981
<b>s-Comercial</b>			0.855	0.476
<b>s-Habitacional I</b>				0.755

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-37.** Concentración media y desviación estándar de Se asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Se (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	1.41	0.00	1.19	2.00	1.26
<b>std</b>	2.00	0.00	1.41	2.00	5.90

**Tabla XVI-38.** Resultados de Prueba de varianzas para Se asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.285	0.930	0.150
<b>s-Comercial</b>		0.285	<b>0.022</b>
<b>s-Habitacional I</b>			0.277

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-39.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Se asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.863	0.715	0.962
<b>s-Comercial</b>		0.554	0.975
<b>s-Habitacional I</b>			0.841

**Tabla XVI-40.** Concentración media y desviación estándar de Pb asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Pb (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	19.19	3.80	6.51	10.15	8.65
<b>std</b>	16.85	3.39	1.35	1.16	1.95

**Tabla XVI-41.** Resultados de Prueba de varianzas para Pb asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.323	<b>0.004</b>	0.108	<b>0.002</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		<b>0.047</b>	0.463	0.192
<b>s-Comercial</b>			0.219	0.212
<b>s-Habitacional I</b>				0.826

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-42.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Pb asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.185	0.231	0.408	0.301
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.321	<b>0.048</b>	<b>0.013</b>
<b>s-Comercial</b>			<b>0.032</b>	<b>0.008</b>
<b>s-Habitacional I</b>				0.285

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-43.** Concentración media y desviación estándar de Zn asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Zn (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	80.99	42.89	68.79	46.81	18.16
<b>std</b>	1.44	1.19	1.22	1.99	1.62

**Tabla XVI-44.** Resultados de Prueba de varianzas para Zn asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.382	0.328	0.325	0.699
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.948	0.121	0.239
<b>s-Comercial</b>			0.070	0.161

<b>s-Habitacional I</b>		0.391
-------------------------	--	-------

**Tabla XVI-45.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Zn asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	<b>0.041</b>	0.461	0.226	<b>0.000</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		<b>0.021</b>	0.841	<b>0.015</b>
<b>s-Comercial</b>			0.324	<b>0.000</b>
<b>s-Habitacional I</b>				<b>0.024</b>

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-46.** Concentración media y desviación estándar de Cd asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

Cd (ng/m <sup>3</sup> )	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	1.32	0.26	0.18	0.43	0.24
<b>std</b>	2.92	10.17	7.49	2.52	2.17

**Tabla XVI-47.** Resultados de Prueba de varianzas para Cd asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.238	0.327	0.909	0.411
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.773	0.275	<b>0.018</b>
<b>s-Comercial</b>			0.359	<b>0.028</b>
<b>s-Habitacional I</b>				0.589

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-48.** Prueba de comparación de medias (t-student) para la concentración Cd asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.847	0.786	0.691	0.489
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.991	0.979	0.998
<b>s-Comercial</b>			0.959	0.988
<b>s-Habitacional I</b>				0.901

**Tabla XVI-49.** Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a PM<sub>10</sub> en los cuatro distintos de muestreo.

PO PM <sub>10</sub> (nmol/min*PM)	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I
<b>Media</b>	0.04	0.06	0.05	0.03
<b>std</b>	1.72	1.49	1.55	1.42

**Tabla XVI-50.** Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I
<b>s-Industrial</b>	0.481	0.610	0.486
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.831	0.886
<b>s-Comercial</b>			0.758

**Tabla XVI-51.** Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a PM<sub>10</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I
<b>s-Industrial</b>	0.093	0.381	0.813
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.308	<b>0.031</b>
<b>s-Comercial</b>			0.199

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-52.** Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a PM<sub>2.5</sub> en los cinco distintos de muestreo.

PO PM <sub>2.5</sub> (nmol/min*PM)	s-Industrial	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>Media</b>	0.09	0.08	0.18	0.10	0.10
<b>std</b>	2.97	4.30	2.85	1.04	3.33

**Tabla XVI-53.** Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.057	0.189	<b>0.027</b>	<b>0.017</b>
<b>s-Tráfico vehicular</b>		0.604	0.513	0.496
<b>s-Comercial</b>			0.319	0.299
<b>s-Habitacional I</b>				0.862

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-54.** Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a PM<sub>2.5</sub>.

p value	s-Tráfico vehicular	s-Comercial	s-Habitacional I	s-Habitacional II
<b>s-Industrial</b>	0.653	<b>0.001</b>	0.717	0.565
<b>s-Tráfico vehicular</b>		<b>0.012</b>	0.496	0.462
<b>s-Comercial</b>			0.126	0.113
<b>s-Habitacional I</b>				1.000

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

**Tabla XVI-55.** Media y desviación estándar de Potencial oxidativo asociada a PM<sub>0.49</sub> en los cinco distintos de muestreo.

PO PM <sub>0.49</sub> (nmol/min*PM)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Media</b>	0.12	0.16	0.07
<b>std</b>	1.30	1.12	1.59

**Tabla XVI-56.** Resultados de Prueba de varianzas para potencial oxidativo asociado a PM<sub>0.49</sub>.

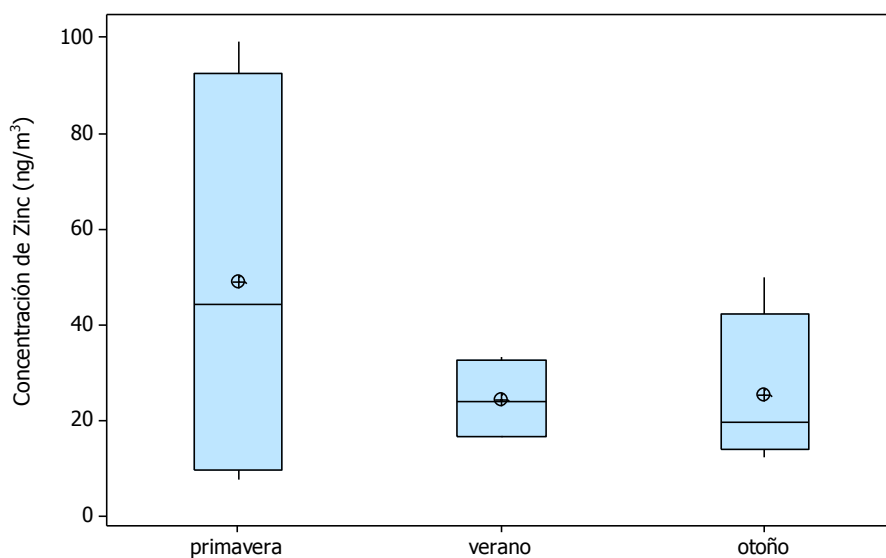
p value	Grupo 2	Grupo 3
<b>Grupo 1</b>	0.206	<b>0.042</b>
<b>Grupo 2</b>		0.176

NOTA: Los valores en morado indican que son diferentes.

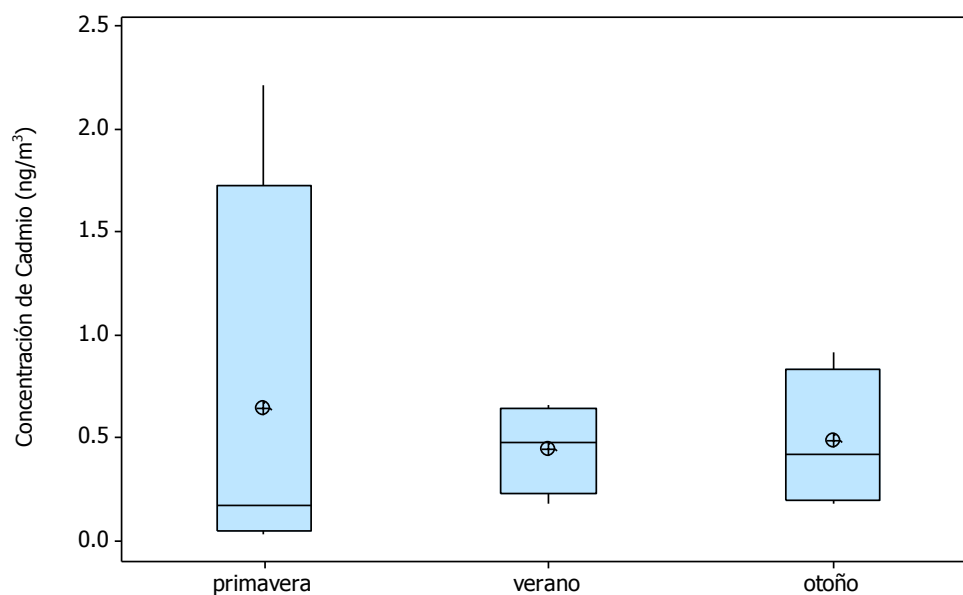
**Tabla XVI-57.** Prueba de comparación de medias (t-student) de potencial oxidativo asociado a PM<sub>0.49</sub>.

p value	Grupo 2	Grupo 3
<b>Grupo 1</b>	0.960	0.948
<b>Grupo 2</b>		0.922

## XVII. Gráficos de caja y bigotes



**Figura XVII-1.** Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación temporal de Zn en s-Habitacional II (Las cajas y líneas representan el 25, 50 y 75% de los cuartiles; el símbolo  $\oplus$  representa la media).



**Figura XVII-2.** Gráfico de caja y bigotes (Boxplot) de la variación temporal de Cd en s-Habitacional II (Las cajas y líneas representan el 25, 50 y 75% de los cuartiles; el símbolo  $\oplus$  representa la media).