

# ASESORÍA PARA CUANTIFICACIÓN DE CARBONO TOTAL Y ORGÁNICO EN MUESTRAS DE MATERIAL PARTICULADO MEDIANTE ANÁLISIS TÉRMICO

## INFORME FINAL DE RESULTADOS CONVENIO: INECC/RPA1-002/2016



2016

### CONTAMINACIÓN Y SALUD AMBIENTAL



Preparado por:

Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos  
Centro de Ciencias de la Atmósfera de la  
Universidad Nacional Autónoma de México

Elaborado para:

Coordinación de Contaminación y Salud  
Ambiental

Periférico Sur, No. 5000, Col. Insurgentes/  
Cuicuilco, Del. Coyoacán, México, D.F. C.P. 04530.  
Tel. +52 (55) 54246400. Fax. +52 (55) 54245404.  
[www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)

Diciembre de 2016

## **Directorio**

**Dra. María Amparo Martínez Arroyo**  
Directora General del INECC

**Dr. J. Víctor Hugo Páramo Figueroa**  
Coordinador General de Contaminación y Salud Ambiental

**Dr. Arturo Gavilán García**  
Dirección de Investigación para el Manejo Sustentable de  
Sustancias Químicas, Productos y Residuos

D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático  
Periférico Sur 5000. Col Insurgentes Cuicuilco  
C. P. 04530. Delegación Coyoacán, Ciudad de México  
<http://www.inecc.gob.mx>

El Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos (LAA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) analizó el contenido de carbono total y orgánico de cuatro lotes de cien muestras que pertenecen al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Los lotes corresponden con partículas ambientales recolectadas durante campañas de mediciones para determinar la exposición personal a contaminantes atmosféricos en las ciudades de: Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca.

## Tabla de contenido

<b>1 Descripción del método de análisis de carbono</b>	<b>5</b>
<b>2 Calibración del instrumento</b>	<b>6</b>
<b>3 Resultados</b>	<b>8</b>
<b>4 Conclusiones</b>	<b>10</b>
<b>5 Participantes</b>	<b>12</b>
<b>6 Referencias</b>	<b>12</b>

### Figuras

Figura 1 Calibrado del instrumento a distintas temperaturas con el SRM 1648a	6
Figura 2 Calibrado del instrumento con SRM 1648a	7
Figura 3 Exposición a carbono negro en Bélgica (Don et al, 2011)	11

### Tablas

Tabla 1 Resumen resultados Pachuca	8
Tabla 2 Resumen resultados Puebla	9
Tabla 3 Resumen resultados Cuernavaca	9
Tabla 4 Resumen resultados Toluca	9
Tabla 5 Exposición a material particulado en Londres (Adam et al, 2001)	10
Tabla 6 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Pachuca, Hgo.	13
Tabla 7 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Puebla, Pue.	16
Tabla 8 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Cuernavaca, Mor.	19
Tabla 9 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Toluca, Edo de Méx	22

El Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos (LAA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) tiene a su cargo el análisis del contenido de carbono total y orgánico de cuatro lotes de cien muestras que pertenecen al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Los lotes corresponden con partículas ambientales recolectadas en Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca. En este informe se reportan los valores del contenido de carbono total de todas las muestras correspondientes a Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca.

### **1 Descripción del método de análisis de carbono**

El LAA cuenta con un analizador de carbono UIC modelo CM5014 que opera por coulombimetría. El contenido de carbono de la muestra se determina como porcentaje de carbono, según el peso de la muestra. El instrumento consiste en un horno que opera a temperatura constante, donde se coloca la muestra dentro de una corriente de O<sub>2</sub> que la oxida y convierte los compuestos de carbono en CO<sub>2</sub>. El producto de la oxidación pasa por dos depuradores para eliminar de la corriente de análisis compuestos de azufre y nitrógeno permitiendo sólo el paso de CO<sub>2</sub> que se cuantifica en la celda coulombimétrica con monoetanolamina y un indicador colorimétrico de pH.

El instrumento proporciona una determinación absoluta de carbono en cualquier corriente que contiene CO<sub>2</sub>. El detector del coulombímetro puede cuantificar carbono en un intervalo de 0.25 a 100 mg (UIC, 2006). La temperatura de cuantificación de carbono total (CT) es 700 °C y la del carbono orgánico (CO) 450 °C. El carbono elemental (CE) corresponde con la diferencia entre el CT y el CO, en el intervalo de temperaturas de 700 – 450 °C (Johnson et al, 1998), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CE = CT - CO$$

La determinación de carbono tarda alrededor de 20 minutos, según la carga de carbono que contenga la muestra. Para este tipo de muestras, el instrumento se ajustó a modo de detección

total de carbono; es decir, no se requiere conocer el peso original de la muestra, ya que el instrumento cuantificará el CO<sub>2</sub> que se emita de ella y dará ese resultado. Esto aumenta la sensibilidad del instrumento y permite registrar contenidos de carbono cercanos a 0.0025 mg.

## 2 Calibración del instrumento

El instrumento se calibra en la respuesta con el material de referencia Urban Dust 1649 (SRM, 2001). Distintas alícuotas del estándar de referencia se analizaron en el instrumento para determinar la respuesta y la incertidumbre asociadas a los análisis químicos, de acuerdo con el método descrito por Alvarez et al (2016).

El calibrado de instrumento se hizo con SRM a distintas temperaturas, para conocer la separación de las fracciones de CT y CO a las temperaturas de análisis. Lo que se espera obtener es una diferencia significativa en los análisis a 450 y 700 °C, como se observa en la figura 1.

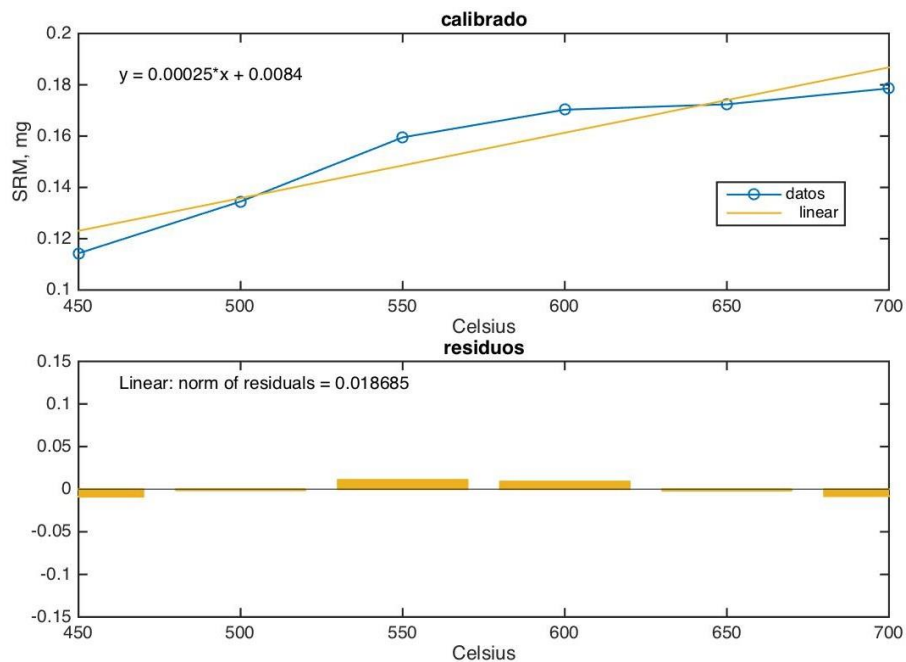
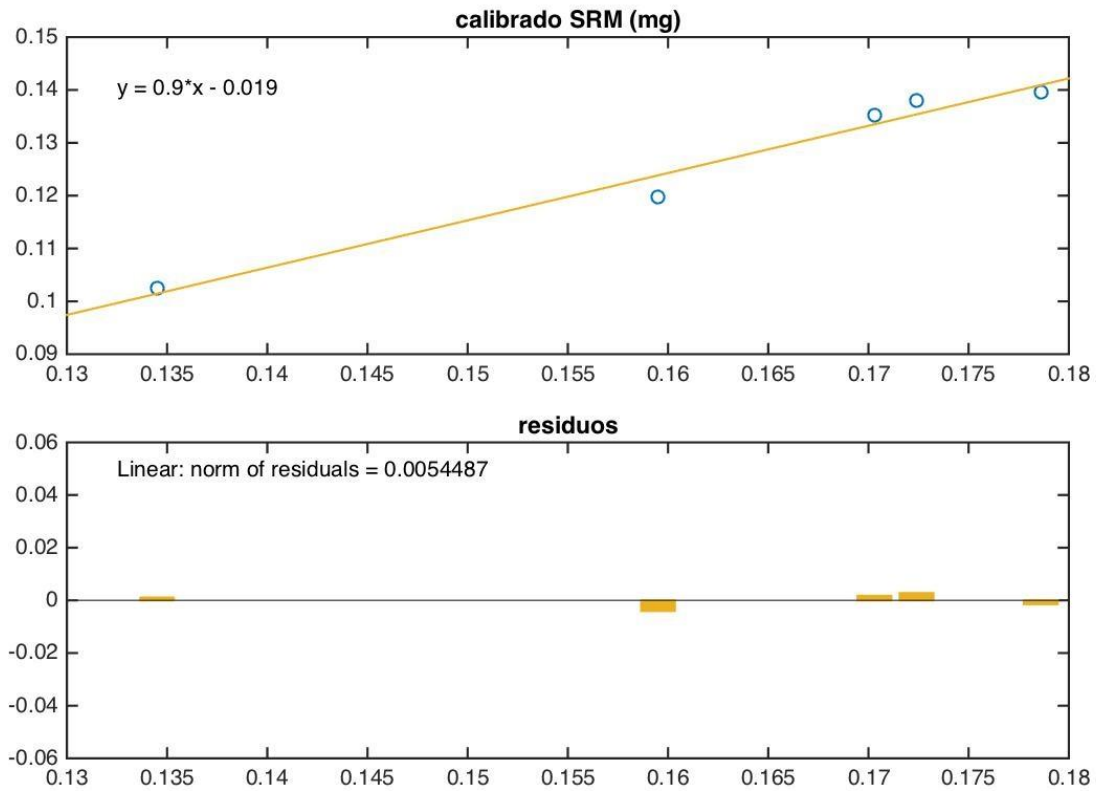


Figura 1 Calibrado del instrumento a distintas temperaturas con el SRM 1648a

La figura siguiente muestra el calibrado del instrumento con SRM a 700 °C. Se empleó una cantidad de estándar similar al reportado en los filtros para replicar lo más cercano posible los análisis de las muestras al calibrado. La regresión lineal muestra una pendiente de 0.9 y una correlación de 0.90.



**Figura 2 Calibrado del instrumento con SRM 1648a**

La preservación de las muestras consiste en mantenerlas en refrigeración (4 °C) dentro de sus cajas de petri y 24 horas antes del análisis térmico se sacan de la zona de refrigeración y se introducen en una cámara de estabilización a temperatura (25 °C) y humedad (30%) controladas. Luego se pesan, se cortan y después se introducen en el analizador de carbono.

### 3 Resultados

Los estadísticos básicos (número de muestras, media, mínimo, máximo y desviación estándar) de resultados de los análisis de carbono realizados a las muestras de partículas recolectadas en la ciudad de Pachuca se resumen en la tabla 1. La columna Peso se refiere a la muestra, CT al contenido de carbono total, CO al carbono orgánico y CE al carbono elemental determinados por el instrumento. Los valores se indican en microgramos ( $\mu\text{g}$ ). Estos valores fueron corregidos por blancos de campo. Las tres últimas columnas corresponden con el porcentaje en peso de cada especie. En el Anexo se encuentran las tablas con los resultados de los análisis de carbono realizado a todas las muestras.

**Tabla 1 Resumen resultados Pachuca**

	<b>Peso (mg)</b>	<b>CT (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	<b>CO (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	<b>CE (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	<b>CT</b>	<b>CO</b>	<b>CE</b>
N	97	81	80	80	80	79	79
Media	0.068	24.36	18.80	5.57	29%	15%	14%
Min	0.003	15.20	12.54	0.00	8%	2%	0%
Max	0.209	42.05	27.29	21.75	97%	42%	56%
Des Est	0.046	5.09	3.20	4.04	20%	10%	15%

Se analizaron un total de cien muestras de Pachuca, pero en algunos casos los análisis dieron resultados erróneos porque la cantidad de material recolectado es muy poca y en otros los sustratos de cuarzo estaban rotos, trozados, lo que provoca errores en la medición de los pesos e incertidumbre en el cálculo del porcentaje. El promedio de carbono total en las muestras de Pachuca es 29%, CO 15% y CE 14%. Si bien los datos coinciden con estudios realizados en otras ciudades, lo que es de resaltar es la alta variabilidad que existe en los datos.

El resumen los resultados de los análisis de carbono a las muestras de Puebla están en la tabla 2. Las muestras de Puebla tienen en promedio 44% de CT, el cual se compone de 31% de



CO y un 13% de CE, pero este lote tiene un menor variabilidad lo que se ve en las desviaciones estándar.

**Tabla 2 Resumen resultados Puebla**

	<b>Peso (mg)</b>	<b>CT (µg)</b>	<b>CO (µg)</b>	<b>CE (µg)</b>	<b>CT</b>	<b>CO</b>	<b>CE</b>
N	87	87	85	85	86	85	85
Media	0.0704	29.74	22.34	7.46	44%	31%	13%
Min	0.0180	15.40	9.00	0.00	1%	0%	0%
Max	0.1450	50.34	50.34	39.00	95%	94%	65%
Des Est	0.0341	7.88	6.38	8.63	23%	20%	15%

Las muestras de Cuernavaca tienen en promedio 40% de CT, el cual consta en 34% de CO y un 6% de CE. Este es el grupo de muestras con el menor contenido de CE, pero el mayor contenido de CT, lo que indica que las partículas recolectadas en su mayoría se componen de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles.

**Tabla 3 Resumen resultados Cuernavaca**

	<b>Peso (mg)</b>	<b>CT (µg)</b>	<b>CO (µg)</b>	<b>CE (µg)</b>	<b>CT</b>	<b>CO</b>	<b>CE</b>
N	90	90	90	90	90	90	90
Media	0.0755	40.46	30.34	10.11	40%	34%	6%
Min	0.0015	0.55	0.41	0.14	1%	1%	0%
Max	0.1711	137.00	102.75	34.25	97%	82%	14%
Des Est	0.0405	35.12	26.34	8.78	27%	23%	4%

Las muestras de Toluca contienen en promedio 45% de CT, 32% de CO y 14% de CE. Un contenido de carbono más parecido a las muestras de Puebla. Al igual que en los otros sitios de muestreo, la variabilidad de los resultados es grande.

**Tabla 4 Resumen resultados Toluca**

	<b>Peso (mg)</b>	<b>CT (µg)</b>	<b>CO (µg)</b>	<b>CE (µg)</b>	<b>CT</b>	<b>CO</b>	<b>CE</b>
N	88	88	88	88	88	88	88
Media	0.0775	66.89	46.83	20.07	45%	32%	14%
Min	0.0002	0.15	0.11	0.05	0%	0%	0%
Max	0.1567	198.30	138.81	59.49	98%	69%	29%
Des Est	0.0451	49.80	34.86	14.94	29%	20%	9%

## 4 Conclusiones

En general, el contenido de carbono de las muestras es alto y si se compara con estudios como *Fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK* realizado en Londres, Inglaterra (Adams et al, 2001) que reporta concentraciones tres veces más pequeñas. La discrepancia puede deberse a muchas razones, como el tamaño de la muestra, el tipo y las condiciones de muestreo, etc. De hecho, en términos de salud, para microambientes de modos de transporte en ocasiones las concentraciones horarias son tan importantes como las diarias. La figura a continuación muestra la exposición a material particulado en distintos tipos de transporte para Londres durante el invierno de 2000 (Adams et al, 2001).

Tabla 5 Exposición a material particulado en Londres (Adam et al, 2001)

Table 3  
Multi-mode winter study summary statistics<sup>a</sup>

Type	Mode/route	$n_s$ (#)	AM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	GM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	G.S.D.	Min. ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Max. ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Mode of transport	Bicycle	56	23.5	20.2	1.8	6.8	76.2
	Bus	32	38.9	30.9	2.1	5.9	87.3
	Car	12	33.7	23.7	2.4	6.6	94.4
	Tube	12	157.3	103.4	3.3	12.2	263.5
Route taken – (road transport mode samples only)	TCR	37	38.9	31.5	2.0	6.6	94.4
	KG	39	23.1	20.2	1.7	7.8	48.6
	PB	18	27.5	20.1	2.3	5.9	80.3
	Side street route (KG) – cyclists only	6	21.6	17.4	2.0	8.9	50.7

<sup>a</sup> $n_s$  — number of samples used in the analysis; AM — arithmetic mean; GM — geometric mean; G.S.D. — geometric standard deviation; Min. — minimum value; Max. — maximum value.

La alta variabilidad en los resultados parece ser consiste con estudios de mediciones de exposición personal a carbono negro. Dons et al (2011 y 2012) reportan en *Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon* variaciones hasta de 30% en sus mediciones, las cuales son parecidas a las encontradas en este reporte. Sin embargo, las concentraciones de carbono negro reportadas por Dons et al (2012) para Bélgica en *Personal*

*exposure to Black Carbon in transport microenvironments* son casi cien veces menores que las reportadas aquí. El carbono negro es un indicador positivo de quema de diesel, que es el empleado por muchos autobuses de transporte público, sobre todo en países en vías de desarrollo, como México, donde al parecer la mala combustión y el nulo mantenimientos a las unidades hace que la quema de combustible sea muy pobre.

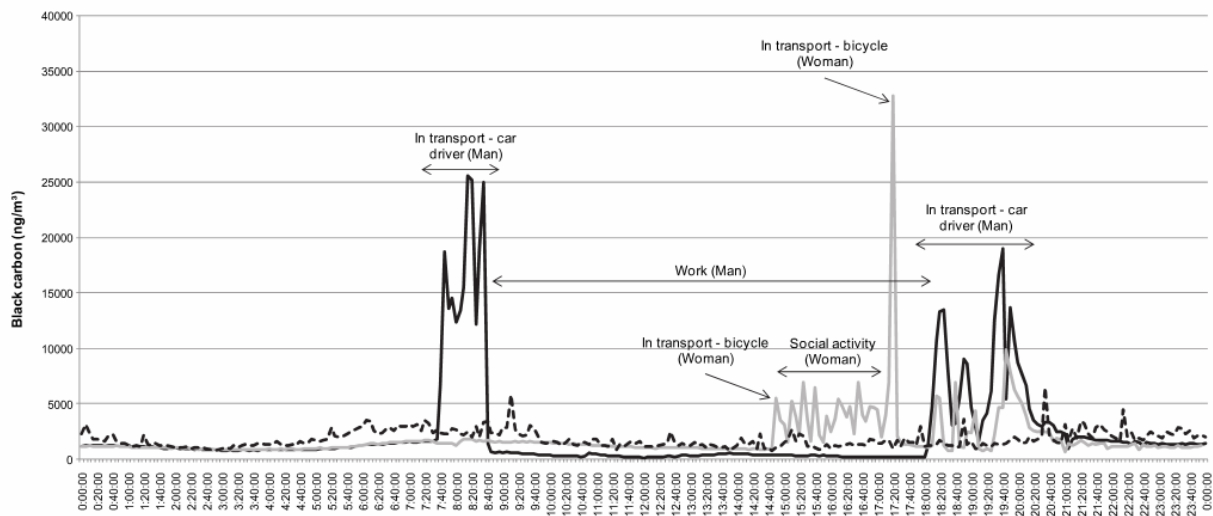


Fig. 1. Personal (homemaker (gray) and full-time worker (black)) and outdoor (at the front of the house (dashed line)) concentrations on May 19, 2010.

### Figura 3 Exposición a carbono negro en Bélgica (Don et al, 2011)

Además, la edad y condición física de los individuos, el tiempo de exposición y la misma ubicación en el medio de transporte pueden incentivar o disminuir a la exposición al material particulado, el carbono negro y los gases contaminantes.

## 5 Participantes

Dr. Oscar Peralta – responsable técnico

Quim. Isabel Saavedra – análisis térmicos

MC. Jephthe Cruz – análisis térmicos

Dr. Harry Alvarez – interpretación análisis térmicos

## 6 Referencias

Alvarez-Ospina, H., O. Peralta, T. Castro, and M. Saavedra (2016), Optimum quantification temperature for total, organic, and elemental carbon using thermal-coulombimetric analysis, *Atmos Environ*, 145, 74–80, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.08.080

Adams, HS, MJ Nieuwenhuijsen, and RN Colville (2001), Fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK, *Science of the Total ...* [online] Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969701007239>

Dons, E, LI Panis, V. M. Poppel, and J Theunis (2011), Impact of time–activity patterns on personal exposure to black carbon, *Atmospheric ...* [online] Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011003359>

Dons, E, LI Panis, V. M. Poppel, and J Theunis (2012), Personal exposure to black carbon in transport microenvironments, *Atmospheric ...* [online] Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012002610>

**Tabla 6 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Pachuca, Hgo.**

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
1	0.0310	23.48	22.48	1.00	61%	54%	6%
2	0.0500	22.01	17.95	4.06	32%	15%	16%
3	0.0420	17.86	17.63	0.24	18%	17%	1%
4	0.0680	24.56	18.17	6.39	31%	12%	19%
5	0.0620	32.87	20.81	12.06	61%	22%	39%
6	0.0750	20.85	18.57	2.28	18%	12%	6%
7	0.0700	17.34	17.34	0.00	9%	9%	0%
8	0.0080						
9	0.0680	25.81	22.63	3.18	34%	25%	9%
10	0.0790	20.76	20.76	0.00	17%	17%	0%
11	0.0860	23.67	18.33	5.35	22%	10%	12%
12	0.0230						
13	0.0210						
14	0.0300	22.85	17.44	5.41	58%	22%	36%
15	0.0210						
16	0.0180						
17	0.0300	21.79	19.39	2.40	51%	35%	16%
18	0.0770	21.99	21.95	0.05	21%	20%	0%
19	0.0250	26.27	19.29	6.98	97%	42%	56%
20	0.0470	24.98	20.88	4.11	46%	29%	17%
21	0.0370	28.25	20.22	8.03	77%	33%	43%
22	0.0250	15.20	15.06	0.15	9%	8%	1%
23	0.0430	17.97	16.12	1.85	18%	9%	9%
24	0.0230						
25	0.0730	24.24	16.58	7.66	28%	7%	21%
26	0.0420	19.35	15.40	3.95	25%	6%	19%
27	0.0430	26.00	18.03	7.96	55%	18%	37%
28	0.0910	26.13	18.87	7.27	26%	10%	16%
29	0.0480	20.50	13.68	6.82	27%	27%	0%
30	0.0640	20.66	12.55	8.11	21%	21%	0%
31	0.0430	21.19	13.57	7.62	33%	33%	0%
32	0.0380	18.27	13.17	5.10	22%	22%	0%
33	0.1220	35.30	21.21	14.08	35%	12%	23%

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
34	0.0810	42.06	20.30	21.76	69%	15%	54%
35							
36	0.0320	28.78	19.99	8.78	92%	37%	55%
37	0.1000	25.86	16.62	9.24	24%	5%	18%
38	0.0820	23.20	15.59	7.61	22%	4%	19%
39	0.0220						
40	0.0770	25.47	19.83	5.64	30%	15%	15%
41	0.0110						
42	0.0770	24.27	19.20	5.07	26%	13%	13%
43	0.1040	23.28	21.16	2.12	18%	14%	4%
44	0.0700	24.98	19.55	5.43	31%	16%	16%
45	0.1150	32.70	27.29	5.40	32%	23%	9%
46	0.0200						
47	0.1560	21.23	16.51	4.72	9%	3%	6%
48	0.1600	31.68	22.82	8.86	22%	11%	11%
49	0.1270	24.63	19.56	5.07	17%	9%	8%
50	0.1200	24.75	21.60	3.15	18%	12%	5%
51	0.1360	19.67	17.43	2.25	8%	5%	3%
52	0.1450	25.57	21.53	4.04	16%	10%	6%
53	0.1300	23.74	18.77	4.97	15%	7%	8%
54	0.0750	27.52	23.67	3.85	36%	26%	10%
55	0.1770	28.28	21.68	6.59	16%	9%	7%
56	0.1800						
57	0.1810						
58	0.1550	20.37	20.37	0.00	8%	8%	0%
59	0.2090						
60	0.1240	22.58			14%		
61	0.1020	18.88	15.41	3.46	9%	3%	7%
62	0.0630	23.30	19.50	3.80	29%	17%	12%
63	0.1150	22.88	21.23	1.65	15%	12%	3%
64	0.0610	26.59	26.59	0.00	41%	41%	0%
65	0.1220	20.52	18.37	2.15	11%	7%	4%
66	0.1370	21.41	15.71	5.70	11%	2%	8%
67	0.0757	21.99	21.95	0.05	28%	7%	21%

No.	Peso (mg)	CT (µg)	CO (µg)	CE (µg)	CT	CO	CE
68	0.0670	26.27	19.29	6.98	25%	6%	19%
69	0.0057	24.98	20.88	4.11	55%	18%	37%
70	0.0415	28.25	20.22	8.03	26%	10%	16%
71	0.0439	15.20	15.06	0.15	27%	27%	0%
72	0.0483	17.97	16.12	1.85	21%	21%	0%
73	0.0586				33%	33%	0%
74	0.0089	24.24	16.58	7.66	22%	22%	0%
75	0.0134	19.35	15.40	3.95	35%	12%	23%
76	0.0240	26.00	18.03	7.96	69%	15%	54%
77							
78	0.0906	20.50	13.68	6.82	92%	37%	55%
79	0.0922	20.66	12.55	8.11	24%	5%	18%
80	0.0095	21.19	13.57	7.62	22%	4%	19%
81	0.0203	18.27	13.17	5.10			
82	0.0874	35.30	21.21	14.08	30%	15%	15%
83	0.0574	42.06	20.30	21.76			
84	0.0411	29.58	23.33	6.25	26%	13%	13%
85	0.0596	28.78	19.99	8.78	18%	14%	4%
86	0.0038	25.86	16.62	9.24	31%	16%	16%
87	0.0130	23.20	15.59	7.61	32%	23%	9%
88	0.0864						
89	0.0715	25.47	19.83	5.64	9%	3%	6%
90	0.0771				22%	11%	11%
91	0.0263	24.27	19.20	5.07	17%	9%	8%
92	0.0606	23.28	21.16	2.12	18%	12%	5%
93	0.0965	24.98	19.55	5.43	8%	5%	3%
94	0.0389	32.70	27.29	5.40	16%	10%	6%
95	0.0032				15%	7%	8%
96	0.0639	21.23	16.51	4.72	36%	26%	10%
97	0.0088	31.68	22.82	8.86	16%	9%	7%
98	0.0686	24.63	19.56	5.07			
99	0.0958	24.75	21.60	3.15			
100	0.0263	19.67	17.43	2.25	8%	8%	0%

**Tabla 7 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Puebla, Pue.**

No.	Peso (mg)	CT (µg)	CO (µg)	CE (µg)	CT	CO	CE
1	0.1450	27.40	27.40	0.00	19%	19%	0%
2	0.1190	23.63	23.63	0.00	17%	17%	0%
3	0.1240	28.48	22.02	6.45	24%	13%	10%
4	0.0710	31.73	25.49	6.24	51%	33%	18%
5	0.0700	36.73	24.29	12.44	66%	30%	36%
6	0.1390	30.18	24.07	6.11	24%	15%	9%
7	0.1380	31.95	22.35	9.60	26%	13%	14%
8	0.1260	27.26	26.34	0.92	22%	20%	1%
9	0.1050	33.26	32.63	0.63	37%	36%	1%
10	0.0970	27.24	25.95	1.29	28%	25%	3%
11	0.0990	25.05	17.03	8.02	23%	7%	16%
12	0.0540	24.45	19.33	5.12	40%	21%	19%
13	0.1200	24.45	24.45	0.00	18%	18%	0%
14	0.0590	20.22	15.79	4.43	22%	7%	15%
15	0.0980	50.34	50.34	0.00	75%	75%	0%
16	0.1150	27.86	27.86	0.00	25%	25%	0%
17	0.1090	27.54	21.71	5.83	25%	15%	11%
18	0.0600	30.16	25.80	4.36	55%	40%	15%
19	0.0540	23.59	23.59	0.00	37%	37%	0%
20	0.0940	33.33	30.76	2.57	42%	36%	5%
21	0.1130	31.59	31.59	0.00	32%	32%	0%
22	0.1140	25.93	22.13	3.80	21%	15%	7%
23	0.1020	21.47	19.65	1.82	15%	12%	4%
24	0.0990	28.54	22.17	6.37	30%	17%	13%
25	0.0800	23.46	19.65	3.81	24%	15%	10%
26	0.0740	31.69	31.69	0.00	49%	49%	0%
27	0.0530	30.59	30.59	0.00	64%	64%	0%
28	0.0570	26.78			46%		
29	0.0470	26.86	26.86	0.00	56%	56%	0%
30	0.0810	31.93	31.93	0.00	45%	45%	0%
31	0.0630	31.61	29.78	1.83	57%	51%	6%
32	0.0540	26.71	26.71	0.00	48%	48%	0%
33	0.0450	31.41	31.41	0.00	79%	79%	0%



No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
34	0.0640	21.16	13.79	7.36	23%	0%	23%
35	0.1050	34.81	18.95	15.86	40%	10%	30%
36	0.0300	17.72	9.68	8.05	27%	27%	0%
37							
38	0.0480	24.44	24.44	0.00	45%	45%	0%
39	0.0550	33.08	26.16	6.92	70%	45%	25%
40	0.0510	23.27	22.81	0.47	38%	36%	2%
41	0.0370	21.99	21.79	0.20	45%	44%	1%
42							
43	0.0290	15.40	10.48	4.92	12%	12%	0%
44	0.0330	19.20	19.20	0.00	33%	33%	0%
45	0.0420	27.09					
46	0.0460	25.12	20.12	5.00	50%	28%	22%
47	0.0230	27.08	22.75	4.34	1%	1%	0%
48	0.0270	25.03	23.82	1.22	84%	75%	9%
49	0.0250	25.44	25.44	0.00	94%	94%	0%
50	0.0280	24.62	19.99	4.63	78%	45%	33%
51	0.0270	19.15	19.15	0.00	40%	40%	0%
52	0.0330	22.25	22.25	0.00	52%	52%	0%
53	0.0230	22.00	19.87	2.13	72%	54%	18%
54	0.0460	25.90	18.98	6.92	53%	23%	30%
55	0.0640	29.90	26.04	3.86	51%	39%	12%
56	0.0830	35.74	19.49	16.25	53%	14%	39%
57	0.0200	19.48	19.46	0.02	58%	58%	0%
58	0.0480	25.35	25.35	0.00	49%	49%	0%
59	0.0180	26.38	26.38	0.00	1%	0%	1%
60	0.0180	24.82	22.74	2.09	1%	0%	1%
61	0.0180	36.20	22.08	14.12	1%	1%	0%
62	0.1300	31.0	16.0	15.0	24%	12%	12%
63	0.0300	26.0	19.0	7.0	87%	63%	23%
64	0.0600	43.0	10.0	33.0	72%	17%	55%
65							
66							
67							

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
68	0.0500	20.0	14.0	6.0	40%	28%	12%
69	0.0500	45.0	20.0	25.0	90%	40%	50%
70	0.0400	38.0	20.0	18.0	95%	50%	45%
71							
72	0.1000	17.0	16.0	1.0	17%	16%	1%
73							
74	0.1100	39.0	20.0	19.0	35%	18%	17%
75	0.0500	32.0	13.0	19.0	64%	26%	38%
76	0.1300	36.0	24.0	12.0	28%	18%	9%
77							
78							
79							
80	0.1000	44.0	17.0	27.0	44%	17%	27%
81	0.0700	18.0	11.0	7.0	26%	16%	10%
82	0.0700	47.0	29.0	18.0	67%	41%	26%
83	0.0600	43.0	20.0	23.0	72%	33%	38%
84	0.0700	40.0	27.0	13.0	57%	39%	19%
85	0.0800	23.0	14.0	9.0	29%	18%	11%
86	0.0600	31.0	25.0	6.0	52%	42%	10%
87	0.0600	48.0	9.0	39.0	80%	15%	65%
88	0.0500	33.0	23.0	10.0	66%	46%	20%
89	0.0700	33.0	26.0	7.0	47%	37%	10%
90	0.1300	45.0	30.0	15.0	35%	23%	12%
91							
92	0.0400	34.0	26.0	8.0	85%	65%	20%
93							
94	0.1000	44.0	17.0	27.0	44%	17%	27%
95	0.0700	39.0	21.0	18.0	56%	30%	26%
96	0.0700	34.0	14.0	20.0	49%	20%	29%
97	0.1000	39.0	29.0	10.0	39%	29%	10%
98							
99	0.0500	18.0	18.0	0.0	36%	36%	0%
100	0.1100	41.0	15.0	26.0	37%	14%	24%

Tabla 8 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Cuernavaca, Mor.

No.	Peso (mg)	CT (µg)	CO (µg)	CE (µg)	CT	CO	CE
1	0.1463	54.864	41.148	13.716	87%	74%	13%
2	0.0871	32.652	24.489	8.163	5%	4%	1%
3							
4	0.1382	51.84	38.88	12.96	38%	32%	6%
5	0.0883	33.108	24.831	8.277	37%	32%	6%
6	0.0393	14.748	11.061	3.687	31%	26%	5%
7	0.0711	26.664	19.998	6.666	28%	24%	4%
8	0.1005	37.692	28.269	9.423	54%	46%	8%
9	0.0223	8.352	6.264	2.088	54%	46%	8%
10	0.0447	16.764	12.573	4.191	25%	21%	4%
11	0.1185	44.424	33.318	11.106	15%	13%	2%
12	0.1018	38.184	28.638	9.546	8%	7%	1%
13	0.0702	26.328	19.746	6.582	97%	82%	14%
14	0.1039	38.976	29.232	9.744	71%	60%	11%
15	0.0943	35.376	26.532	8.844	45%	38%	7%
16	0.0595	22.296	16.722	5.574	32%	27%	5%
17	0.0457	17.148	12.861	4.287	58%	50%	9%
18	0.0594	22.272	16.704	5.568	89%	76%	13%
19	0.0406	15.216	11.412	3.804	87%	74%	13%
20	0.0700	26.232	19.674	6.558	69%	59%	10%
21	0.0746	27.984	20.988	6.996	1%	1%	0%
22	0.0015	0.552	0.414	0.138	49%	41%	7%
23	0.1118	41.928	31.446	10.482	15%	13%	2%
24	0.0744	27.888	20.916	6.972	34%	29%	5%
25	0.0252	9.468	7.101	2.367	26%	22%	4%
26	0.0564	21.168	15.876	5.292	88%	75%	13%
27	0.0688	25.812	19.359	6.453	10%	8%	1%
28	0.0747	28.008	21.006	7.002	82%	70%	12%
29							
30	0.1212	45.432	34.074	11.358	10%	8%	1%
31							
32	0.1711	64.152	48.114	16.038	78%	67%	12%
33	0.0118	4.44	3.33	1.11	19%	16%	3%

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
34	0.1378	51.684	38.763	12.921	57%	49%	9%
35	0.0086	3.216	2.412	0.804	43%	37%	6%
36	0.0595	22.32	16.74	5.58	37%	32%	6%
37	0.0706	26.472	19.854	6.618	57%	49%	9%
38	0.0744	27.912	20.934	6.978	47%	40%	7%
39	0.0769	28.848	21.636	7.212	22%	18%	3%
40	0.0592	22.2	16.65	5.55	53%	45%	8%
41	0.0455	17.064	12.798	4.266	59%	50%	9%
42	0.0644	24.144	18.108	6.036	52%	44%	8%
43	0.0359	13.464	10.098	3.366	34%	29%	5%
44	0.0498	18.66	13.995	4.665	74%	63%	11%
45	0.0530	19.872	14.904	4.968	83%	70%	12%
46	0.0275	10.32	7.74	2.58	25%	21%	4%
47	0.0521	19.524	14.643	4.881	66%	56%	10%
48	0.0485	18.204	13.653	4.551	19%	16%	3%
49	0.0299	11.196	8.397	2.799	47%	40%	7%
50	0.0532	19.932	14.949	4.983	69%	59%	10%
51	0.0455	17.076	12.807	4.269	64%	55%	10%
52	0.0371	13.896	10.422	3.474	22%	19%	3%
53	0.0572	21.432	16.074	5.358	43%	36%	6%
54	0.0422	15.816	11.862	3.954	72%	61%	11%
55	0.0431	16.152	12.114	4.038	88%	75%	13%
56	0.0612	22.956	17.217	5.739	17%	15%	3%
57	0.0324	12.144	9.108	3.036	17%	15%	3%
58	0.0525	19.68	14.76	4.92	31%	26%	5%
59	0.0587	21.996	16.497	5.499	13%	11%	2%
60	0.0317	11.88	8.91	2.97	85%	72%	13%
61	0.0200	3	2.25	0.75	5%	4%	1%
62							
63	0.1610	21	15.75	5.25	4%	4%	1%
64	0.1560	51	38.25	12.75	11%	9%	2%
65	0.0580	19	14.25	4.75	11%	9%	2%
66	0.0280	40	30	10	48%	40%	7%
67	0.0290	47	35.25	11.75	54%	46%	8%

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
68	0.0560	137	102.75	34.25	82%	69%	12%
69	0.1310	17	12.75	4.25	4%	4%	1%
70							
71	0.1060	81	60.75	20.25	25%	22%	4%
72	0.1560	71	53.25	17.75	15%	13%	2%
73	0.0610	119	89.25	29.75	65%	55%	10%
74	0.1010	110	82.5	27.5	36%	31%	5%
75	0.1320	43	32.25	10.75	11%	9%	2%
76	0.0710	61	45.75	15.25	29%	24%	4%
77	0.1210	127	95.25	31.75	35%	30%	5%
78	0.1050	5	3.75	1.25	2%	1%	0%
79	0.1170	82	61.5	20.5	23%	20%	4%
80	0.0090	24	18	6	89%	76%	13%
81	0.1120	17	12.75	4.25	5%	4%	1%
82	0.1410	71	53.25	17.75	17%	14%	3%
83	0.0770	130	97.5	32.5	56%	48%	8%
84	0.0540	133	99.75	33.25	82%	70%	12%
85							
86	0.0930	94	70.5	23.5	34%	29%	5%
87	0.1250	123	92.25	30.75	33%	28%	5%
88	0.1520	56	42	14	12%	10%	2%
89	0.1590	133	99.75	33.25	28%	24%	4%
90	0.0900	119	89.25	29.75	44%	37%	7%
91							
92	0.0590	10	7.5	2.5	6%	5%	1%
93							
94	0.0660	44	33	11	22%	19%	3%
95	0.0810	61	45.75	15.25	25%	21%	4%
96	0.1280	51	38.25	12.75	13%	11%	2%
97	0.0670	49	36.75	12.25	24%	21%	4%
98							
99	0.0690	104	78	26	50%	43%	8%
100							

**Tabla 9 Concentraciones de CT y CO en muestras colectadas en Toluca, Edo de Méx**

No.	Peso (mg)	CT (µg)	CO (µg)	CE (µg)	CT	CO	CE
1	0.0982	59.31	41.52	17.79	13%	9%	4%
2	0.0205	50.12	35.08	15.04	12%	9%	4%
3	0.0733	16.38	11.47	4.91	83%	58%	25%
4	0.0195	70.17	49.12	21.05	74%	52%	22%
5	0.0363	80.01	56.01	24.00	30%	21%	9%
6	0.0095	34.40	24.08	10.32	7%	5%	2%
7	0.1567	12.40	8.68	3.72	40%	28%	12%
8	0.1466	72.51	50.76	21.75	45%	32%	14%
9	0.1068	69.92	48.94	20.98	1%	0%	0%
10	0.0290	2.78	1.94	0.83	41%	29%	12%
11	0.1035	66.25	46.38	19.88	95%	67%	29%
12	0.0093	23.38	16.36	7.01	74%	52%	22%
13	0.0415	77.80	54.46	23.34	97%	68%	29%
14	0.1222	17.12	11.99	5.14	63%	44%	19%
15	0.1509	21.48	15.03	6.44	15%	10%	4%
16	0.0161	78.89	55.22	23.67	51%	35%	15%
17	0.0622	82.32	57.63	24.70	83%	58%	25%
18	0.1125	52.40	36.68	15.72	66%	47%	20%
19	0.1017	90.32	63.22	27.10	20%	14%	6%
20	0.0249	65.92	46.14	19.78	42%	30%	13%
21	0.0048	34.01	23.81	10.20	96%	67%	29%
22	0.0380	95.49	66.84	28.65	15%	10%	4%
23	0.1402	51.20	35.84	15.36	20%	14%	6%
24	0.0414	7.65	5.35	2.29	33%	23%	10%
25	0.0059	38.27	26.79	11.48	20%	14%	6%
26	0.0409	16.92	11.84	5.08	20%	14%	6%
27	0.1132	8.61	6.03	2.58	89%	62%	27%
28	0.1230	50.20	35.14	15.06	56%	39%	17%
29	0.1248	45.59	31.91	13.68	26%	18%	8%
30	0.0109	94.05	65.84	28.22	28%	20%	9%
31	0.0725	66.03	46.22	19.81	12%	9%	4%
32	0.1297	45.91	32.14	13.77	4%	3%	1%
33	0.0656	23.42	16.39	7.03	28%	20%	9%

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
34	0.0419	58.46	40.92	17.54	43%	30%	13%
35	0.0940	94.68	66.28	28.41	41%	28%	12%
36	0.1417	60.45	42.32	18.14	97%	68%	29%
37	0.0664	52.97	37.08	15.89	68%	47%	20%
38	0.0520	98.80	69.16	29.64	29%	20%	9%
39	0.0499	81.09	56.76	24.33	0%	0%	0%
40	0.0134	40.46	28.32	12.14	65%	45%	19%
41	0.1358	10.20	7.14	3.06	73%	51%	22%
42	0.0002	6.65	4.65	1.99	31%	21%	9%
43	0.1289	16.52	11.56	4.96	56%	39%	17%
44	0.1197	9.35	6.54	2.80	15%	10%	4%
45	0.0332	34.84	24.39	10.45	77%	54%	23%
46	0.1492	94.59	66.21	28.38	62%	43%	19%
47	0.0290	69.34	48.54	20.80	45%	32%	14%
48	0.0419	82.06	57.44	24.62	77%	54%	23%
49	0.1161	52.17	36.52	15.65	94%	66%	28%
50	0.1465	41.47	29.03	12.44	69%	48%	21%
51	0.0320	5.12	3.59	1.54	52%	37%	16%
52	0.0357	85.92	60.14	25.78	5%	4%	2%
53	0.0738	79.47	55.63	23.84	80%	56%	24%
54	0.0403	47.95	33.56	14.38	65%	46%	20%
55	0.0864	17.04	11.92	5.11	68%	47%	20%
56	0.0946	11.92	8.34	3.57	3%	2%	1%
57	0.0793	88.61	62.03	26.58	57%	40%	17%
58	0.0003	16.46	11.52	4.94	57%	40%	17%
59	0.0570	0.15	0.11	0.05	7%	5%	2%
60	0.0227	68.91	48.24	20.67	16%	11%	5%
61	0.0952	196	137.20	58.80	69%	48%	21%
62	0.0866	31.7	22.19	9.51	12%	9%	4%
63							
64	0.1245	106.5	74.55	31.95	29%	20%	9%
65	0.0858	101.9	71.33	30.57	40%	28%	12%
66							
67	0.1049	182.3	127.61	54.69	58%	41%	17%

No.	Peso (mg)	CT ( $\mu\text{g}$ )	CO ( $\mu\text{g}$ )	CE ( $\mu\text{g}$ )	CT	CO	CE
68							
69	0.0788	174.7	122.29	52.41	74%	52%	22%
70	0.0956	126.4	88.48	37.92	44%	31%	13%
71							
72	0.0629	60.8	42.56	18.24	32%	23%	10%
73	0.0742	8	5.60	2.40	4%	3%	1%
74							
75	0.1275	193.1	135.17	57.93	50%	35%	15%
76	0.0675	198.3	138.81	59.49	98%	69%	29%
77	0.0561	38.1	26.67	11.43	23%	16%	7%
78							
79							
80	0.0721	156.4	109.48	46.92	72%	51%	22%
81	0.1453	48	33.60	14.40	11%	8%	3%
82							
83	0.0161	46.2	32.34	13.86	96%	67%	29%
84							
85	0.1276	42	29.40	12.60	11%	8%	3%
86							
87	0.0769	121.4	84.98	36.42	53%	37%	16%
88							
89	0.0797	178.9	125.23	53.67	75%	52%	22%
90	0.1073	9.5	6.65	2.85	3%	2%	1%
91	0.1007	128.7	90.09	38.61	43%	30%	13%
92	0.1296	78.4	54.88	23.52	20%	14%	6%
93	0.0801	133.4	93.38	40.02	56%	39%	17%
94	0.1219	124.4	87.08	37.32	34%	24%	10%
95	0.1560	34.8	24.36	10.44	7%	5%	2%
96	0.1499	41.7	29.19	12.51	9%	6%	3%
97	0.0603	163.6	114.52	49.08	90%	63%	27%
98							
99	0.0756	149.2	104.44	44.76	66%	46%	20%
100	0.0296	65.4	45.78	19.62	74%	52%	22%