



**Desarrollo, ejecución y elaboración de informes de estudios ambientales**



**SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO DE CARBONO ORGANICO Y  
ELEMENTAL EN FILTROS PM-10 DE ALTO VOLUMEN**

**ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL  
LIMA - PERU  
O/S 01150-2019-S**

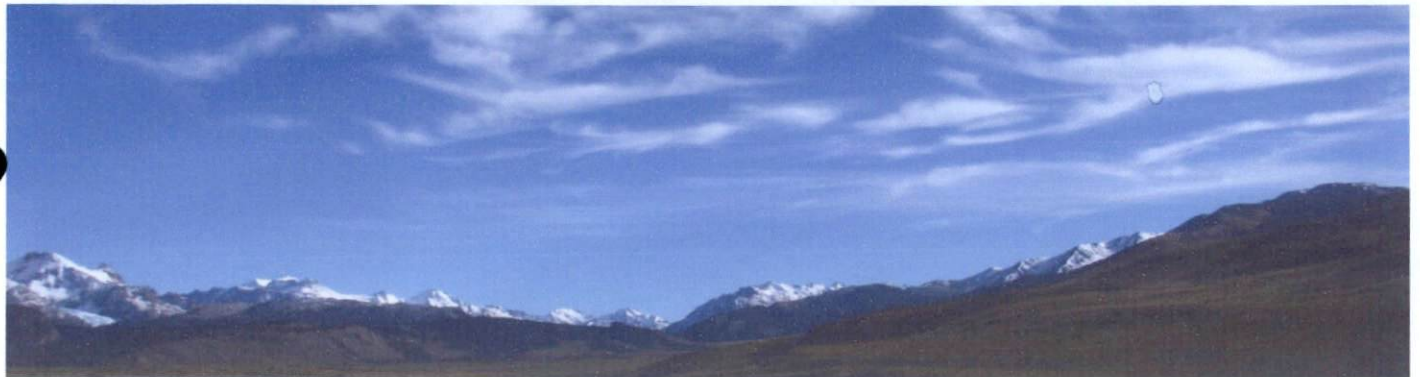
JULIO 2019

ID PROYECTO: 2550

ID INFORME: 2550-003-2019 v3



Desarrollo, ejecución y elaboración de informes de estudios ambientales



**SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO DE CARBONO ORGANICO Y  
ELEMENTAL EN FILTROS PM-10 DE ALTO VOLUMEN**

**ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL  
LIMA - PERU  
O/S 01150-2019-S**

JULIO 2019

ID PROYECTO: 2550

ID INFORME: 2550-003-2019 v3

## DETERMINACIÓN DE CARBONO TOTAL Y ORGANICO EN 20 MUESTRAS DE FILTROS DE CUARZO PARA ALTO VOLUMEN

### Informe de Análisis de Calidad de Aire

**Realizado por:**

**ES4i Environmental Services for Industries S.A.C.**

Jr. Pablo Bermudez Nro. 285 Dpto. 305.

Jesús María - Lima

Identificación de Proyecto:

**2550**

Elaborado por:

**Eric Concepción**  
**Gerente Técnico ES4i SAC**

Revisado y Aprobado por:

**Enrique García**  
**Gerente Ejecutivo ES4i SAC**

Versión	Fecha	Detalles de la Revisión
Final v2	12/09/2019	Copia
Final v3	21/10/2019	Original

## ÍNDICE

1. EQUIPO TÉCNICO .....	4
2. INTRODUCCION Y OBJETIVO .....	5
3. DATOS DEL CLIENTE .....	6
4. METODOLOGÍA.....	6
4.1 – Descripción del Método de Ensayo.....	6
4.2 – Calibración del Instrumento .....	8
5. RESULTADOS .....	11

## ANEXOS

ANEXO I: PLANILLA DE RECEPCION DE MUESTRAS Y CADENAS DE CUSTODIA

ANEXO II: DETALLE DE METODOLOGÍA

ANEXO III: CALCULO DE CONCENTRACIONES CE, CO Y CT

ANEXO IV: INFORME DE ENSAYO ES4i

ANEXO V: INFORME DE ENSAYO UNAM

ANEXO VI: CERTIFICADO ISO/IEC17025

## 1. EQUIPO TÉCNICO

ERIC CONCEPCION – GERENTE TECNICO ES4i Perú

OSCAR PERALTA – COLABORADOR LABORATORIO UNAM México

Los trabajos de recepción de muestra y análisis de laboratorio han sido conducidos por los siguientes técnicos:

MARIO ZAPATA – RECEPCION DE MUESTRAS

JACKELINE CHAVEZ – ANALISTA LABORATORIO

## 2. INTRODUCCION Y OBJETIVO

El Laboratorio Environmental Services for Industries ES4i S.A.C. (acreditado por INACAL según Anexo VI) a través de la orden de servicio N° 01150-2019-S de fecha 05-06-2019, ha sido contratado para encargarse de determinar el contenido del carbono orgánico y elemental a partir del análisis de 20 muestras de filtros de cuarzo de partículas aerosoles menores a 10 micrómetros (PM-10) recibidos del Organismo de Fiscalización y Evaluación Ambiental (OEFA). Para ello el laboratorio cuenta con el respaldo técnico del Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos (LAA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Autónoma de México que tiene desarrollado el análisis del contenido de carbono total, orgánico y elemental.

Los filtros con las cadena de custodia fueron recibidos en las instalaciones de ES4i el 25 de junio del presente, donde se verifico su condición física e inmediatamente fueron acondicionados a temperatura entre 15-20° C y humedad relativa menor al 40% (ver Anexo I Recepción de muestras y Cadena de Custodia)

Posteriormente los filtros fueron remitidos al Laboratorio de Aerosoles Atmosféricos de la Universidad Autónoma de México en condiciones de preservación.

### 3. DATOS DEL CLIENTE

**Tabla 3.1 Identificación del Cliente**

Identificación	
Razón Social	ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL
RUC	20521286769
Dirección	Faustino Sanchez Carrión N° 603, 607 y 615
Contacto	Mariela Atala
E-mail	mariela.atala.alvarez@gmail.com
Telefono	+51 936340841

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1 – Descripción del Método de Ensayo

El LAA-CCA 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 contenido de carbono se determina en el analizador de carbono UIC modelo CM5014 que consiste en un horno que opera a temperatura constante, donde se coloca la muestra dentro de una corriente de O<sub>2</sub> grado 5 (99.999% pureza) que convierte los compuestos de carbono en CO<sub>2</sub>. El producto de la oxidación de los compuestos de carbono en la muestra 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>,

Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL de acuerdo con ISO/IEC 17025, Registro LE n° 134

este se analiza y cuantifica por coulombimetría en una celda con monoetanolamina (metm) y un indicador colorimétrico de pH. El equipo proporciona una determinación absoluta de carbono en cualquier corriente que contenga gas CO<sub>2</sub>. El detector del culombímetro cuantifica carbono en un intervalo de 0.01 µg a 100 mg. Se analizaron cinco centímetros cuadrados de cada filtro (5 cm<sup>2</sup>) y se realizaron replicas aleatorias para observar si el instrumento responde dentro el error relativo esperado (error < 2.4 %).

La temperatura de cuantificación de carbono total (CT) se establece en 700 °C y la del carbono orgánico (CO) en 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. Los errores asociados con la determinación de carbono a diferentes temperaturas se calcularon base en la respuesta del instrumento a un estándar de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y al blanco de laboratorio (Bco). El error relativo máximo en la determinación del carbono total es menor que 2.2 %, lo que se considera aceptable. La tabla 1 indica los errores asociados a la determinación de carbono en dos temperaturas distintas así como los controles de blancos. Todas las muestras contienen una cantidad de carbono muy por arriba del umbral de 1.7 µg de carbono, por lo que cae dentro del error de 2.2 % en la determinación de carbono.

**Tabla 1 Error absoluto y relativo en la determinación de carbono y control de blancos**

	Temperatura °C	Estándar teórico mg	Estándar observado mg	Error absoluto	Error relativo
Carbono orgánico	450	0.22	0.21	0.01	0.8%
Carbono total	700	0.11	0.09	0.02	2.2%

*Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL de acuerdo con ISO/IEC 17025, Registro LE n° 134*

	Temperatura °C	Blanco teórico µg	Blanco observado µg	Error absoluto	Error relativo
Carbono orgánico	450	0.0	2.0	2.0	-
Carbono total	700	0.0	1.7	1.7	-

**Fuente: LAA-UAM (Mayo, 2019)**

El instrumento proporciona una determinación absoluta de carbono en cualquier corriente que contiene CO<sub>2</sub>. El detector del culombímetro 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. (ver Anexo II Detalle del Método).

#### **4.2 – Calibración del Instrumento**

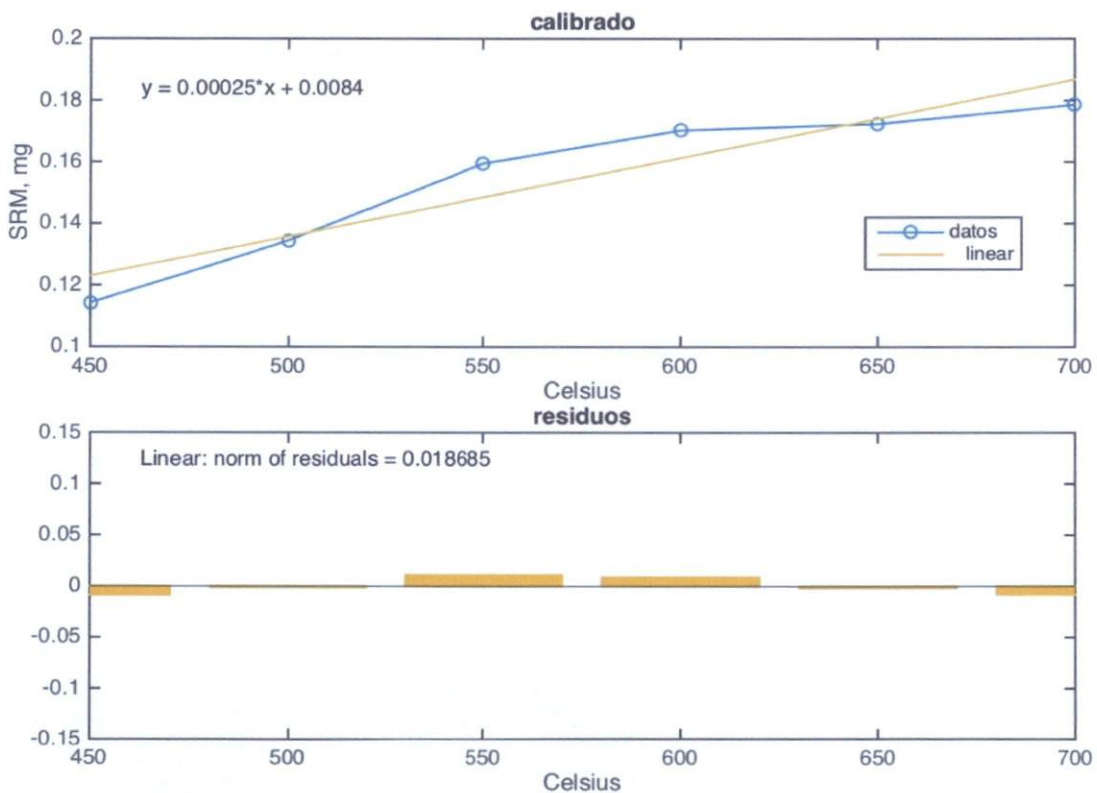
El instrumento se calibra en la respuesta con el material de referencia Urban Dust 1649 (SRM, 2001). Distintas alícuotas del estándar de referencia se analizaron en el instrumento

*Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL de acuerdo con ISO/IEC 17025, Registro LE n° 134*

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.

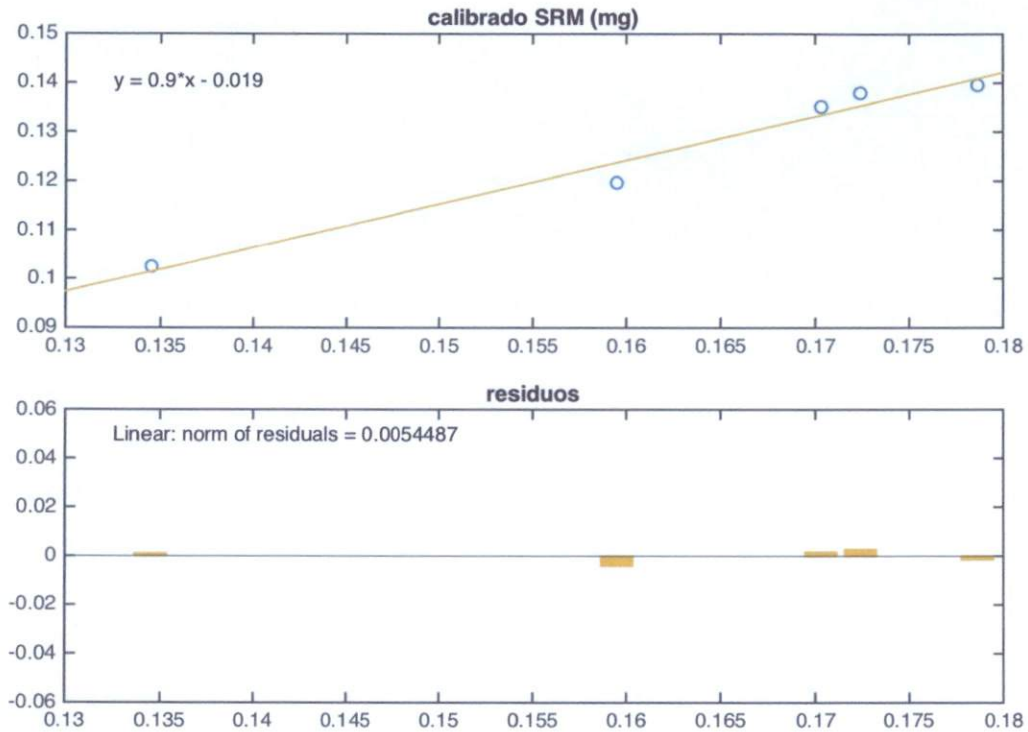


Figura 2 Calibrado del instrumento con SRM 1648a

La preservación de las muestras consiste en mantenerlas en refrigeración (4 °C) dentro de un gabinete acrílico cerrado y 24 horas antes del análisis térmico se retiran 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.

## 5. 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 por OEFA se muestran en la tabla 2. Los pesos están referidos a la masa detectada en la muestra analizada. La columna Peso se refiere a la muestra, CT al contenido de carbono total, CO al carbono orgánico determinados por el instrumento y CE al carbono elemental obtenido por diferencias. Inicialmente los cálculos se basan en el contenido de muestra en un área de 5 cm<sup>2</sup>. Los valores se indican en microgramos (µg), posteriormente con la información del área estándar ocupada por la muestra dentro del filtro, obtenida por medición del área expuesta al aire (400 cm<sup>2</sup>) se ha determinado los pesos de CE, CO y CT en el filtro.. En el Anexo III se muestran los cálculos para la determinación de la concentración de los analitos en µg/muestra. En el anexo IV se adjunta el Informe de ensayo con el detalle de los resultados de los análisis de carbono realizado a todas las muestras:

**Tabla 2 Resumen resultados pesos (µg/muestra)**

Parámetro	CT (µg/muestra)	CO (µg/muestra)	CE (µg/muestra)
Media	12526.6	10648.8	1877.8
MAX	20036.0	18356.0	6228.0
MIN	7924.0	6572.0	948.0
Desv. Std.	3398.0	2971.4	1153.2

Fuente: Informe de Ensayo UNAM Anexo V; Informe de Ensayo Es4i Anexo IV

Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL de acuerdo con ISO/IEC 17025, Registro LE n° 134

Se analizaron un total de 20 muestras en filtros de cuarzo de 8 x 10 pulgadas. El promedio de carbono total (CT) en las muestras es 12526.6 µg/muestra, para el Carbono Orgánico (CO) 10648.8 µg/muestra y para Carbono Elemental (CE) de 1877.8 µg/muestra.

Estos valores representan lo encontrado en los filtros de cuarzo remitidos por el cliente; para determinar la concentración de los parámetros CT, CO y CE así como los porcentaje de carbonos con respecto a partículas PM-10, deberá utilizarse el volumen estándar determinado por el cliente a 25°C y 1 atm, en metros cúbicos para cada filtro, de esta manera obtendría la concentración en microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) dividiendo el peso del parámetro de CT, CO y CE de cada muestra entre dicho volumen estándar.

*Las opiniones e interpretaciones expresas em este informe no forman parte del alcance de la acreditación de ES4i"*

## **ANEXO I**

### **PLANILLA DE RECEPCION DE MUESTRAS Y CADENAS DE CUSTODIA**






Recepcion de Muestras

N. DE CADENA	ORDEN DE SERVICIO	DESCRIPCION DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	PARAMETRO	FECHA Y HORA DE RECEPCION	MUESTRA DE TERCERO	OBSERVACION
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	0810A.R18	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-1 ; PM-10	1068A.R18	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-1 ; PM-10	1064A.R18	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	1066A.R18	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	0350A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-1 ; PM-10	0012A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-1 ; PM-10	0040A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	0034A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	0064A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-1 ; PM-10	0215A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono
0007-1-2019-401	190080-01	CA-VMP-2 ; PM-10	0042A.R19	Carbono organico y elemental	25-06-2019 (11:37)	Si	Filtro de carbono

  
Recepción  
Mario Zapata R.

  
Laboratorio  
Jackie de la Cruz L.

Fecha:  
Hora:

Sistema de Gestión de Calidad

Es responsabilidad de la persona que utiliza el documento su verificación en el listado maestro de documentos vigente

Recepción de Muestras

N. DE CADENA	ORDEN DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	PARÁMETRO	FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	MUESTRA DE TERCERO	OBSERVACIÓN
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0044A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-2 , PM-10	0082A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0219A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-2 , PM-10	0053A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0207A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0205A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0223A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-1 , PM-10	0066A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
0007-1-2019-401	140080 - 01	CA - VMP-2 , PM-10	0212A-R19	Carbono orgánico y elemental	25-06-2019 (11:37)	SI	Filtro de cuarzo
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

  
Recepción  
Mario Zapata R

  
Laboratorio  
Fecha:  
Hora:  
Jacqueline Chávez L

Sistema de Gestión de Calidad

Es responsabilidad de la persona que utiliza el documento su verificación en el listado maestro de documentos vigente.

## **ANEXO II**

### **DETALLE DEL METODO**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

## CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA

CIRCUITO EXTERIOR, CIUDAD UNIVERSITARIA  
C.P. 04510 MEXICO, D.F.

Ciudad Universitaria, 29 de agosto de 2018

Sr. Eric Concepción

Gerente Técnico ES4i SAC

Para determinar el contenido de carbono orgánico y elemental de material particulado, el material debe estar en sustratos de cuarzo (tissue quartz) resistente a 900 °C. El instrumento de medición para determinar el contenido de carbono se describe a continuación. Al tratarse de pruebas destructivas, las muestras no se regresan al cliente.

### Descripción del método de análisis de carbono

El carbono se determina en el analizador UIC modelo CM5014 que reporta el resultado en porcentaje de carbono según el peso total de la muestra. El analizador consiste en un horno que opera a temperatura constante, donde se coloca la muestra dentro de una corriente de O<sub>2</sub>. El producto de la oxidación de los compuestos de carbono en la muestra se analiza por coulombimetría en una celda (culombímetro) con monoetanolamina (metm) y un indicador colorimétrico de pH. El equipo proporciona una determinación absoluta de carbono en cualquier corriente que contenga gas CO<sub>2</sub>. El detector del culombímetro puede cuantificar carbono en un intervalo de 0.01 µg a 100 mg (UIC, 2006).

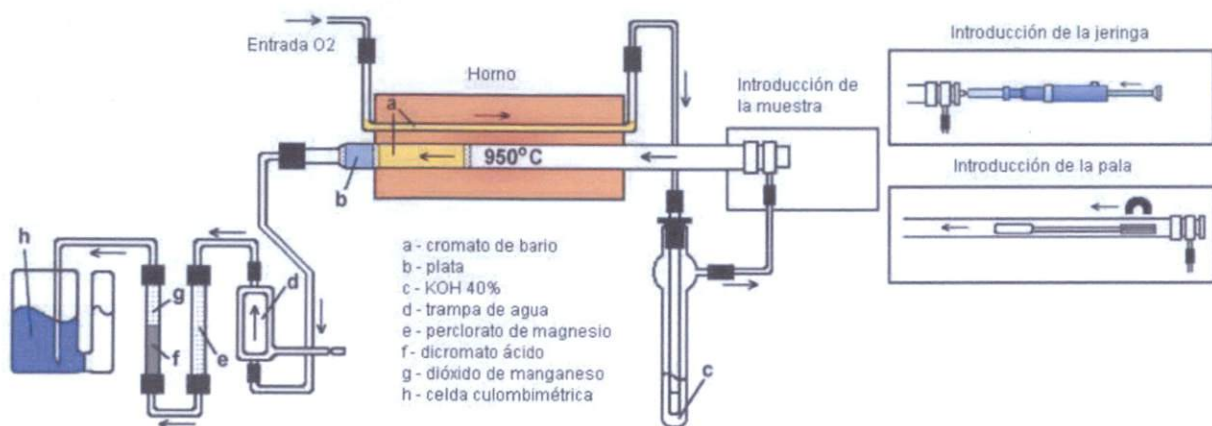


Fig. 1 Esquema de Flujo de UIC

La temperatura de cuantificación de carbono total (CT) se establece en 900 °C y la del carbono orgánico (CO) en 450 °C. El carbono elemental (CE) corresponde con la diferencia entre el CT y el CO, en el intervalo de temperaturas de 900 – 450 °C (Álvarez-Ospina et al, 2016; Johnson et al, 1998).

Los límites de detección y cuantificación establecidos por el laboratorio son:

Tabla N°1 LD y LC

	CO, 450 °C	CT, 450 °C	CO, 700 °C	CT, 700 °C
L detección, µg	5.0	5.0	4.0	4.0
L cuantificación, µg	50.0	50.0	35.0	35.0

El equipo analizador UIC se encuentra en nuestras instalaciones en condiciones controladas según muestra la fig. 2 siguiente.



Figura 2 Analizador de carbono UIC

El período de respuesta de nuestro laboratorio son de 10 a 12 días considerando la cantidad de muestras y la distribución de actividades del personal de Laboratorio de Aerosoles. Cualquier duda agradeceré se ponga en contacto con mi persona.

Atentamente

#### Contacto

**Dr. Oscar Peralta**

Aerosoles atmosféricos

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Ciudad Universitaria 04510 México, DF

Teléfono: +5255 56224800 #81824

Correo electrónico: [oscar@atmosfera.unam.mx](mailto:oscar@atmosfera.unam.mx)

Web: [http://www.atmosfera.unam.mx/grupos/aerosoles\\_atmosfericos.html](http://www.atmosfera.unam.mx/grupos/aerosoles_atmosfericos.html)

Pd. Adjunto Referencias del método

## Referencias

UIC, Inc., (2008), Carbon dioxide coulometer Application Note 1, Joillet, II, US, p. 4 Johnson K., Dickson A., Eischeid G., Goyet C., Guenther P., Key R., Millero F., Purkerson D., Sabine C., Schottle R., Wallace D., Wilke R., and Winn C. (1998): Coulometric total carbon dioxide analysis for marine studies: assessment of the quality of total inorganic carbon measurements made during the US Indian Ocean CO<sub>2</sub> Survey 1994 – 1996, *Marine Chemistry*, 63, 21 – 13

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.

## **ANEXO III**

### ***CALCULO DE CONCENTRACIONES CE, CO Y CT***

Determinación de CT, CO y CE en el filtro PM-10 en ug/muestra

Estación	Código Filtro	Área de Muestra cm <sup>2</sup>	Carbono total µg/muestra	Carbono orgánico µg/muestra	Carbono elemental µg/muestra
CA-VMP-2	0810A.R18	400.00	15296.0	13288.0	2008.0
CA-VMP-1	1068A.R18	400.00	10468.0	9400.0	1068.0
CA-VMP-1	1064A.R18	400.00	14728.0	13100.0	1628.0
CA-VMP-2	1066A.R18	400.00	10188.0	9240.0	948.0
CA-VMP-2	0050A.R19	400.00	16172.0	13848.0	2324.0
CA-VMP-1	0012A.R19	400.00	10960.0	9292.0	1668.0
CA-VMP-1	0049A.R19	400.00	15560.0	14216.0	1344.0
CA-VMP-2	0034A.R19	400.00	11192.0	9468.0	1724.0
CA-VMP-2	0064A.R19	400.00	17148.0	10920.0	6228.0
CA-VMP-1	0215A.R19	400.00	8452.0	6956.0	1496.0
CA-VMP-2	0042A.R19	400.00	15164.0	12832.0	2332.0
CA-VMP-1	0077A.R19	400.00	8044.0	6828.0	1216.0
CA-VMP-2	0082A.R19	400.00	12632.0	11068.0	1564.0
CA-VMP-1	0219A.R19	400.00	7924.0	6572.0	1352.0
CA-VMP-2	0053A.R19	400.00	14636.0	11348.0	3288.0
CA-VMP-1	0207A.R19	400.00	11740.0	10072.0	1668.0
CA-VMP-1	0203A.R19	400.00	20036.0	18356.0	1680.0
CA-VMP-1	0223A.R19	400.00	8344.0	7128.0	1216.0
CA-VMP-1	0066A.R19	400.00	11192.0	9612.0	1580.0
CA-VMP-2	0212A.R19	400.00	10656.0	9432.0	1224.0

Determinación de CT, CO y CE en muestras de 5 cm<sup>2</sup>

Estación	Código Filtro	Carbono Total µg	Carbono Orgánico µg	Carbono Elemental µg	Área de análisis, cm <sup>2</sup>	Carbono Total µg/cm <sup>2</sup>	Carbono orgánico µg/cm <sup>2</sup>	Carbono elemental µg/cm <sup>2</sup>
CA-VMP-2	0810A.R18	191.20	166.10	25.10	5	38.24	33.22	5.02
CA-VMP-1	1068A.R18	130.85	117.50	13.35	5	26.17	23.50	2.67
CA-VMP-1	1064A.R18	184.10	163.75	20.35	5	36.82	32.75	4.07
CA-VMP-2	1066A.R18	127.35	115.50	11.85	5	25.47	23.10	2.37
CA-VMP-2	0050A.R19	202.15	173.10	29.05	5	40.43	34.62	5.81
CA-VMP-1	0012A.R19	137.00	116.15	20.85	5	27.40	23.23	4.17
CA-VMP-1	0049A.R19	194.50	177.70	16.80	5	38.90	35.54	3.36
CA-VMP-2	0034A.R19	139.90	118.35	21.55	5	27.98	23.67	4.31
CA-VMP-2	0064A.R19	214.35	136.50	77.85	5	42.87	27.30	15.57
CA-VMP-1	0215A.R19	105.65	86.95	18.70	5	21.13	17.39	3.74
CA-VMP-2	0042A.R19	189.55	160.40	29.15	5	37.91	32.08	5.83
CA-VMP-1	0077A.R19	100.55	85.35	15.20	5	20.11	17.07	3.04
CA-VMP-2	0082A.R19	157.90	138.35	19.55	5	31.58	27.67	3.91
CA-VMP-1	0219A.R19	99.05	82.15	16.90	5	19.81	16.43	3.38
CA-VMP-2	0053A.R19	182.95	141.85	41.10	5	36.59	28.37	8.22
CA-VMP-1	0207A.R19	146.75	125.90	20.85	5	29.35	25.18	4.17
CA-VMP-1	0203A.R19	250.45	229.45	21.00	5	50.09	45.89	4.20
CA-VMP-1	0223A.R19	104.30	89.10	15.20	5	20.86	17.82	3.04
CA-VMP-1	0066A.R19	139.90	120.15	19.75	5	27.98	24.03	3.95
CA-VMP-2	0212A.R19	133.20	117.90	15.30	5	26.64	23.58	3.06

## **ANEXO IV**

### **INFORME DE ENSAYO ES4i**

**INFORME DE ENSAYO**

**N° 190090-A-2**

---

**ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL - OEFA**

Av. Faustino Sánchez Carrión N° 603, 607 y 615 - Jesús María

PROCEDENCIA: Distrito Ventanilla, Callao

Código de Acción: 0007-1-2019-401; 0008-2-2019-401; 0001-3-2019-401;

0002-4-2019-401

CUE: 2019-02-0013

---

Fecha de Recepción ES4i: 25/06/2019 Hora: 11:37

Muestreo realizado por: Personal del Cliente

Estación de Muestreo
Estación CA-VMP-1
Estación CA-VMP-2

Emitido por ES4i SAC

Este informe reemplaza al Informe de Ensayo N° 190090A-1 impreso el 12/09/2019



Eric Concepción Gamarra  
C.I.P. 50151  
Jefe de Laboratorio



Enrique Garcia Luciulli  
Gerente Ejecutivo

## INFORME DE ENSAYO

### N° 190090-A-2

Identificación de la Muestra					CA-VMP-1 0810A.R18	Incertidumbre (ug/muestra)	CA-VMP-2 1068A.R18	Incertidumbre (ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					29/01/2019		30/01/2019	
Hora inicio de muestreo					11:49:00		13:47:00	
Fecha fin de muestreo					30/01/2019		31/01/2019	
Hora fin de muestreo					12:34:00		13:05:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	15296	--	10468	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	13288	52	9400	36
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	2008	8	1068	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Identificación de la Muestra					CA-VMP-1 1064A.R18	Incertidumbre (ug/muestra)	CA-VMP-2 1066A.R18	Incertidumbre (ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					29/01/2019		30/01/2019	
Hora inicio de muestreo					13:00:00		12:48:00	
Fecha fin de muestreo					30/01/2019		31/01/2019	
Hora fin de muestreo					13:40:00		11:53:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	14728	--	10188	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	13100	52	9240	36
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	1628	8	948	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

Identificación de la Muestra					CA-VMP-2 0050A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-1 0012.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					25/02/2019		15/02/2019	
Hora inicio de muestreo					12:32:00		12:23:00	
Fecha fin de muestreo					26/02/2019		16/02/2019	
Hora fin de muestreo					12:50:00		11:58:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	16172	--	10960	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	13848	52	9292	36
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	2324	8	1668	8

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Identificación de la Muestra					CA-VMP-1 0049A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-2 0034A.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					25/02/2019		15/02/2019	
Hora inicio de muestreo					13:30:00		13:16:00	
Fecha fin de muestreo					26/06/2019		16/02/2019	
Hora fin de muestreo					13:30:00		12:36:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	15560	--	11192	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	14216	56	9468	36
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	1344	4	1724	8

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

Identificación de la Muestra					CA-VMP-2 0064A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-1 0215A.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					07/03/2019		24/04/2019	
Hora inicio de muestreo					11:48:00		11:13:00	
Fecha fin de muestreo					08/03/2019		25/04/2019	
Hora fin de muestreo					11:18:00		11:03:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	17148	--	8452	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	10920	40	6956	28
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	6228	24	1496	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Identificación de la Muestra					CA-VMP-2 0042A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-1 0077A.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					20/02/2019		19/03/2019	
Hora inicio de muestreo					12:27:00		11:31:00	
Fecha fin de muestreo					21/02/2019		20/03/2019	
Hora fin de muestreo					12:10:00		11:31:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	15164	--	8044	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	12832	48	6828	28
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	2332	8	1216	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

Identificación de la Muestra					CA-VMP-2 0082A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-1 0219A.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					29/03/2019		25/04/2019	
Hora inicio de muestreo					13:36:00		11:15:00	
Fecha fin de muestreo					30/03/2019		26/04/2019	
Hora fin de muestreo					13:06:00		11:38:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	12632	--	7924	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	11068	44	6572	24
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	1564	4	1352	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Identificación de la Muestra					CA-VMP-2 0053A.R19	Incertidumbre ug/muestra)	CA-VMP-1 0207A.R19	Incertidumbre ug/muestra)
Fecha inicio de muestreo					26/02/2019		11/04/2019	
Hora inicio de muestreo					13:13:00		10:39:00	
Fecha fin de muestreo					27/02/2019		12/04/2019	
Hora fin de muestreo					13:13:00		10:39:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	14636	--	11740	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	11348	44	10072	40
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	3288	12	1668	8

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

Identificación de la Muestra					CA-VMP-1 0203A.R19	Incertidumbre ug/muestra	CA-VMP-1 0223A.R19	Incertidumbre ug/muestra
Fecha inicio de muestreo					08/04/2019		26/04/2019	
Hora inicio de muestreo					11:55:00		12:04:00	
Fecha fin de muestreo					09/04/2019		27/04/2019	
Hora fin de muestreo					11:55:00		12:30:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	20036	--	8344	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	18356	72	7128	28
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	1680	8	1216	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Identificación de la Muestra					CA-VMP-1 0066A.R19	Incertidumbre ug/muestra	CA-VMP-2 0212A.R19	Incertidumbre ug/muestra
Fecha inicio de muestreo					07/03/2019		16/04/2019	
Hora inicio de muestreo					12:54:00		11:25:00	
Fecha fin de muestreo					08/03/2019		17/04/2019	
Hora fin de muestreo					11:54:00		11:30:00	
Fecha Fin de Ensayo					11/07/2019		11/07/2019	
Matriz					Aire		Aire	
Producto descrito como:					Filtro	Filtro		
Parámetro	Referencia	Unidad	Rango	LD/LC	Resultado	U	Resultado	U
<b>Carbono Total, Orgánico y Elemental</b>								
Carbono Total (*)	CT	ug/muestra	--	L.D. 4 L.C. 35	11192	--	10656	--
Carbono Orgánico (*)	CO	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	9612	36	9432	36
Carbón Elemental (*)	CE	ug/muestra	--	L.D. 5 L.C. 50	1580	8	1224	4

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

### REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método Ensayo
Filtro PM-10	Lima	Pesaje de Filtro de PM10 Alto Volumen (validado)	ES4i-003-AIR (Basado en EPA 625/R-96/010a) (validado). No incluye muestreo. Compendium method I.O3.1 item 4 y 5 excepto 5.1.1; 5.2.3.7 y 5.3
CT	Lima	Carbono Total	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetría *
CO	Lima	Carbono Orgánico	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetría *
CE	Lima	Carbono Elemental	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetría *

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

## INFORME DE ENSAYO

N° 190090-A-2

### REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método Ensayo
Filtro PM-10	Lima	Pesaje de Filtro de PM10 Alto Volumen (validado)	ES4i-003-AIR (Basado en EPA 625/R-96/010a) (validado). No incluye muestreo. Compendium method I.O3.1 item 4 y 5 excepto 5.1.1; 5.2.3.7 y 5.3
CT	Lima	Carbono Total	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetria *
CO	Lima	Carbono Orgánico	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetria *
CE	Lima	Carbono Elemental	Determinación de Carbono Orgánico y Carbono Total por oxidación de compuestos de carbono en muestra por Coulombimetria *

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

## **ANEXO V**

### **INFORME DE ENSAYO UNAM**

UNAM



CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

LABORATORIO DE AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

Investigación Científica s/n, C.U., 04510 Ciudad de México, México

ANÁLISIS DE CARBONO ORGÁNICO Y ELEMENTAL POR COULOMBIMETRÍA

Solicitante: ES4i SAC

Fecha de recepción de muestras: 4 de julio de 2019

Fecha de emisión  
del informe:

12 de julio de 2019

Periodo de análisis de muestras: 8-11 de julio de 2019

Código Filtro	Nº	Carbono orgánico $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Incertidumbre +/-	Carbono elemental $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Incertidumbre +/-
0012A.R19	F1	23.23	0.09	4.17	0.02
0034A.R19	F2	23.67	0.09	4.31	0.02
0042A.R19	F3	32.08	0.12	5.83	0.02
0049A.R19	F4	35.54	0.14	3.36	0.01
0050A.R19	F5	34.62	0.13	5.81	0.02
0053A.R19	F6	28.37	0.11	8.22	0.03
0064A.R19	F7	27.30	0.10	15.57	0.06
0066A.R19	F8	24.03	0.09	3.95	0.02
0077A.R19	F9	17.07	0.07	3.04	0.01
0082A.R19	F10	27.67	0.11	3.91	0.01
0203A.R19	F11	45.89	0.18	4.20	0.02
0207A.R19	F12	25.18	0.10	4.17	0.02
0212A.R19	F13	23.58	0.09	3.06	0.01
0215A.R19	F14	17.39	0.07	3.74	0.01
0219A.R19	F15	16.43	0.06	3.38	0.01
0223A.R19	F16	17.82	0.07	3.04	0.01
0810A.R18	F17	33.22	0.13	5.02	0.02
1064A.R18	F18	32.75	0.13	4.07	0.02
1066A.R18	F19	23.10	0.09	2.37	0.01
1068A.R18	F20	23.50	0.09	2.67	0.01

Temperatura °C	Estándar teórico %	Estándar observado %	Error absoluto	Error relativo	
Carbono total	700	10.43	10.39	0.04	0.38%

Método utilizado: Determinación de Carbono en muestras de aerosol por coulombimetría.

Equipo utilizado: Coulombimetro CM5014 acoplado a un horno CM5300. Marca UIC.Inc.

Observaciones:

Responsable del análisis: Quim. María Isabel Saavedra Rosado

Autorizo:

Dr. Oscar Augusto Peralta Rosales

## **ANEXO VI**

### **CERTIFICADO ES4i ISO/IEC 17025**

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco  
de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente Certificado de Acreditación a:

## **ES4I ENVIRONMENTAL SERVICES FOR INDUSTRIES S.A.C. - ES4I S.A.C.**

### **Laboratorio de Ensayo**

Calle Los Plateros N° 113, Urbanización Los Artesanos, distrito de Ate, provincia y departamento de Lima



Con base en la norma

**NTP- ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 30 de mayo de 2019

Fecha de Vencimiento: 29 de mayo de 2022

**ESTELA CONTRERAS JUGO**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0390-2019-INACAL/DA

Contrato N° : 014-2019/INACAL-DA

Registro N° : LE - 134

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

*El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado.*

*La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*