



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

2019-I01-054420

### INFORME N° 00319-2019-OEFA/DEAM-STEC

**A** : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**  
Director de Evaluación Ambiental

**DE** : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**  
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

**RINA TORRES PEREIRA**  
Especialista de Evaluaciones Ambientales

**ANDRÉS DANIEL BRIOS ABANTO**  
Especialista de Evaluaciones Ambientales

**JORGE IVÁN GARCÍA RIEGA**  
Especialista en Monitoreo y Vigilancia Ambiental

**ASUNTO** : Vigilancia ambiental de la calidad de aire realizada en el distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua, durante el 2019.

**C.U.E.** : 2019-02-0010

**CÓDIGO DE ACCIÓN** 0004-2-2019-401, 0022-3-2019-401, 0015-4-2019-401  
0021-5-2019-401, 0020-6-2019-401, 0008-8-2019-401  
0010-9-2019-412, 0005-10-2019-412

**REFERENCIA** : Planefa 2019

**FECHA** : Lima, 29 de noviembre de 2019

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

#### 1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales de la vigilancia ambiental realizada en el distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua son presentados en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Unidad Minera Cuajone
c.	Problemática identificada	Presunta afectación de la calidad del aire debido a las actividades de remoción de material particulado en el área de influencia directa de la Unidad Minera Cuajone
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Tipo de evaluación	Vigilancia Ambiental
f.	Periodo de ejecución	Enero - octubre de 2019

Profesionales que aportaron a este documento:

**Tabla 1.2.** Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Rina Torres Pereira	Bióloga	Gabinete
3	Andrés Daniel Brios Abanto	Ingeniero ambiental	Gabinete
4	Jorge Iván García Riega	Ingeniero electrónico	Gabinete
5	Xiomara Solanch Mandujano Reyes	Ingeniera ambiental	Gabinete/campo

## 2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros evaluados en la vigilancia ambiental de la calidad de aire realizada en el área de influencia de la Unidad Minera Cuajone se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Parámetros evaluados

Matriz	Fecha (Mes/Periodo)	Parámetros	Cantidad de puntos/estaciones
Aire	Mensual	Material particulado con diámetro menor a 10 micras - PM <sub>10</sub>	1
	Febrero y Octubre	Metales en PM <sub>10</sub>	

## 3. ANTECEDENTES

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA, a través del Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (en adelante, Sinada), recibió denuncias de los pobladores del distrito de Torata, por la presunta alteración de la calidad del río Torata y de la calidad del aire producidas por las actividades de la Unidad Minera Cuajone (en adelante, UM Cuajone).

Durante los años 2015 y 2016, el OEFA a través de la Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante, DEAM), realizó la Evaluación Ambiental de la cuenca Ilo – Moquegua, elaborando el Informe N.º 00125-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, aprobado el 29 de diciembre de 2016. La evaluación ambiental registró elevadas concentraciones metálicas (boro y manganeso) y valores de pH alcalinos en el río Torata, el cual se encuentra influenciada por la UM Cuajone en la parte alta de la cuenca Ilo – Moquegua.

El 05 de marzo del 2018, la DEAM en el marco de su función evaluadora, instaló una estación de vigilancia de calidad de aire en el centro poblado Torata Alta, distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua para monitorear de manera continua, en tiempo real y sistemática la calidad ambiental del aire en esta zona, la cual se encuentra en el área de influencia de la UM Cuajone operada por la empresa Southern Perú Cooper Corporation.

Durante el 2018, en cumplimiento del Plan de Evaluación y Fiscalización Ambiental del 2018 (Planefa 2018), la DEAM ejecutó la vigilancia ambiental de la calidad del aire en el centro poblado Torata Alta, generando mensualmente los informes detallados en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Informes de vigilancia ambiental de calidad del aire 2018

INFORME	FECHAS DE MONITOREO
N.º 0132-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 05 al 31 de marzo de 2018
N.º 0177-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 30 de abril de 2018
N.º 0213-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 31 de mayo de 2018
N.º 0239-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 30 de junio de 2018
N.º 0263-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 31 de julio de 2018
N.º 0297-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 31 de agosto de 2018



INFORME	FECHAS DE MONITOREO
N.º 0315-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 30 de setiembre de 2018
N.º 0361-2018-OEFA/DEAM-STEC	Enero – octubre de 2018
N.º 0375-2018-OEFA/DEAM-STEC	Del 01 al 13 de noviembre de 2018
N.º 0008-2019-OEFA/DEAM-STEC	Del 14 al 31 de diciembre de 2018

En el 2019, la DEAM, en cumplimiento del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental del 2019 (en adelante, Planefa 2019), continuó ejecutando la vigilancia ambiental de la calidad del aire en la estación de vigilancia CA-TO-01, ubicado en el centro poblado Torata Alta.

El 28 de febrero de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0021-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 31 de enero de 2019. El informe indica que, en enero de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los Estandares de Calidad Ambiental para aire (en adelante, ECA para aire) de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 27 de marzo de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0049-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 28 de febrero de 2019. El informe indica que, en febrero de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM. Respecto a las concentraciones de metales en PM<sub>10</sub>, estos no excedieron la normativa referencial canadiense *Air Ambient Quality Criteria 2012 (AAQC)*.

El 17 de abril de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0069-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 31 de marzo de 2019. El informe indica que, en marzo de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 17 de mayo de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0099-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 30 de abril de 2019. El informe indica que, en abril de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 25 de junio de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0137-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 31 de mayo de 2019. El informe indica que, en mayo de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 25 de julio de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0166-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 30 de junio de 2019. El informe indica que, en junio de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 28 de agosto de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0194-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 31 de julio de 2019. El informe indica que, en julio de 2019, las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 24 de setiembre de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0226-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 31 de agosto de 2019. El informe indica que, en agosto de 2019, las concentraciones de 24 horas de  $PM_{10}$ , no excedieron el valor de los ECA para aire de  $100 \mu g/m^3$ , establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

El 28 de octubre de 2019, la DEAM aprueba el informe N.º 0264-2019-OEFA/DEAM-STEC de la vigilancia ambiental de calidad del aire en la estación CA-TO-01, realizado del 01 al 30 de setiembre de 2019. El informe indica que, en setiembre de 2019, las concentraciones de 24 horas de  $PM_{10}$ , no excedieron el valor de los ECA para aire de  $100 \mu g/m^3$ , establecido mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

La vigilancia ambiental de calidad del aire en el centro poblado de Torata Alta (CA-TO-01) se ejecutó para  $PM_{10}$  y monitoreo de metales en  $PM_{10}$  en octubre de 2019, las cuales son analizadas en el presente informe.

#### 4. OBJETIVO

Evaluar el comportamiento y la calidad ambiental del aire en el área de influencia de la UM Cuajone, operada por la empresa Southern Perú Cooper Corporation, en el centro poblado Torata Alta, distrito Torata, provincia Mariscal Nieto y departamento Moquegua, durante el 2019.

#### 5. ÁREA DE ESTUDIO

Las actividades de vigilancia ambiental de la calidad del aire se realizaron en la Vivienda El fundo la Pampita, ubicada en el centro poblado Torata Alta dentro del área de influencia de la UM Cuajone (ver Anexo 1. Mapa de ubicación de la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01).



Figura 5.1. Ubicación de la estación CA-TO-01 en relación a la UM Cuajone

#### 6. METODOLOGÍA

##### 6.1 Protocolo de monitoreo

El protocolo de monitoreo utilizado se describe en la Tabla 6.1.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Tabla 6.1.1.** Protocolo de monitoreo utilizado en la vigilancia ambiental de la calidad de aire

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Aire	Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos	Todo el documento	Perú	Dirección General de Salud Ambiental <sup>1</sup> (DIGESA)	Resolución Directoral N.º 1404-2005-DIGESA/SA.	2005

## 6.2 Ubicación de la estación de vigilancia ambiental

La vigilancia ambiental de la calidad del aire se realizó en la estación identificada con código CA-TO-01. El código, coordenadas y descripción de la estación se visualizan en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2.2.** Ubicación de la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire

Lugar	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Vivienda El fundo la Pampita Centro poblado de Torata Alta, distrito de Torata.	CA-TO-01	305512	8111192	2516	Aproximadamente a 6 km lineales a la UM Cuajone.

## 6.3 Equipos utilizados y metodología de análisis

Los equipos, métodos y técnicas empleadas en la vigilancia ambiental de la calidad del aire se presentan en la Tabla 6.3 y Tabla 6.4.

**Tabla 6.3.** Equipos utilizados en la vigilancia ambiental de la calidad del aire

Parámetro	Equipo	Marca	Modelo	Serie
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	Monitor automático de partículas	<i>Thermo Scientific</i>	TEOM 1405	1405A208321003
Metales en PM <sub>10</sub> – Alto Volumen	Muestreador de alto volumen (HiVol) de material particulado	<i>Thermo Scientific</i>	G10557	P9324
				P10321X
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de viento</li> <li>• Dirección de viento</li> <li>• Temperatura ambiente</li> <li>• Humedad relativa</li> <li>• Precipitación</li> <li>• Presión barométrica</li> </ul>	Estación meteorológica	Campbell	CR1000	25512

**Tabla 6.4.** Métodos para el análisis de aire

Parámetro	Método de Referencia	Técnica Empleada
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	Método automático	Micro balanza oscilante de elementos cónicos <sup>(1)</sup>
Metales en PM <sub>10</sub> – Alto Volumen	<i>EPA Compendium method IO-3.4 1999. Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP)</i>	Metales por ICP OES Filtro PM10 Alto Volumen <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Actualmente Dirección General de Salud Ambiental e inocuidad Alimentaria.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Parámetro	Método de Referencia	Técnica Empleada
	<i>Spectroscopy.</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de viento</li> <li>• Dirección de viento</li> <li>• Temperatura ambiente</li> <li>• Humedad relativa</li> <li>• Precipitación</li> <li>• Presión barométrica</li> </ul>	Método automático	-

(1): Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, de la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa)

(2): Según informes de ensayo N.º FEB1131.R19 y N.º OCT1197.R19, laboratorio CERTIMIN S.A.

(-): No aplica

### 6.4 Procesamiento de datos

Los datos meteorológicos fueron procesados para la elaboración de los diagramas denominados rosas de vientos. Estos diagramas representan la dirección y velocidad de viento en un plano polar con las coordenadas geográficas de la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire, para evaluar la influencia de la meteorología local sobre los parámetros ambientales y su posible procedencia.

Los datos meteorológicos fueron procesados en base a las horas diurnas (07:00 h - 11:00 h), horas vespertinas (12:00 h - 18:00 h) y horas nocturnas (00:00 h - 6:00 h y 19:00 h - 23:00 h) con el fin de analizar y evaluar la influencia de la meteorología local sobre los contaminantes monitoreados y su posible procedencia, evolución y transporte local durante la mañana, tarde y noche. Además, se graficaron rosas de vientos mensuales con el fin de analizar la influencia de la meteorología local sobre los contaminantes monitoreados durante el 2019.

Los datos del parámetro PM<sub>10</sub> son transmitidos vía internet a la base de datos del OEFA, donde se realiza la validación de las concentraciones de los parámetros ambientales, a través, de un sistema de validación de datos, obteniéndose como producto los datos validados. Estos resultados se encuentran expresados en microgramo por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) a condiciones estándar de temperatura y presión (298,15 K y 760 mmHg).

El procesamiento de datos de 24 horas obtenidos de PM<sub>10</sub>, consistió en promediar las concentraciones horarias con un 75% de datos válidos (18 horas como mínimo) de las 24 horas, los cuales fueron comparados con los ECA para aire, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

Las muestras de material particulado a obtenerse en los filtros de PM<sub>10</sub> fueron enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de metales. Adicionalmente, para la determinación de PM<sub>10</sub> se calculó el flujo según la siguiente ecuación:

$$Q_{std} = Q_a \left( \frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left( \frac{T_{std}}{P_{std}} \right) \quad (6.1)$$

Donde:

$Q_{std}$  = Flujo promedio (m<sup>3</sup>/min) a condiciones de referencia indicadas (i.e. 10 °C, 25°C y 101,3 kPa).

$Q_a$  = Flujo promedio (m<sup>3</sup>/min) a condiciones ambientales.

$P_{av}$  = Presión barométrica promedio durante el período de muestreo o presión barométrica promedio para el lugar de muestreo (kPa o mmHg).

$T_{av}$  = Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo o temperatura ambiente estacional promedio para el lugar de muestro (K).

$T_{std}$  = Temperatura estándar para metales a 25 °C o 10°C (i.e. 298 K o 283 K).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

$P_{std}$  = Presión estándar (i.e. 101,3 kPa o 760 mmHg).

Una vez calculado el flujo promedio se procedió a calcular el volumen total de aire muestreado, el cual se obtiene de la ecuación 6.2.

$$V_{std} = (Q_{std})(t) \tag{6.2}$$

Donde:

$V_{std}$  = Total de aire muestreado en unidades de volumen (m<sup>3</sup>).

$t$  = Tiempo de muestreo (min).

A partir del análisis de metales en los filtros de PM<sub>10</sub> se obtuvieron las concentraciones de metales en el aire, de acuerdo con la ecuación 6.3.

$$C_{Metal} = 10^{-6} \cdot (W_{metal})/V_{std} \tag{6.3}$$

Dónde:

$C_{PM10}$  = Concentración de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>).

$W_f - W_i$  = Diferencia de pesos final e inicial del filtro (g).

$V_{std}$  = Volumen de aire muestreado a condiciones estándar (m<sup>3</sup>)<sup>2</sup>.

Para el cálculo del volumen de aire muestreado de los metales en PM<sub>10</sub> se empleó la temperatura de 10°C como temperatura estándar, para su comparación con la norma de referencia *Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards* (AAQC) - abril 2012 (ver Anexo 2, Tablas 12 y 13).

### 6.5 Criterios de evaluación

Las concentraciones obtenidas de PM<sub>10</sub> y metales en PM<sub>10</sub> fueron comparadas con los ECA para aire, aprobadas por el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM, según se indica en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5.** Estándares de calidad ambiental para aire de acuerdo al Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM

Parámetro	Periodo	Valor (µg/m <sup>3</sup> )	Criterio de evaluación
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras	24 horas	100	NE más de 7 veces al año
Plomo (Pb) en PM <sub>10</sub>	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año

NE: No exceder

Los ECA para aire no consideran concentraciones de metales en PM<sub>10</sub>, para un periodo de 24 horas; por lo que, se tomó la guía de calidad del aire de Canadá (*Ontario's Ambient Air Quality Criteria - 2012*) como estándares de referencia para los parámetros evaluados, según se indica en la Tabla 6.6. Las notas de esta norma indican que las concentraciones expresadas en µg/m<sup>3</sup> se encuentran a condiciones de 10 °C y 760 mmHg.

**Tabla 6.6.** Estándares de calidad de aire de Canadá para los contaminantes

CASRN	Contaminante	AAQC (µg/m <sup>3</sup> )	Tiempo promedio (h)
7440-36-0	Antimonio y compuestos de antimonio	25	24
7784-42-1	Arsénico y compuestos de arsénico	0,3	24
7440-41-7	Berilio y compuestos de berilio	0,01	24
7440-42-8	Boro	120	24
7440-43-9	Cadmio y compuestos de cadmio	0,025	24
7440-48-4	Cobalto	0,1	24
7440-50-8	Cobre	50	24

<sup>2</sup> Condición estándar: 1 atmósfera de presión y 25 °C de temperatura para la medición de volúmenes de los gases.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

CASRN	Contaminante	AAQC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo promedio (h)
7440-47-3	Cromo y compuestos	0,5	24
15438-31-0	Hierro (metálico)	4	24
7439-92-1	Plomo y compuestos de plomo	0,5	24
7439-96-5	Manganeso y compuestos de manganeso	0,2	24
7439-97-6	Mercurio (Hg)	2	24
7439-98-7	Molibdeno	120	24
7440-02-0	Níquel y compuestos de níquel	0,1	24
7782-49-2	Selenio	10	24
7440-22-4	Plata	1	24
7440-24-6	Estroncio	120	24
7440-31-5	Estaño	10	24
7440-32-6	Titanio	120	24
7440-61-1	Uranio y compuestos de uranio	0,15	24
7440-62-2	Vanadio	2	24
7440-66-6	Zinc	120	24

CASRN: *Chemical Abstracts Services Registry Number* o Número de Registro CAS.

Fuente: *Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards (AAQC)* - abril 2012:

[www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf](http://www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf)

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección, se presentan los registros de las condiciones meteorológicas, las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y metales en  $\text{PM}_{10}$ , así como, el análisis de la calidad de aire, realizado del 1 al 31 de octubre de 2019 en la estación de vigilancia CA-TO-01.

### 7.1. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 son presentadas en la Tabla 7.1 y el detalle del registro de los parámetros en el Anexo 2. (Tabla 11. Datos meteorológicos).

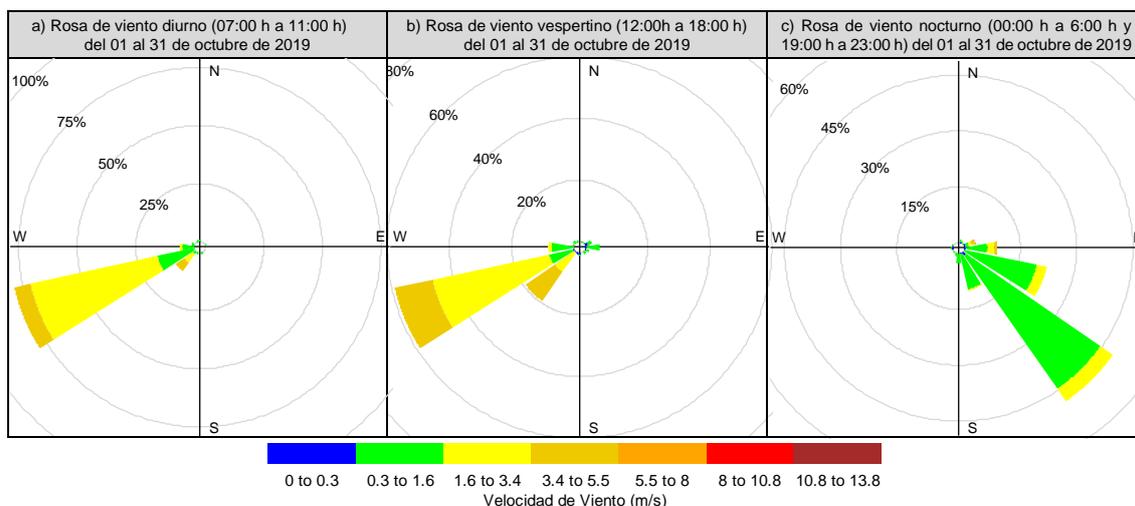
**Tabla 7.1.** Parámetros meteorológicos registrados en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, octubre 2019.

Valor	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Presión barométrica (mmHg)	Velocidad del viento (m/s)
Mínimo	9,6	0,0	3,9	564,4	0,1
Máximo	21,5	0,0	63,8	569,0	6,0
Promedio	15,1	0,0	28,9	566,7	1,8

En cuanto a la velocidad y dirección del viento, en la Figura 7.1 se observan las rosas de vientos para el periodo del 1 al 31 de octubre, elaboradas con el fin de obtener información estadística de la estación CA-TO-01. En la Figura 7.1a se presenta la rosa de vientos en horario diurno; donde se observa vientos del tipo ventolina (paleta verde), brisas ligeras (paleta amarilla) y brisas suaves (paleta mostaza) procedentes, predominantemente, del oeste-suroeste (WSW) con una frecuencia de 79%.

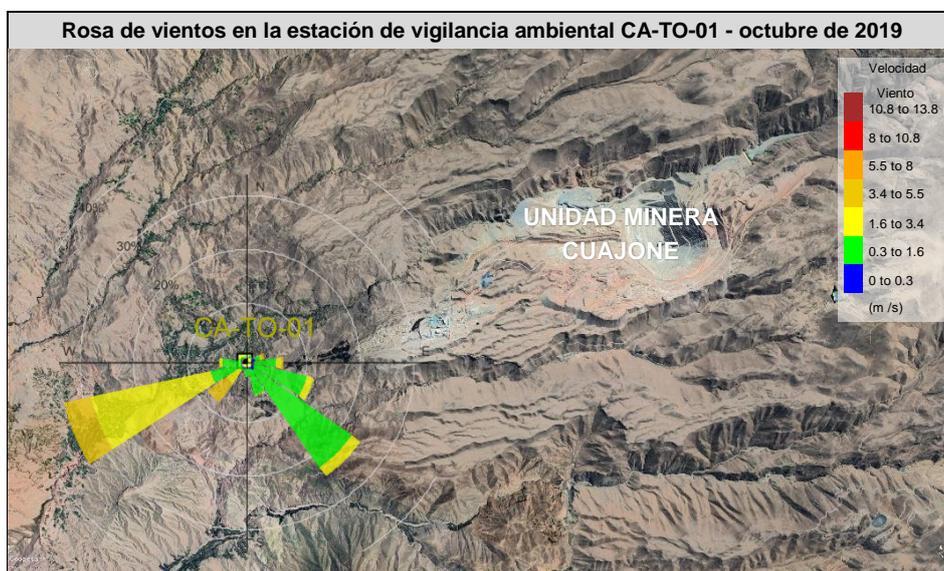
En la Figura 7.1b se presenta la rosa de vientos en horario vespertino; donde se muestra vientos del tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves procedentes, predominantemente, del oeste-suroeste (WSW) con una frecuencia de 59%. En la Figura 7.1c se presenta la rosa de vientos en horario nocturno; donde se aprecia vientos del tipo ventolina y brisas ligeras procedentes, predominantemente, del sureste (SE) y este-sureste (ESE) con frecuencias de 49% y 23%, respectivamente.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 7.1.** Representación gráfica de las rosas de vientos en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, en octubre de 2019 a) en horario diurno, b) en horario vespertino, c) en horario nocturno, Nota: Las paletas indican la dirección desde donde provienen los vientos

La Figura 7.2 muestra la ubicación de la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, respecto a la UM Cuajone y la distribución de los vientos registrados en la vigilancia. Durante los días monitoreados, los vientos predominantes fueron del tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves procedentes del oeste-suroeste (WSW) y sureste (SE) con frecuencias de 34% y 25%, respectivamente. Además, se registraron vientos provenientes del este (E) y este-noreste (ESE), direcciones donde se encuentra la UM Cuajone, con frecuencias de 6% y 2%, respectivamente.



**Figura 7.2.** Rosa de vientos en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 en octubre 2019

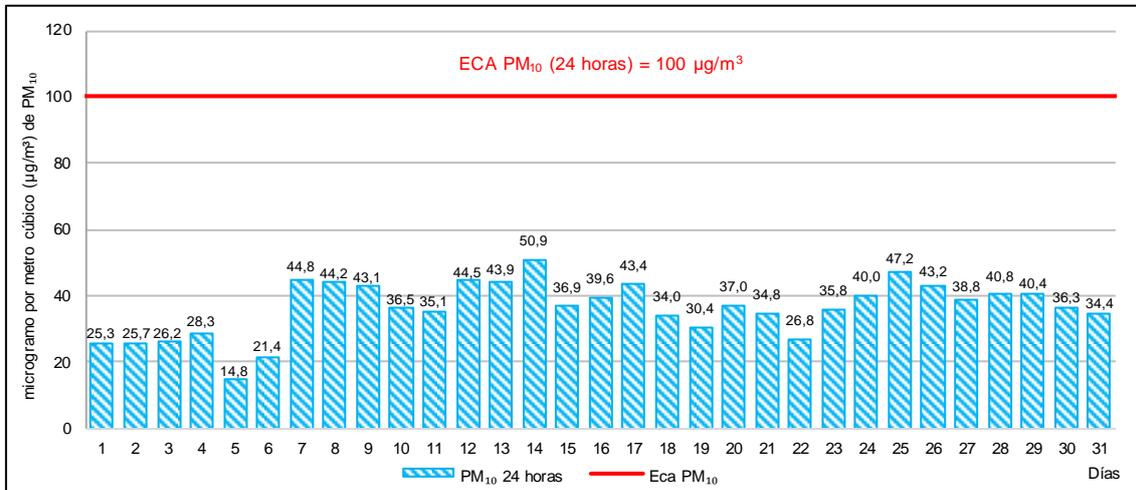
Referencia: Imágenes satelital extraídas de Google Earth

## 7.2. Concentración de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

En la Figura 7.3 se muestra las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub>, en la estación de vigilancia CA-TO-01, las cuales no excedieron el valor establecido en los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>. Las concentraciones oscilaron entre una mínima de 14,8 µg/m<sup>3</sup>, registrada el

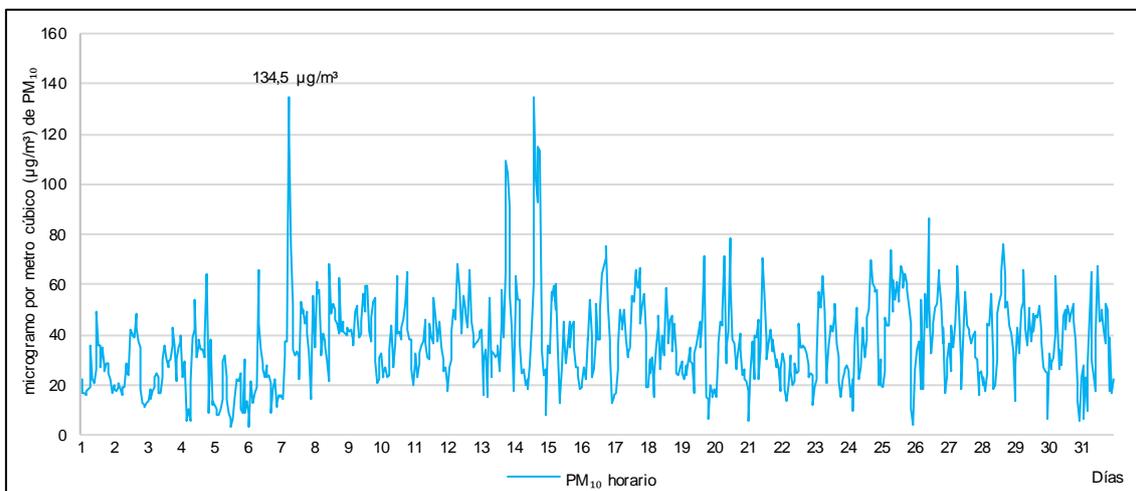
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

5 de octubre y máxima de 50,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , registrada el 14 de octubre. El detalle del registro de concentraciones se presenta en el Anexo 2. (Tabla 10. Concentración de  $\text{PM}_{10}$ ).



**Figura 7.3.** Concentraciones de 24 horas de  $\text{PM}_{10}$  en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 en octubre de 2019.

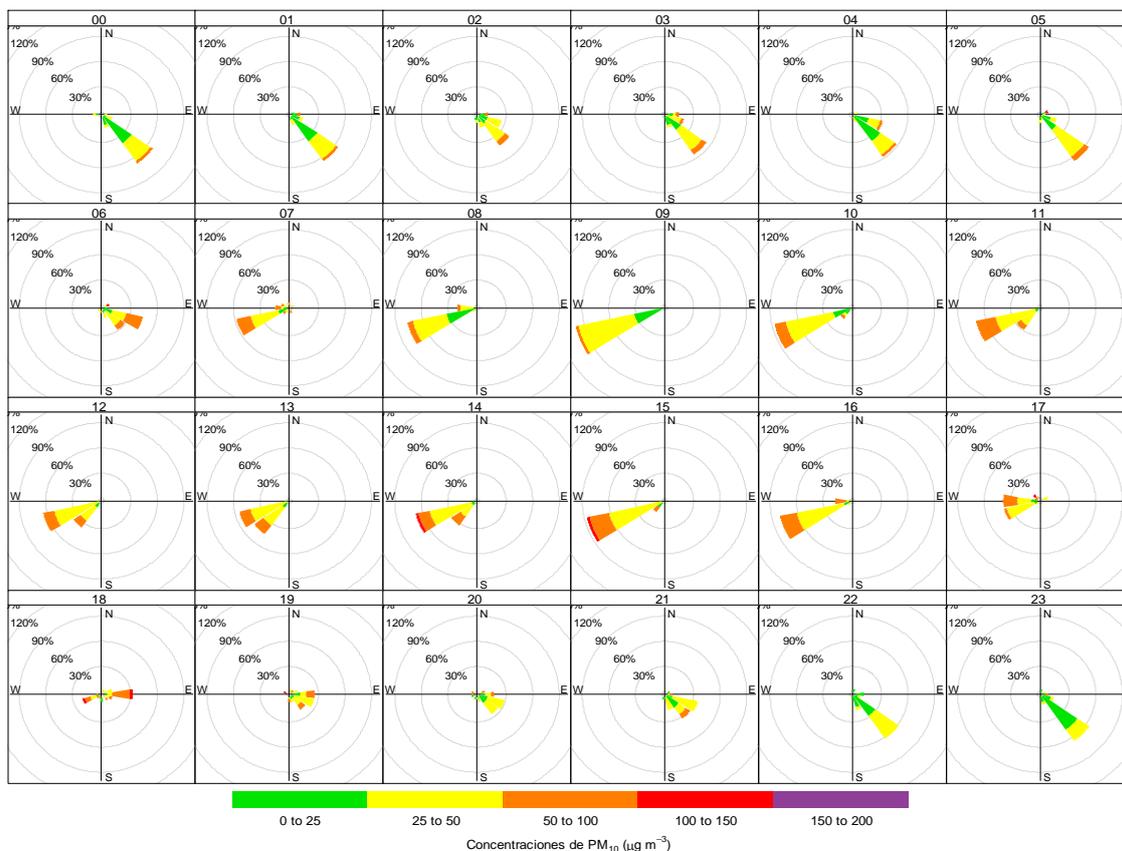
En la Figura 7.4 se presentan las concentraciones horarias de  $\text{PM}_{10}$ , en la estación de vigilancia CA-TO-01, cuyo valor más alto fue 134,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y se registró el 7 de octubre a las 05:00 horas. Cabe precisar que, las concentraciones horarias de  $\text{PM}_{10}$  no fueron comparados con los ECA para Aire porque esta norma no contempla concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  para periodo de 1 hora.



**Figura 7.4.** Concentraciones horarias de  $\text{PM}_{10}$  en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 en octubre de 2019.

En la Figura 7.5 se grafican las rosas de concentración por horas para  $\text{PM}_{10}$ , desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas, correspondientes a octubre de 2019. Se puede apreciar que aproximadamente a las 05:00 horas, 06:00 horas y 18:00 horas se alcanzó el rango de concentración de  $\text{PM}_{10}$  más alto (paleta roja, 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) provenientes del este-noreste (ENE) y este (E), en cuyas direcciones se encuentra la UM Cuajone; existiendo una relación directa entre los trabajos de la empresa y las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  en las horas indicadas. Cabe precisar que, a las 14:00 horas, 15:00 horas y 17:00 horas, también, se alcanzó el rango de concentración de  $\text{PM}_{10}$  más alto (paleta roja, 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) provenientes del oeste-suroeste (WSW) y noroeste (NW).

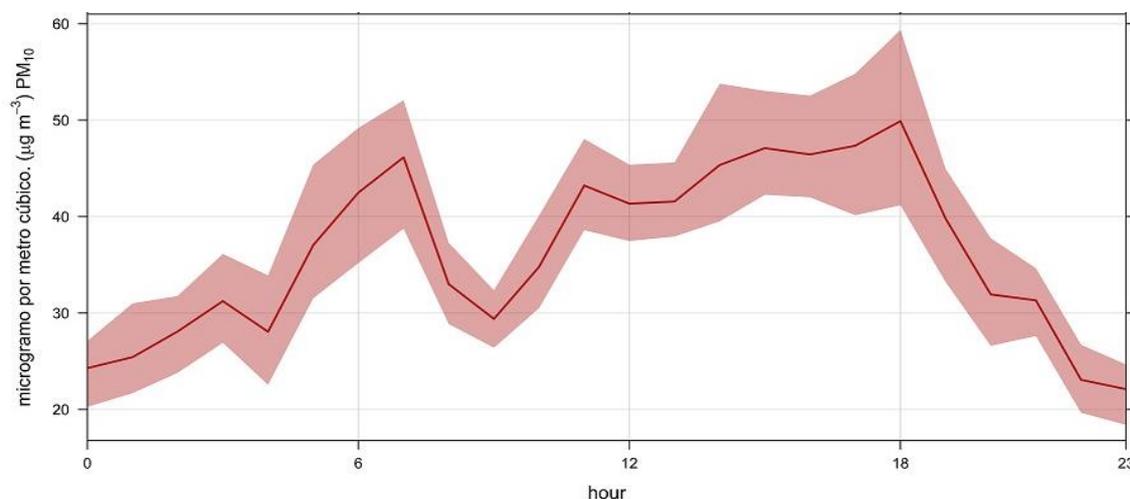
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 7.5.** Rosas de concentración por horas de PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia CA-TO-01, desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas, en octubre de 2019

Nota: Las paletas indican la dirección de donde provienen las concentraciones de PM<sub>10</sub>

En la Figura 7.6 se muestra los promedios por hora y el intervalo de confianza (95%) de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, correspondiente al mes de octubre, en la estación de vigilancia CA-TO-01. El mayor promedio de las concentraciones de PM<sub>10</sub> fue de 49,9 µg/m<sup>3</sup> y se presentó a las 18:00 horas, mientras que, el menor promedio fue de 22,1 µg/m<sup>3</sup> y se presentó a las 23:00 horas. Por otro lado, el mayor intervalo de confianza sucedió a las 18:00 horas indicando una mayor variabilidad de las concentraciones de PM<sub>10</sub>.



**Figura 7.6.** Promedios por hora y el intervalo de confianza (95%) de las concentraciones horarias de PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia CA-TO-01 durante octubre de 2019

### 7.3. Concentración de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

El material particulado PM<sub>10</sub> se caracterizó químicamente, es así que, se han reportado los metales<sup>3</sup>: aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), berilio (Be), bismuto (Bi), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sn), estroncio (Sr), fósforo (P), hierro (Fe), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), plomo (Pb), potasio (K), selenio (Se), silicio (Si), sodio (Na), talio (Tl), titanio (Ti), vanadio (V) y zinc (Zn).

Los resultados de las concentraciones de los metales Sb, As, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Se, Ag, Sr, Sn, Ti, V y Zn no excedieron los valores establecidos en la norma canadiense de referencia y se pueden cotejar en la Tabla 7.2.

**Tabla 7.2.** Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> a 10° C y 1 atmósfera, en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01.

Metales en PM <sub>10</sub>		Unidad	Concentración de metales – Volumen a 10 °C						AAQC Ontario (µg/m <sup>3</sup> )
			14/10/2019	15/10/2019	16/10/2019	17/10/2019	18/10/2019	19/10/2019	
			1001,0	1002,7	999,1	1007,3	1005,1	1008,5	
Plata	Ag	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,001	1
Aluminio	Al	µg/m <sup>3</sup>	0,670	0,296	0,545	0,544	0,434	0,366	-
Arsénico	As	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,3
Boro	B	µg/m <sup>3</sup>	0,033	0,033	0,044	0,077	0,028	0,032	120
Bario	Ba	µg/m <sup>3</sup>	0,013	0,009	0,012	0,011	0,010	0,009	-
Berilio	Be	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,01
Bismuto	Bi	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Calcio	Ca	µg/m <sup>3</sup>	1,500	0,831	1,344	1,419	1,174	1,206	-
Cadmio	Cd	µg/m <sup>3</sup>	0,011	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,025
Cobalto	Co	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,1
Cromo	Cr	µg/m <sup>3</sup>	<LC	0,006	0,004	<LC	0,007	0,006	0,5
Cobre	Cu	µg/m <sup>3</sup>	0,062	0,019	0,030	0,017	0,019	0,028	50
Hierro	Fe	µg/m <sup>3</sup>	0,832	0,384	0,590	0,538	0,453	0,430	4
Potasio	K	µg/m <sup>3</sup>	0,456	0,195	0,318	0,336	0,250	0,282	-
Litio	Li	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Magnesio	Mg	µg/m <sup>3</sup>	0,428	0,191	0,371	0,395	0,313	0,321	-
Manganeso	Mn	µg/m <sup>3</sup>	0,048	0,018	0,027	0,022	0,018	0,020	0,2
Mercurio	Hg	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	2
Molibdeno	Mo	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	120
Sodio	Na	µg/m <sup>3</sup>	0,465	0,387	0,657	0,980	0,751	0,903	-
Níquel	Ni	µg/m <sup>3</sup>	0,005	<LC	<LC	0,005	<LC	<LC	0,1
Fosforo	P	µg/m <sup>3</sup>	0,046	<LC	0,040	0,042	0,035	<LC	-
Plomo	Pb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,016	<LC	<LC	0,5
Antimonio	Sb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	25
Selenio	Se	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	10
Silicio	Si	µg/m <sup>3</sup>	1,553	0,857	1,358	1,417	1,213	0,947	-
Estaño	Sn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	10
Estroncio	Sr	µg/m <sup>3</sup>	0,012	0,005	0,010	0,011	0,008	0,008	120
Titanio	Ti	µg/m <sup>3</sup>	0,024	0,011	0,020	0,020	0,016	0,014	120
Talio	Tl	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Vanadio	V	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	2
Zinc	Zn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	120

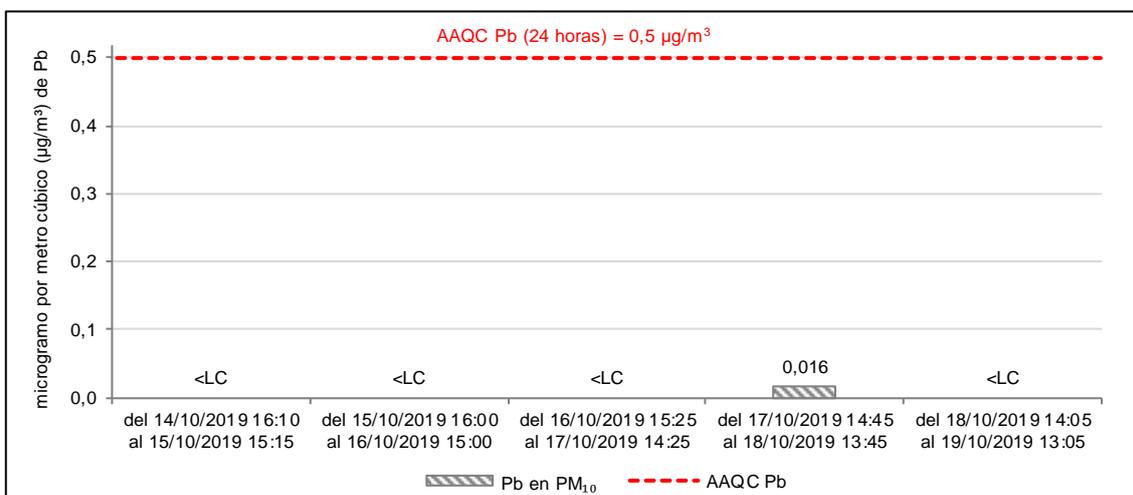
< LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

<sup>3</sup> Para fines del presente informe tanto los metales como metaloides se les denominarán metales.

#### 7.4. Concentración de plomo en material particulado con diámetro menor a 10 micras (Pb en PM<sub>10</sub>)

Los ECA para aire establece el nivel de concentración de Pb en PM<sub>10</sub>, para un periodo mensual y anual pero no contempla un valor para un periodo de 24 horas; por lo que, el resultado de la concentración de plomo fue comparado de manera referencial con la norma canadiense Air Ambient Quality Criteria 2012 (AAQC).

En la Figura 7.7 se presentan los resultados de la concentración de 24 horas de plomo en PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire CA-TO-01, donde se observa que los días monitoreados, del 14 al 20 de octubre, los valores de Pb en PM<sub>10</sub> no excedieron el valor del estándar canadiense referencial de 0,5 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 7.7.** Concentraciones de plomo en material particulado con diámetro menor a 10 micras (Pb en PM<sub>10</sub>) a 10°C y de 24 horas, en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 en octubre 2019, comparadas de manera referencial con la normativa canadiense AAQC-2012.

< LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

La concentración mensual de plomo en PM<sub>10</sub> (25°C y 760 mmHg) fue de 0,015 µg/m<sup>3</sup> y no excedió el valor establecido en los ECA para aire de 1,5 µg/m<sup>3</sup>, el detalle de las concentraciones de metales se presenta en el Anexo 2 (Tabla 17. Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> a 25°C).

## 8. DISCUSIÓN

En esta sección, se presentan los registros de las condiciones meteorológicas, las concentraciones de PM<sub>10</sub> y metales en PM<sub>10</sub>, así como, el análisis de la calidad de aire, realizado de enero a octubre de 2019, en la estación de vigilancia CA-TO-01.

### 8.1. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas, registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, son presentadas en la Tabla 8.1. y el detalle del registro se encuentra en el Anexo 2 (Tabla 11. Datos meteorológicos).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

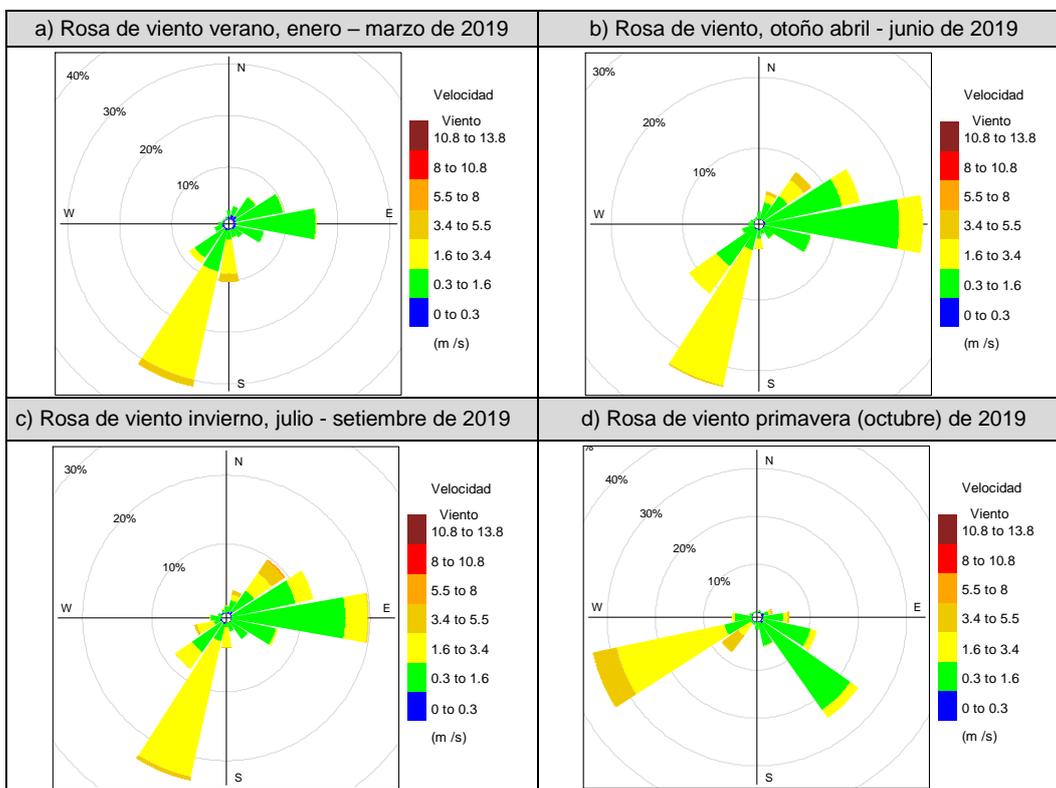
**Tabla 8.1.** Parámetros meteorológicos registrados en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, de enero a octubre de 2019.

Valores	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Presión barométrica (mmHg)	Velocidad del viento (m/s)	Precipitación (mm)
<b>ENERO (01 - 31)</b>					
Mínimo	8,5	21,3	564,3	0,0	0,0
Máximo	21,2	89,2	568,8	4,2	0,4
Promedio	14,7	65,1	566,7	1,4	0,001
<b>FEBRERO (01 - 28)</b>					
Mínimo	11,2	45,3	565,3	0,0	0,0
Máximo	20,4	88,9	567,4	3,9	0,4
Promedio	14,6	74,1	566,9	1,3	0,003
<b>MARZO (01 - 31)</b>					
Mínimo	12,2	19,3	564,8	0,1	0,0
Máximo	20,3	85,3	568,9	3,9	0,2
Promedio	15,5	56,4	566,9	1,6	0,001
<b>ABRIL (01 - 30)</b>					
Mínimo	8,8	13,3	565,6	0,0	0,0
Máximo	22,0	85,8	568,9	3,7	0,0
Promedio	15,4	44,5	567,1	1,4	0,0
<b>MAYO (01 - 31)</b>					
Mínimo	11,2	4,5	565,4	0,2	0,0
Máximo	21,9	58,9	569,5	6,0	0,0
Promedio	16,2	24,1	567,2	1,7	0,0
<b>JUNIO (01 - 30)</b>					
Mínimo	11,0	4,4	565,2	0,2	0,0
Máximo	23,5	48,1	569,1	4,5	0,0
Promedio	16,7	17,0	567,3	1,6	0,0
<b>JULIO (01 - 31)</b>					
Mínimo	6,7	2,3	564,8	0,1	0,0
Máximo	21,9	49,4	569,3	6,3	0,0
Promedio	15,9	15,9	567,3	1,7	0,0
<b>AGOSTO (01 - 31)</b>					
Mínimo	11,0	5,1	565,5	0,2	0,0
Máximo	22,5	33,6	569,2	5,8	0,0
Promedio	16,3	14,1	567,3	1,8	0,0
<b>SEPTIEMBRE (01 - 30)</b>					
Mínimo	11,2	6,2	565,1	0,1	0,0
Máximo	22,6	65,7	570,1	5,9	0,0
Promedio	15,9	25,4	567,3	1,7	0,0
<b>OCTUBRE (01 - 31)</b>					
Mínimo	9,6	0,0	3,9	564,4	0,1
Máximo	21,5	0,0	63,8	569,0	6,0
Promedio	15,1	0,0	28,9	566,7	1,8

En la Figura 8.1 se grafican las rosas de vientos por estaciones del año, correspondientes al periodo de evaluación enero – octubre de 2019. En la Figura 8.1a se presenta la rosa de vientos de la estación de verano, donde se aprecia vientos del tipo ventolina y brisas ligeras y brisas suaves proveniente, predominantemente, del sur-suroeste (SSW) con una frecuencia de 31%.

En la Figura 8.1b, se presenta la rosa de vientos de la estación de otoño, donde se aprecia vientos del tipo ventolina y brisas ligeras proveniente, predominantemente, del sur-suroeste (SSW) y este (E) con frecuencias de 23% y 22%, respectivamente. En la Figura 8.1c, se presenta la rosa de vientos de la estación de invierno, donde se aprecia donde se aprecia vientos del tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves proveniente, predominantemente, del sur-suroeste (SSW) y este (E) con frecuencias de 23% y 20%, respectivamente.

En la Figura 8.1d, se presenta la rosa de vientos de la estación de primavera (solo octubre), donde se aprecia vientos del tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves proveniente, predominantemente, del oeste-suroeste (WSW) y sureste (SE) con frecuencias de 34% y 25%. Es preciso indicar que, para la generación de la rosa de vientos de la estación de primavera solo se tenían disponibles los datos de octubre.

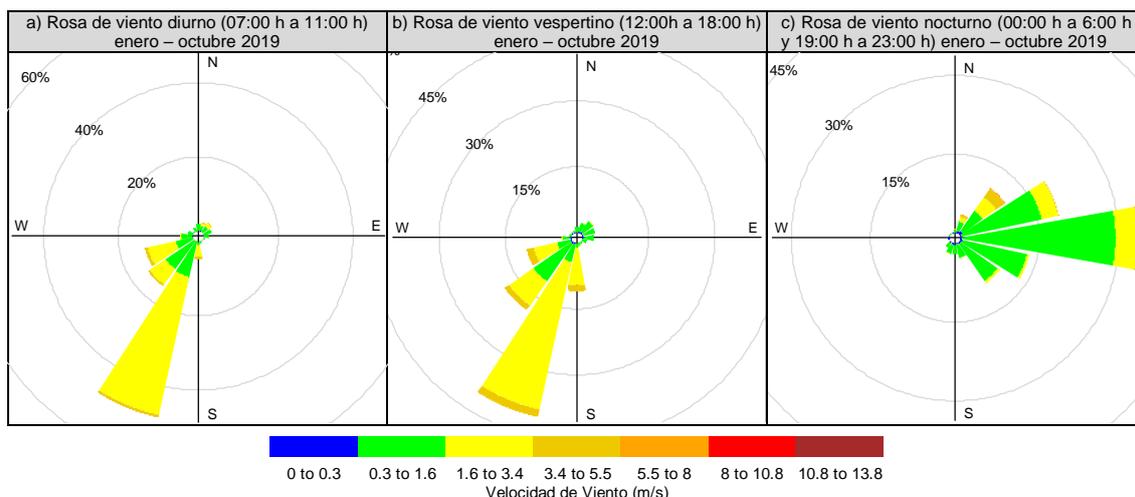


**Figura 8.1.** Representación gráfica de las rosas de concentración de  $PM_{10}$  en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019 a) estación de verano, b) estación de otoño, c) estación de invierno y d) estación de primavera  
Nota: Las paletas indican la dirección desde donde provienen los vientos

En la Figura 8.2 se observan las rosas de vientos en el centro poblado Torata Alta, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019, clasificados en horario diurno (07:00 h a 11:00 h), horario vespertino (12:00 h a 18:00 h) y horario nocturno (00:00 h a 6:00 h y 19:00 h a 23:00 h). En la Figura 8.2a se presenta la rosa de vientos en horario diurno; donde se aprecia vientos del tipo ventolina y brisa ligera procedentes, predominantemente, del sur-suroeste (SSW) con una frecuencia de 49%.

En la Figura 8.2b, se presenta la rosa de vientos en horario vespertino; donde se aprecia vientos del tipo brisas ligeras y brisas suaves procedentes, predominantemente, del sur-suroeste (SSW) con una frecuencia de 41%. En la Figura 8.2c se presenta la rosa de vientos en horario nocturno; donde se aprecia vientos del tipo ventolina y brisas ligeras procedentes, predominantemente, del este (E) y este-noreste (ENE) con frecuencias de 34% y 19%, respectivamente.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

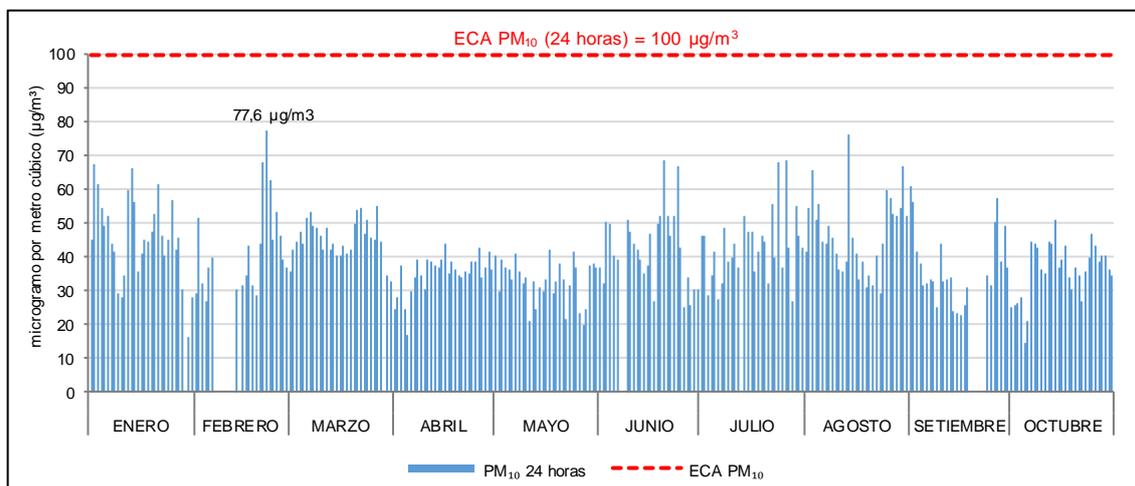


**Figura 8.2.** Rosa de viento en el centro poblado Torata Alta, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019, clasificados en a) horario diurno (07:00 h a 11:00 h), b) horario vespertino (12:00 h a 18:00 h) y c) horario nocturno (00:00 h a 6:00 h y 19:00 h a 23:00 h).

Nota: Las paletas indican la dirección desde donde provienen los vientos

### 8.2. Concentración de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

En la Figura 8.3 se presentan las concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, observando que en ninguna oportunidad se excedió el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019. Las concentraciones oscilaron entre una mínima de 14,8 µg/m<sup>3</sup> registrada el 5 de octubre y una máxima de 77,6 µg/m<sup>3</sup> registrada el 22 de febrero. El detalle del registro de concentraciones se presenta en el Anexo 2 (Tablas 1 al 10. Concentración de PM<sub>10</sub>).

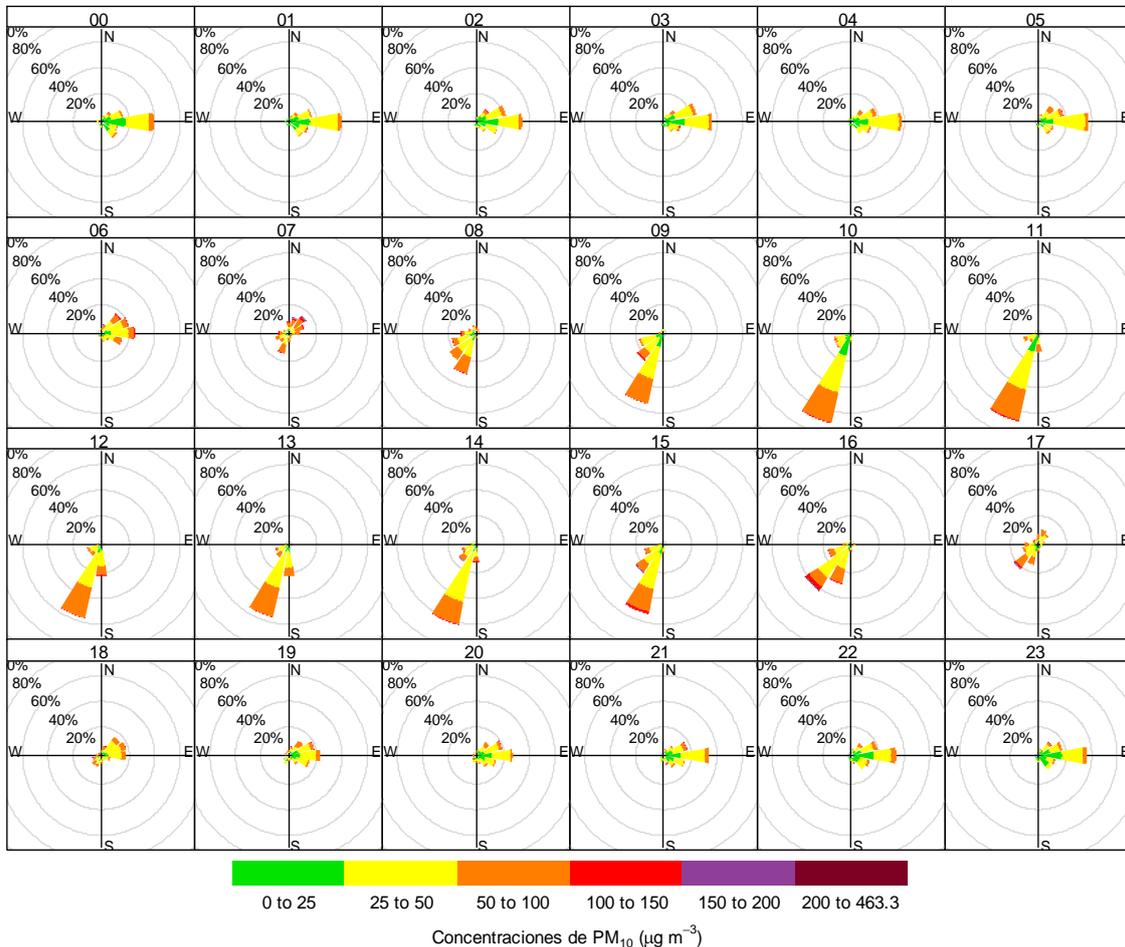


**Figura 8.3.** Concentraciones de 24 horas de PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019.

En la Figura 8.4 se muestran las rosas de concentración por horas para el PM<sub>10</sub>, desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas, correspondientes al periodo de evaluación enero – octubre de 2019. Se aprecia que entre las 13:00 horas y 16:00 horas se alcanzó el rango de concentración de PM<sub>10</sub> más alto de 200 µg/m<sup>3</sup> – 463,3 µg/m<sup>3</sup> (paleta marrón) proveniente del suroeste (SW) y sur-suroeste (SSW), sin embargo, entre las 6:00 horas y 7:00 horas las concentraciones alcanzaron valores entre 100 µg/m<sup>3</sup> a 200 µg/m<sup>3</sup> que

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

provinieron de la dirección este (E) y este-noreste (ENE), donde está ubicado la UM Cuajone.



**Figura 8.4.** Rosas de concentración horaria de PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia CA-TO-01, desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019.

Nota: Las paletas indican la dirección de donde provienen las concentraciones de PM<sub>10</sub>

En la Figura 8.5 se grafican las rosas de concentración por estaciones del año para el PM<sub>10</sub>, correspondientes al periodo de evaluación enero – octubre de 2019. En la Figura 8.5a se presenta la rosa de concentración de la estación verano, donde se aprecia que las concentraciones entre 100 µg/m<sup>3</sup> – 200 µg/m<sup>3</sup> (paleta roja y morada), provienen del suroeste (SW) y sur-suroeste (SSW); del este (E) concentraciones entre 50 µg/ - 100 µg/m<sup>3</sup> (paleta naranja)

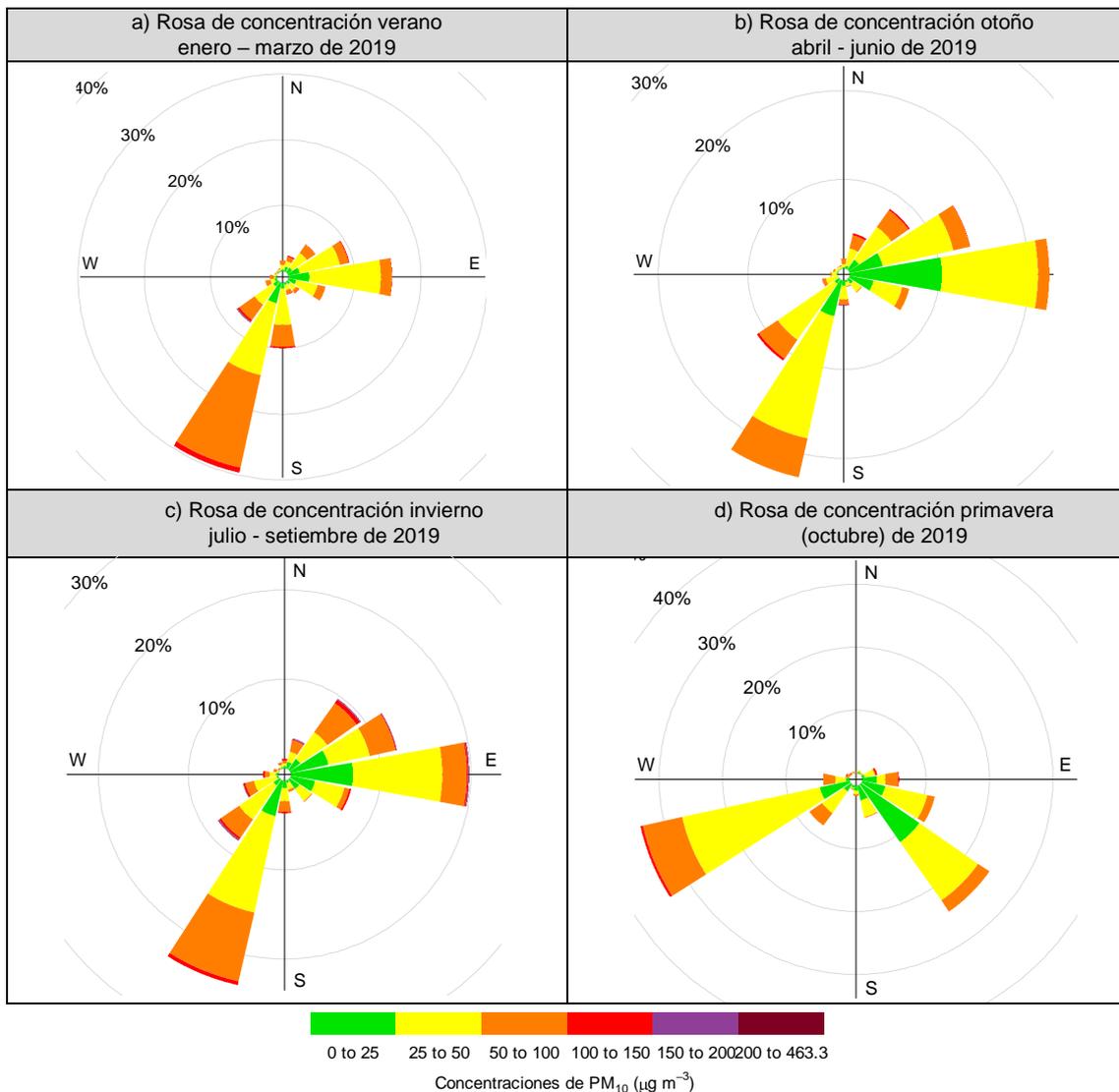
En la Figura 8.5b, se presenta la rosa de concentración de la estación otoño, donde se aprecia que las concentraciones entre 50 µg/m<sup>3</sup> – 200 µg/m<sup>3</sup> (paleta naranja, rojo y morada) provienen del sur (S) y sur-suroeste (SSW); del este (E) concentraciones entre 25 µg/m<sup>3</sup> - 100 µg/m<sup>3</sup>. En la Figura 8.5c, se presenta la rosa de concentración de la estación de invierno, donde se aprecia que las concentraciones entre 200 µg/m<sup>3</sup> – 463,3 µg/m<sup>3</sup> (paleta marrón) provienen del suroeste (SW), oeste-suroeste (WSW) y este (E), en esta última dirección se encuentra la UM Cuajone.

En la Figura 8.5d, se presenta la rosa de concentración de la estación de primavera, donde se aprecia que las concentraciones entre 100 µg/m<sup>3</sup> – 150 µg/m<sup>3</sup> (paleta roja) provienen del oeste-suroeste (WSW), este (E) y este-noreste (ENE) en estas dos últimas direcciones se

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

encuentra la UM Cuajone Es preciso indicar que, para la generación de la rosa de concentración de la estación primavera solo se tenían disponibles los datos de octubre.

Si bien se alcanzaron los rangos de concentración más altos (paleta marrón y morada) en las tres primeras estaciones del año, las concentraciones que predominaron durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019, estuvieron en el rango de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (paleta amarilla y anaranjada).

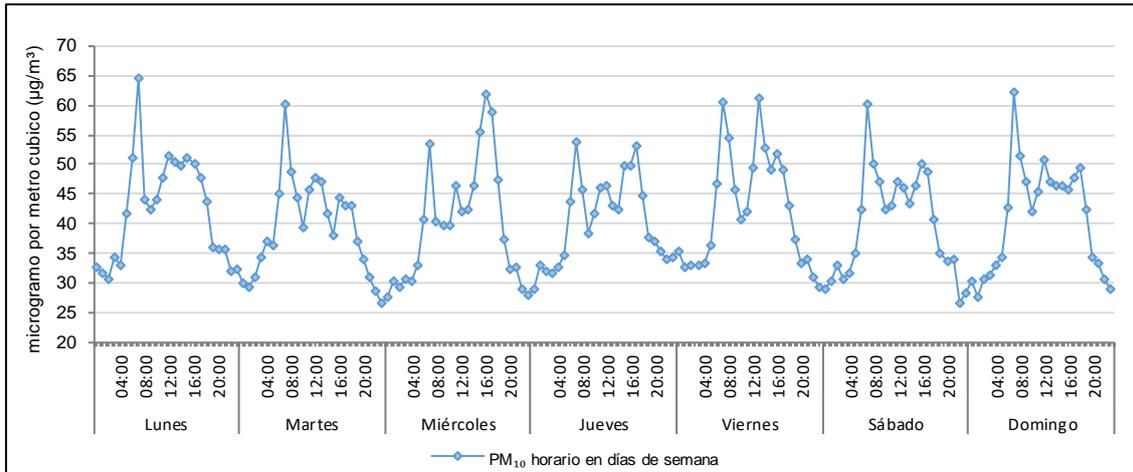


**Figura 8.5.** Representación gráfica de las rosas de concentración de  $\text{PM}_{10}$  en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019; a) en la estación verano, b) estación otoño, c) estación invierno y d) estación primavera.

Nota: Las paletas indican la dirección de donde provienen las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$

La Figura 8.6 muestra la evolución semanal dividida por días de la semana y a su vez en horas del día de  $\text{PM}_{10}$  en la estación de vigilancia CA-SB-01 de enero a octubre de 2019; se observa que todos los días se mantiene el mismo comportamiento con concentraciones que varían entre 26,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 64,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones más bajas se registraron en las horas nocturnas y las concentraciones más altas en horas de la mañana, además, los miércoles, jueves y viernes; se registraron altos valores también en horas de la tarde.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 8.6.** Concentraciones horarias promediadas en los días de semana, en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante el periodo de evaluación enero – octubre de 2019.

### 8.3. Concentraciones de metales en material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

El material particulado PM<sub>10</sub>, se caracterizó químicamente, es así que, se han reportado los metales<sup>4</sup>: aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), berilio (Be), bismuto (Bi), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sn), estroncio (Sr), fósforo (P), hierro (Fe), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), plomo (Pb), potasio (K), selenio (Se), silicio (Si), sodio (Na), talio (Tl), titanio (Ti), uranio (U), vanadio (V) y zinc (Zn).

Los resultados de las concentraciones de los metales Sb, As, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Se, Ag, Sr, Sn, Ti, V y Zn no excedieron los valores establecidos en la norma canadiense de referencia, en los meses de febrero y octubre de 2019, esta información se pueden cotejar en las Tablas 8.2. y 8.3.

**Tabla 8.2.** Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> a 10° C y 1 atmósfera, en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, en febrero de 2019.

Metales en PM <sub>10</sub>		Unidad	Concentración de metales – Volumen a 10 °C			AAQC-Ontario (µg/m <sup>3</sup> )
			CA-TO-01			
			11/02/2019	12/02/2019	13/02/2019	
Plata	Ag	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	1
Aluminio	Al	µg/m <sup>3</sup>	0,25583	0,09587	0,25023	-
Arsénico	As	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,3
Boro	B	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	120
Bario	Ba	µg/m <sup>3</sup>	0,00326	0,00162	0,00417	-
Berilio	Be	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,01
Bismuto	Bi	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	-
Calcio	Ca	µg/m <sup>3</sup>	0,43018	0,33718	0,47710	-
Cadmio	Cd	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,025
Cobalto	Co	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,1
Cromo	Cr	µg/m <sup>3</sup>	0,05459	0,07312	0,05088	0,5
Cobre	Cu	µg/m <sup>3</sup>	0,02852	0,01544	0,02085	50

<sup>4</sup> Para fines del presente informe tanto los metales como metaloides se les denominarán metales.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Metales en PM <sub>10</sub>		Unidad	Concentración de metales – Volumen a 10 °C			AAQC-Ontario (µg/m <sup>3</sup> )
			CA-TO-01			
			11/02/2019	12/02/2019	13/02/2019	
Hierro	Fe	µg/m <sup>3</sup>	0,57438	0,51918	0,53966	4
Potasio	K	µg/m <sup>3</sup>	0,13932	0,08612	0,14096	-
Litio	Li	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	-
Magnesio	Mg	µg/m <sup>3</sup>	0,12465	0,05200	0,14430	-
Manganeso	Mn	µg/m <sup>3</sup>	0,00978	0,00487	0,00918	0,2
Mercurio	Hg	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	2
Molibdeno	Mo	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	120
Sodio	Na	µg/m <sup>3</sup>	0,15561	0,06581	0,22771	-
Níquel	Ni	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,1
Fosforo	P	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	-
Plomo	Pb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,5
Antimonio	Sb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	25
Selenio	Se	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	10
Silicio	Si	µg/m <sup>3</sup>	1,21639	0,83198	1,32287	-
Estaño	Sn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	10
Estroncio	Sr	µg/m <sup>3</sup>	0,00244	0,00162	0,00292	120
Titanio	Ti	µg/m <sup>3</sup>	0,01141	0,00325	0,00918	120
Talio	Tl	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	-
Vanadio	V	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	2
Zinc	Zn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	120

&lt;LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

**Tabla 8.3.** Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> a 10° C y 1 atmósfera, en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, en octubre de 2019.

Metales en PM <sub>10</sub>		Unidad	Concentración de metales - Volumen a 10 °C						AAQC-Ontario (µg/m <sup>3</sup> )
			CA-SB-02						
			14/10/2019	15/10/2019	16/10/2019	17/10/2019	18/10/2019	19/10/2019	
Plata	Ag	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,001	1
Aluminio	Al	µg/m <sup>3</sup>	0,670	0,296	0,545	0,544	0,434	0,366	-
Arsénico	As	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,3
Boro	B	µg/m <sup>3</sup>	0,033	0,033	0,044	0,077	0,028	0,032	120
Bario	Ba	µg/m <sup>3</sup>	0,013	0,009	0,012	0,011	0,010	0,009	-
Berilio	Be	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,01
Bismuto	Bi	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Calcio	Ca	µg/m <sup>3</sup>	1,500	0,831	1,344	1,419	1,174	1,206	-
Cadmio	Cd	µg/m <sup>3</sup>	0,011	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,025
Cobalto	Co	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,1
Cromo	Cr	µg/m <sup>3</sup>	<LC	0,006	0,004	<LC	0,007	0,006	0,5
Cobre	Cu	µg/m <sup>3</sup>	0,062	0,019	0,030	0,017	0,019	0,028	50
Hierro	Fe	µg/m <sup>3</sup>	0,832	0,384	0,590	0,538	0,453	0,430	4
Potasio	K	µg/m <sup>3</sup>	0,456	0,195	0,318	0,336	0,250	0,282	-
Litio	Li	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Magnesio	Mg	µg/m <sup>3</sup>	0,428	0,191	0,371	0,395	0,313	0,321	-
Manganeso	Mn	µg/m <sup>3</sup>	0,048	0,018	0,027	0,022	0,018	0,020	0,2
Mercurio	Hg	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	2
Molibdeno	Mo	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	120
Sodio	Na	µg/m <sup>3</sup>	0,465	0,387	0,657	0,980	0,751	0,903	-
Níquel	Ni	µg/m <sup>3</sup>	0,005	<LC	<LC	0,005	<LC	<LC	0,1
Fosforo	P	µg/m <sup>3</sup>	0,046	<LC	0,040	0,042	0,035	<LC	-
Plomo	Pb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	0,016	<LC	<LC	0,5

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

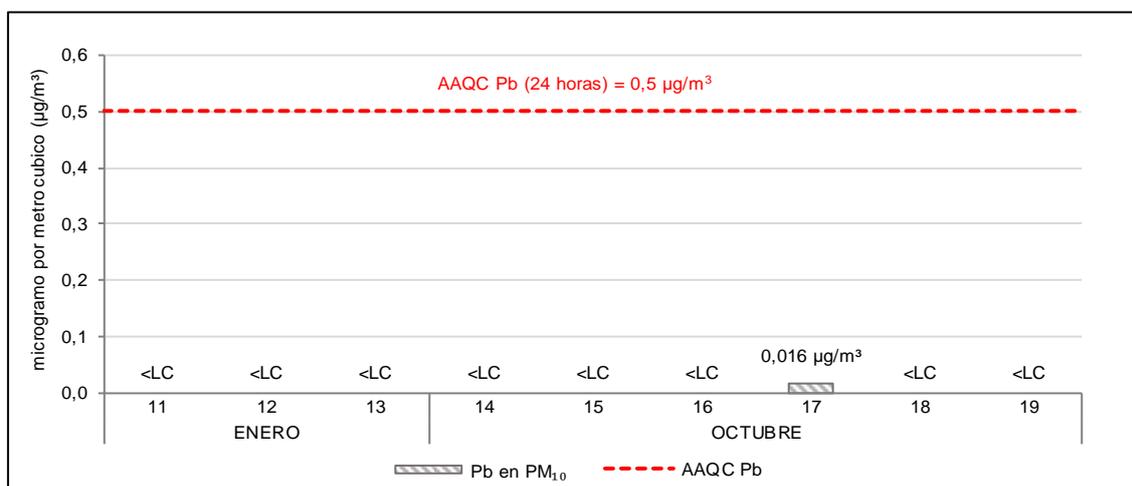
Metales en PM <sub>10</sub>		Unidad	Concentración de metales - Volumen a 10 °C						AAQC-Ontario (µg/m <sup>3</sup> )
			CA-SB-02						
			14/10/2019	15/10/2019	16/10/2019	17/10/2019	18/10/2019	19/10/2019	
Antimonio	Sb	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	25
Selenio	Se	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	10
Silicio	Si	µg/m <sup>3</sup>	1,553	0,857	1,358	1,417	1,213	0,947	-
Estaño	Sn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	10
Estroncio	Sr	µg/m <sup>3</sup>	0,012	0,005	0,010	0,011	0,008	0,008	120
Titanio	Ti	µg/m <sup>3</sup>	0,024	0,011	0,020	0,020	0,016	0,014	120
Talio	Tl	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	-
Vanadio	V	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	2
Zinc	Zn	µg/m <sup>3</sup>	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	120

<LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

#### 8.4. Concentraciones de plomo en material particulado menor a 10 micras (Pb en PM<sub>10</sub>)

Los ECA para aire establece el nivel de concentración de Pb en PM<sub>10</sub>, para un periodo mensual y anual pero no contempla un valor para un periodo de 24 horas; por lo que, el resultado de la concentración de plomo fue comparado de manera referencial con la norma canadiense *Air Ambient Quality Criteria 2012* (AAQC).

En la Figura 8.7 se presentan los resultados de la concentración de 24 horas de plomo en PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire CA-TO-01, donde se observa que no excedieron el valor de Pb en PM<sub>10</sub> de 0,5 µg/m<sup>3</sup> del estándar canadiense referencial, en los días monitoreados de febrero y octubre de 2019.

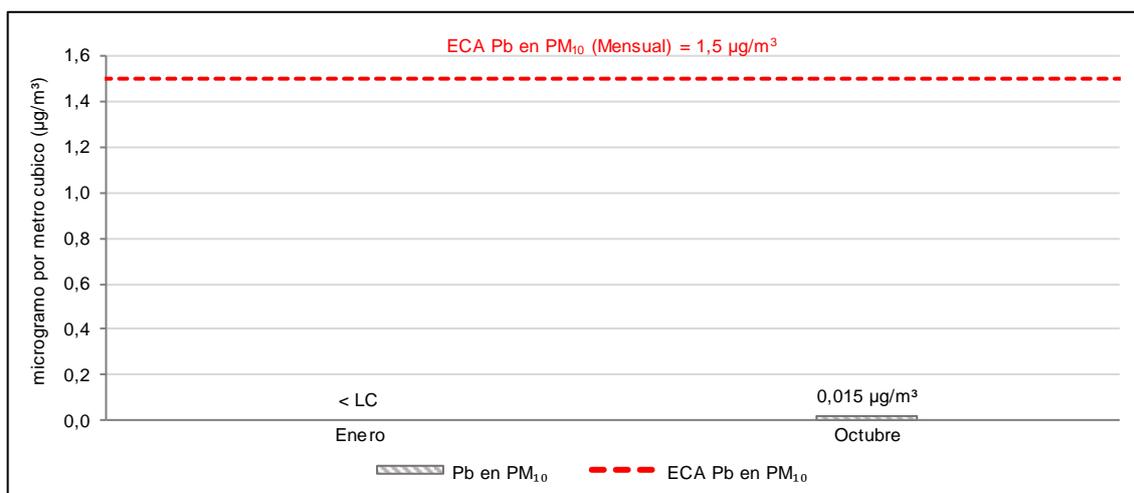


**Figura 8.7.** Concentraciones de plomo en material particulado con diámetro menor a 10 micras (Pb en PM<sub>10</sub>) de 24 horas en la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire CA-TO-01, de febrero y octubre de 2019 comparadas de manera referencial con la normativa canadiense AAQC-2012.

< LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio.

En la Figura 8.8 se presenta las concentraciones mensuales de plomo en PM<sub>10</sub> (a 25°C y 760 mmHg) en la estación de vigilancia ambiental de la calidad del aire CA-TO-01, donde se observa que no excedieron el valor referencial establecido en los ECA para aire de 1,5 µg/m<sup>3</sup> en ninguno de los meses monitoreados. Cabe precisar que las concentraciones mensuales fueron calculadas con los datos disponibles. El detalle de las concentraciones de metales se presenta en el Anexo 2 (Tabla 16 y 17. Concentración de 24 horas y mensual de plomo en PM<sub>10</sub> a 25°C).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 8.8.** Comportamiento de las concentraciones mensuales de plomo en PM<sub>10</sub> en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01 durante el 2019.

< LC: debajo del límite de cuantificación del método de ensayo de laboratorio

## 9. CONCLUSIONES

- Durante el periodo de vigilancia ambiental, los vientos en la temporada de verano (enero-marzo), otoño (abril-junio) e invierno (julio-setiembre) del 2019 tuvieron similares características, fueron de tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves, procedentes predominantemente del sur-suroeste (SSW) y este (E), esta última dirección es donde está ubicado la UM Cuajone y principalmente se presentó en horas de la madrugada y noche (00:00 h a 7:00 h y 19:00 h a 23:00 h); en la temporada de primavera (octubre) se presentó vientos de tipo ventolina, brisas ligeras y brisas suaves que provenían del oeste-suroeste (WSW) y vientos ventolina y brisas ligeras del noreste (NE).
- Las concentraciones de 24 horas de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante el periodo de vigilancia ambiental de enero a octubre de 2019, no excedieron el valor de los ECA para aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.
- De enero a octubre de 2019, la evolución horaria de material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), promediadas en los días de la semana, presentó un comportamiento similar de lunes a domingo cuyas concentraciones oscilaron entre 26,7 µg/m<sup>3</sup> y 64,6 µg/m<sup>3</sup>; los incrementos del PM<sub>10</sub> se presentaron en horas de la mañana y tarde.
- Las rosas de concentraciones de PM<sub>10</sub> de enero a octubre de 2019, evidencian que los altos valores de 200 µg/m<sup>3</sup> – 463,3 µg/m<sup>3</sup> ocurrieron entre las 13:00 horas y 16:00 horas y provinieron del suroeste (SW) y sur-suroeste (SSW); entre las 6:00 horas y 7:00 horas alcanzaron valores de 100 µg/m<sup>3</sup> a 200 µg/m<sup>3</sup> que provinieron de la dirección este (E) y este-noreste (ENE), donde está ubicado la UM Cuajone.
- Las concentraciones de los metales en material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>): plata, aluminio, arsénico, boro, berilio, bario, bismuto, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, antimonio, selenio, silicio, estaño, estroncio, titanio, talio, uranio, vanadio, zinc; registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante los días de monitoreo de febrero y octubre de 2019, no excedieron los valores establecidos en la norma de referencia canadiense Air Ambient Quality Criteria 2012 (AAQC).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Las concentraciones de 24 horas de plomo en PM<sub>10</sub>, registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante los días de monitoreo de febrero y octubre de 2019, no excedieron el valor establecido en la normativa referencial canadiense Air Ambient Quality Criteria 2012 (AAQC) de 0,5 µg/m<sup>3</sup>.
- Las concentraciones mensuales de plomo en PM<sub>10</sub>, registradas en la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01, durante los días de monitoreo de febrero y octubre de 2019, no excedieron el valor establecido en los ECA para aire de 1,5 µg/m<sup>3</sup>, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

## 10. RECOMENDACIONES

- Informar para conocimiento y fines pertinentes a los siguientes:
  - Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas del OEFA.
  - Oficina Desconcentrada de Moquegua.
  - Municipalidad Distrital de Torata
- Continuar con la vigilancia ambiental en ambiental de la calidad de aire en el Centro Poblado Torata Alta, distrito Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua.

## 11. ANEXOS

**Anexo 1:** Mapa de ubicación de la estación de vigilancia ambiental CA-TO-01

**Anexo 2:** Sistematización de resultados

**Anexo 3:** Certificados de calibración

**Anexo 4:** Informes de ensayo

**Anexo 5:** Cadenas de custodia

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

[LFAJARDO]

[RITORRES]



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección  
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**[ABRIOS]**

**[JGARCIA]**

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

**[DRAMOS]**



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 05761051"



05761051