



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-I01-056730

INFORME N° 00331-2019-OEFA/DEAM-STEC

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

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

JULIO ANDRES GONZALES ROSSEL
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Pesquería, Industria y Otros

ASUNTO : **Estudio especializado**
Identificación de fuentes de afectación de la calidad del aire en el ámbito de la zona industrial de Ventanilla y distrito Mi Perú, mediante el uso del modelo receptor

CUE : 2019-02-0013

CÓDIGO DE ACCIÓN : 007-1-2019-401, 008-2-2019-401, 001-3-2019-401, 002-4-2019-401, 002-5-2019-401, 004-6-2019-401, 001-7-2019-401, 001-8-2019-401, 003-9-2019-411

REFERENCIA : Planefa 2019

FECHA : Lima, 13 de diciembre de 2019

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Zona Industrial de Ventanilla y distrito Mi Perú, provincia Constitucional del Callao.
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Consorcio Matrix Technology S.A.C, Metalexacto S.R.L., Sol del Perú Alloys S.A.C., Fábrica Nacional de Acumuladores ETNA S.A., Envases Ventanilla S.A., Sulfato de Cobre del Perú S.A.C., IC – Industrial S.R.L., Sulfato de Cobre S.A., Industrias Nacol S.A.C. (Ex Corporación Ferrol S.A.C.), Envasadora San Gabriel SRL, Intradevco Industrial S.A., Sociedad Química Alemana S.A., ConfiPerú S.A., Corporación Jeshua S.A.C., Comercial Alimenticia S.A.C., Comercial Líder S.A., Grupo Sermet S.A.C., Poliuteranos S.A., Hidroquímica Industrial S.A., Hidroquímica Industrial S.A., Multimallas S.R.L., Cogorno S.A., Badinoti Perú S.A., Proyectos y Reparaciones Navales E.I.R.L., Cía. Minera Las Camelias, ROTESA S.A.
c.	Problemática identificada	Presunta contaminación del aire debido a las emisiones de la zona industrial de Ventanilla
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019 / POI 2019 y la Vigilancia Ambiental de calidad de aire realizada en el ámbito de la Zona Industrial de Ventanilla (distrito Ventanilla) y del distrito Mi Perú, localizados en la provincia Constitucional del Callao.
e.	Tipo de evaluación	Estudio especializado
f.	Periodo de ejecución	Del 25 de enero al 26 de setiembre 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	Julio Andrés Gonzales Rossel	Ingeniero Ambiental	Gabinete
3	Mariella Rossana Atala Alvarez	Ingeniero Ambiental	Gabinete/campo
4	Cindy Aurora Alfaro Goicochea	Bachiller en Ciencias - Ingeniería Ambiental	Gabinete/campo

2. INTRODUCCION

La zona industrial de Ventanilla-Mi Perú, ubicada en la Provincia Constitucional del Callao, alberga a 71 establecimientos que realizan diversas actividades económicas, como fabricación de insumos químicos, metalmecánicas, insumos de limpieza, hidrocarburos residuales, alimentos y fundiciones de metales no ferrosos, entre otros. En los alrededores de esta zona industrial, se encuentran asentamientos humanos colindantes como Virgen de Guadalupe, Casuarinas y 7 de junio.

Existe una problemática ambiental asociada a la presencia de contaminantes presuntamente emitidos por las actividades desarrolladas en esa zona, dicha problemática ambiental ha conllevado que diferentes instituciones¹ realicen monitoreos de la calidad de aire, cuyos resultados coinciden en la presencia de altas concentraciones de material particulado, cadmio y plomo.

Al respecto, las actividades desarrolladas en la zona industrial, debido a su naturaleza, podrían considerarse potenciales fuentes contaminantes de la calidad del aire. No obstante, no es posible identificar directamente las fuentes de origen de tales contaminantes debido a que en dicha zona se realizan diversos tipos de actividades, además de la posible contribución natural a la problemática ambiental en cuestión. En ese contexto, resulta necesario el desarrollo de una metodología de análisis de datos que permita explicar las posibles fuentes de origen de tales concentraciones.

Según Henry (2005), mediante los modelos de aporte de fuentes es posible cuantificar la contribución de diferentes fuentes a concentraciones atmosféricas de material particulado. Dentro de estos modelos, se encuentran los métodos basados en la evaluación estadística de datos de características químicas y físicas del material particulado y gases medidas en la fuente o en el receptor, para identificar o cuantificar la contribución de una fuente en un receptor (Behrentz, Sánchez y Rivera, 2009).

Al respecto, el modelo Positive Matrix Factorization (PMF) es considerado una alternativa para la determinación de fuentes de material particulado ya que es una técnica que permite resolver el problema de modelización del receptor utilizando mínimos cuadros limitados y ponderados, asumiendo que existen una cantidad determinada de fuentes o regiones de fuentes, denominados factores, los cuales permiten explicar de una manera más sencilla la realidad (Pindado, Pérez y García, 2003).

Por tanto, sería posible identificar factores que representen la asociación de variables (parámetros ambientales) en los datos de calidad de aire, los cuales corresponderían a las posibles fuentes de material particulado en el área evaluada. Además, es importante resaltar que dicha técnica estadística cuenta con un soporte matemático riguroso y una implementación de pocos supuestos o condiciones, de modo tal que permite una sencilla interpretación de los resultados.

¹ Informe N° 037-2016-GRC/DIRESA/DESA/DEPAYSO/VCAR de Dirección Regional de Salud (Diresa) e Informe N.º 01-2016-CAR-GTRMPV Grupo Técnico Regional para la prevención de la contaminación por metales pesados en Ventanilla

En ese sentido, en el presente informe se hace uso del Modelo Factorial de Matriz Positiva (PMF) empleando los datos de material particulado generados durante la vigilancia de calidad de aire en la zona industrial de Ventanilla - Mi Perú, de la Provincia Constitucional del Callao, el cual fue realizado en el periodo del 25 de enero al 26 de setiembre de 2019 por la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, OEFA).

3. OBJETIVO

Identificar las principales fuentes de aporte de emisiones en la calidad del aire en el ámbito de la Zona Industrial de Ventanilla - Mi Perú a través de la determinación de factores de metales y iones en datos de PM₁₀ mediante la aplicación del modelo factorial de matriz positiva (PMF) 5.0.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de Ventanilla está situado al norte de la Provincia Constitucional del Callao, ocupando aproximadamente el 51,2 % del territorio de la región Callao con una extensión de 73,52 km².

El distrito Mi Perú se encuentra ubicado en el contexto interdistrital conformado por los distritos de Lima Norte y la Provincia Constitucional del Callao, de modo que, su posición geográfica en el territorio le permite compartir un escenario físico ambiental con el distrito Puente Piedra (al norte y al este) y el distrito Ventanilla (al sur y al oeste) quienes constituyen sus territorios fronterizos colindantes². En ese contexto, la zona industrial del distrito Ventanilla colinda con el distrito Mi Perú, tal como se observa en el mapa de ubicación de la zona industrial de Ventanilla y distrito Mi Perú (Anexo 1).

En la zona Industrial de Ventanilla se encuentran las siguientes unidades fiscalizables por el OEFA:

- Fábrica Nacional de Acumuladores ETNA S.A.
- Sulfato de Cobre S.A. Sulcosa
- Sociedad Química Alemana S.A.
- Consorcio Matrix Technology S.A.C.
- Metalexacto S.R.L.
- Corporación Jeshua S.A.C
- Confiperú S.A.
- Sol del Perú Alloys S.A.C.
- Comercial Alimenticia S.A.C.
- Comercial Líder S.A.
- Envases Ventanilla S.A.
- Grupo Sermet S.A.C.
- Sulfato de Cobre del Perú S.A.C. – Sulcooper
- Poliuteranos S.A.
- IC – Industrial S.R.L.
- Hidroquímica Industrial S.A.
- Multimallas S.R.L.
- Industrias Nacol S.A.C. (Ex Corporación Ferrol S.A.C.)
- Cogorno S.A.
- Envasadora San Gabriel S.R.L.

² Resolución de Alcaldía N.º 733-2015/MDV-ALC, que aprueba el Plan de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Planefa-2016) de la Municipalidad Distrital de Ventanilla.

- Badinoti Perú S.A.
- Intradevco Industrial S.A.
- Proyectos y Reparaciones Navales E.I.R.L.
- Cía. Minera Las Camelias – Comicsa
- ROTESA S.A.

El estudio obtuvo los datos de 4 estaciones de calidad de aire, de las cuales 3 se encuentran a sotavento de la zona industrial (CA-VMP-1, CA-VMP-2 y CA-VMP-7) y 1 estación se encuentra a barlovento (CA-VMP-6).

5. METODOLOGÍA

Con la finalidad de realizar el modelamiento, se realizó un tratamiento estadístico previo, el cual consistió en un conjunto de procedimientos orientados a resolver, de forma satisfactoria, acontecimientos como datos perdidos, censurados (bajo el límite de cuantificación) e influyentes (Fernández, Palarea y Barceló, 2011).

La data analizada presentó datos perdidos (*missing data*) de resultados de cationes y aniones para algunos días de monitoreo, para lo cual se empleó la matriz de proximidad del método de «Bosques Aleatorios» (*Random Forest*) propuesto por Ho (1995).

En el caso de los datos censurados (datos por debajo del límite de detección del método de ensayo de los laboratorios), se identificó que en el caso del berilio, bismuto, cobalto, mercurio, selenio y talio presentaron el 100% de datos censurados, por lo que fueron eliminados; para el resto de datos se optó por reemplazar dichos valores con la mitad del límite de detección (LD) correspondiente. Este método está basado en la hipótesis donde se menciona que la data que se encuentra bajo el límite de detección sigue una distribución uniforme (Baccarelli, Pfeiffer, Consonni, Pesatori, Bonzini, Patterson, Bertazzi y Landi, 2005).

Para las incertidumbres no estimadas (NE) por el laboratorio, debido a que presentan valores de masa debajo del límite de cuantificación del método de ensayo, se estimaron través de la Eurachem/CITAC Guide CG 4 «*Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement 2012*» (Ellison y Williams, 2012) con ayuda del programa informático *RStudio* versión 1.2.1578.

Es importante precisar que, con la finalidad de no sumar doblemente las masas de algunos elementos en el modelo, se retiró de la base de datos a las variables Ca, Mg, K y Na, manteniendo los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

Para establecer la pertinencia de la aplicación del análisis, se debe expresar la información con un número menor de variables y que estas se encuentren correlacionadas. En este caso se empleó el Índice de Kaise Meyer Olkin (K M O).

El índice K M O mide la correlación y a la vez la correlación parcial entre dos variables (Véliz, 2015). Según este análisis se debe considerar lo siguiente:

- Si $K M O < 0,5$ la aplicación del análisis es inadecuada.
- Si $0,5 \leq K M O < 0,7$ se acepta medianamente la aplicación.
- Si $K M O \geq 0,7$ se acepta la conveniencia de la aplicación.

Bajo estas consideraciones, se analizaron los datos tratados de cada punto de monitoreo y se determinaron los grupos de metales e iones en PM_{10} que tuvieran las mayores correlaciones y así poder aplicarlos en el modelo. En la Tabla 5.1 se muestran los grupos

de parámetros considerados para cada punto de monitoreo, mayores detalles se presentan en el Anexo 2.

Tabla 5.1. Parámetros considerados para el análisis del modelo PMF luego del tratamiento estadístico

Punto de monitoreo	CA-VMP-1	CA-VMP-2	CA-VMP-6	CA-VMP-7
Grupos de metales e iones en PM ₁₀ considerados	PM ₁₀ , Al, Ba, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ .	PM ₁₀ , Al, Ba, B, Cd, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ .	PM ₁₀ , Al, As, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sr, Ti, V, Zn, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ .	PM ₁₀ , Al, Ba, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn, Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ .
Índice K M O	0,7944	0,8186	0,8005	0,8870

Modelo de Factorial de la Matriz Positiva (PMF)

El modelo receptor permite determinar el aporte de fuentes de emisión a la calidad del aire basado en la medición de material particulado en el ambiente (receptor). De acuerdo con Sánchez-Ccoyllo y Ordóñez (2015), este modelo puede aplicarse para investigar las fuentes de partículas en el aire, con la finalidad de generar estrategias eficaces de gestión de la calidad del aire.

Las mediciones de la composición química del material particulado del monitoreo ambiental se pueden representar como una matriz X, de dimensión «n x m», donde «n» es el número de muestras (de 24 horas) y «m» es el número de especies químicas cuya concentración o masa se midió. En este caso el modelo receptor se emplea para resolver o encontrar las matrices G y F que permiten introducir la siguiente representación de la matriz X:

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad (5.1)$$

Donde x_{ij} es la concentración del j-ésimo metal en la muestra i; g_{ik} es el aporte en masa de la k-ésima fuente a la masa total de la muestra i; f_{kj} , es la fracción másica del j-ésimo compuesto en la k-ésima fuente; finalmente e_{ij} es el error del modelo, la cual depende de la especie química modelada (j), y del día (i) en que se hizo la muestra.

De forma general, el modelo receptor consiste en encontrar una combinación lineal de fuentes que mejor expliquen las observaciones «x», mediante una combinación lineal de contribuciones a estas fuentes.

En específico, para este estudio se empleó la técnica de factorización de matriz positiva (PMF, por sus siglas en inglés), la cual fue desarrollada por Paatero y Tapper (1994) y explicado al detalle por Paatero (1997).

El modelo de referencia empleado es el PMF 5.0 desarrollado por la USEPA (2014) y se encuentra basada en la siguiente ecuación:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 \quad (5.2)$$

Donde Q es la función a minimizar, $x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}$ representa los residuos, que es la diferencia entre las cantidades modeladas y reales, u_{ij} es la incertidumbre asociada a cada

dato presente en x_{ij} ; m son todas las variables evaluadas y n son las muestras de 24 horas tomadas en cada punto de monitoreo.

Todos los elementos presentes en las matrices como las contribuciones y las fracciones másicas o perfiles (g_{ik} y f_{kj} respectivamente) son positivos, es decir, se trabaja con una parte limitada de los mínimos cuadrados. Esto permite que los perfiles de fuentes y las contribuciones de las mismas contribuyan a que la solución sea físicamente realista (Paatero y Tapper, 1994).

Para ejecutar el modelo PMF se necesitan dos grupos de datos de entrada diferentes: uno que contenga las concentraciones de todas las especies utilizadas en el modelo y otro con las incertidumbres asociadas a dichas concentraciones. El formato de estos archivos debe presentarse como hojas de Excel o como archivo de texto delimitado.

En 2003, los autores Paatero y Hopke descubrieron que la inclusión de todas las especies en el modelo, podría degradar la solución de este. Mediante el estudio de la relación señal/ruido se puede determinar qué especies formarán parte del modelo. El programa permite categorizar las variables de entrada en tres grupos diferentes:

- Strong (Fuerte): Variables que tienen una contribución importante en el modelo.
- Weak (Débil): Variables cuya incertidumbre se incrementará 3 veces.
- Bad (Malo): Variables que no formarán parte del modelo, por tener una relación señal/ruido baja, o por presentar una elevada incertidumbre.

Antes de empezar a desarrollar el modelo, es necesario especificar el número de factores a resolver, que para muchos estudios ambientales está comprendido entre 3 y 17, y definir el número de puntos de inicio que realizará el modelo para obtener una solución. Estos puntos de inicio son elegidos al azar, siendo 5 el mínimo valor, con el fin de obtener una solución que se corresponda con un mínimo total de la suma de cuadrados Q . Para este análisis el número de factores usado como criterio para los datos de entrada en el modelo fue de 6, de acuerdo a la recomendación hecha por la Guía del Usuario del modelo factorial de matriz positiva (PMF) 5.0, elaborado por la EPA (2014).

5.2. Ubicación de las estaciones de monitoreo

En la Tabla 5.2 se detalla la ubicación de las 4 estaciones de monitoreo de calidad de aire utilizadas para la obtención de datos.

Tabla 5.2. Estaciones de monitoreo de la vigilancia ambiental de la calidad del aire

N.º	Matriz	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Aire	CA-VMP-1	268824	8687841	106	Ubicado en la azotea de la vivienda del A.H. Virgen de Guadalupe, Mz. O Lote 11, distrito Mi Perú
2		CA-VMP-2	268570	8688061	80	Ubicado en la I.E.P. Arturo Padilla Espinoza, Av. Revolución N.º 2494, distrito Ventanilla
3		CA-VMP-6	268441	8686660	50	Ubicado en la azotea del Hospital de Ventanilla. Av. Pedro Beltrán S/N Urb. Satélite, distrito de Ventanilla.
4		CA-VMP-7	268736	8687699	86	Ubicado en la azotea de la vivienda del A.H. Virgen de Guadalupe – 2 ^{da} . etapa, Mz. Y Lt. 28, a 80 m aproximadamente del A.H. Las Casuarinas, distrito Mi Perú

6. RESULTADOS Y ANALÍISIS

En el presente informe, se analizaron 40 variables (32 metales y 8 iones), de las cuales, luego de aplicar las pruebas de validación y tratamiento estadístico, se consideraron un total de 27 variables (19 metales y 8 iones) para el punto CA-VMP-1, 26 variables (18 metales y 8 iones) para el punto CA-VMP-2, 22 variables (16 metales y 6 iones) para el punto CA-VMP-6; y finalmente, 25 variables (19 metales y 6 iones) para el punto CA-VMP-7. El detalle de las pruebas y tratamiento se presentan en el Anexo 2.

A continuación, se presentan las Figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 con los factores obtenidos por el análisis del PMF, los cuales representan los perfiles de origen y las estimaciones de sus contribuciones asociadas a las concentraciones medidas en la presente evaluación, para los puntos CA-VMP-1 CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7, respectivamente. Los datos y resultados completos de los elementos analizados en el modelo se encuentran en el Anexo 3.

Punto de monitoreo CA-VMP-1

De acuerdo a la Figura 6.1 se describen los siguientes factores obtenidos:

- A. **Factor 1:** Este perfil se caracteriza por la mayor presencia de los iones SO_4^{2-} , con un 41,71 %, NO_3^- con 35,23 %, K^+ con 32,68 % y Na^+ con 30,66 %. Seguidos de los metales Li y Sn, con 45,42 % y 31,66 %, respectivamente.
- B. **Factor 2:** El perfil descrito en este factor muestra que las mayores contribuciones provienen por parte de los metales B con un 46,62 %, Ti con 44,69 %, Al con un 39,81 %, de igual manera, se encuentran el Si (39,34 %), Fe (37,54 %), Mn (38,69 %), Sr (30,49 %), P (36,22 %) y los iones Cl^- (41,03 %) y Ca^{2+} (22,89 %).
- C. **Factor 3:** Se observa un perfil marcado por el Pb con un 53,24 %, seguido del Ni y Sb con 44,59 % y 41,15 % respectivamente. Asimismo, se tiene la presencia de V con 30,08 % y Zn con 30,97 %.
- D. **Factor 4:** En este caso se puede apreciar un perfil en el que resalta el NH_4^+ explicado en un 65,59 %, seguido del Cr con un 34,49 %, Ca^{2+} con 28,33 % y el Cl^- con un 27,72 %; así mismo, se encuentran los metales Ni (26,63 %) y V (27,25 %).
- E. **Factor 5:** Este perfil muestra las contribuciones por parte de los aniones NO_3^- y SO_4^{2-} con 46,69 % y 30,03 %, al igual que los cationes Mg^{2+} y K^+ con 67,58 % y 27,92 % respectivamente.
- F. **Factor 6:** El último perfil presenta al Cd y Cu con los mayores porcentajes de contribución, 45,28 % y 19,48 % respectivamente.

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

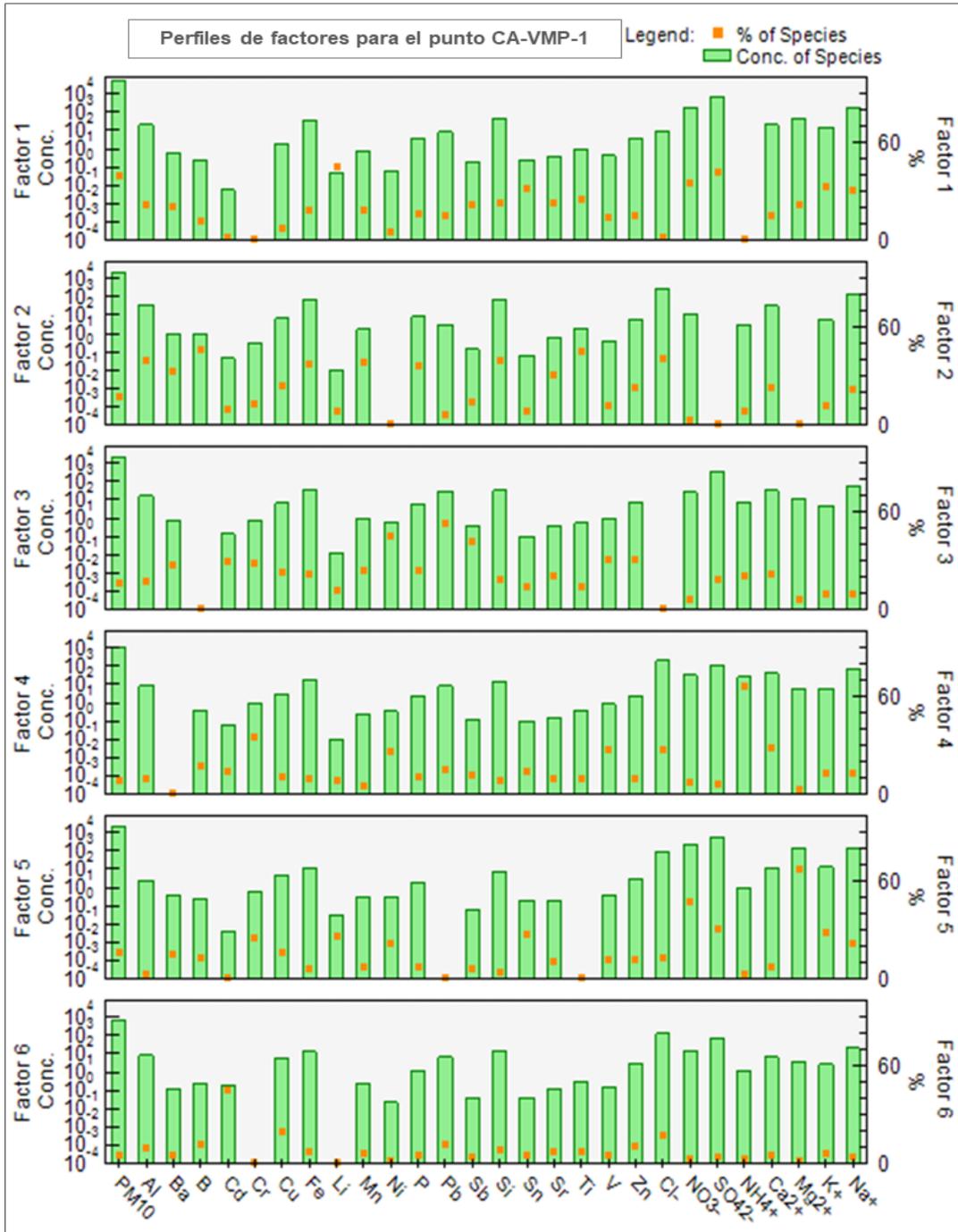


Figura 6.1. Perfiles de los factores obtenidos mediante el análisis de PMF para el punto CA-VMP-1, ubicado en el A.H. Virgen de Guadalupe - 2da etapa, Mz. O Lote 11.

Punto de monitoreo CA-VMP-2

De acuerdo a la Figura 6.2 se describen los siguientes factores obtenidos:

Factor 1: Este perfil está caracterizado por la presencia de los aniones NO_3^- y SO_4^{2-} con valores de 33,51 % y 26,91 %, seguido de los cationes Mg^{2+} (75,72 %) y K^+ (25,96 %), el metal B se presenta también con una contribución de 41,43 %.

Factor 2: Se observa un perfil marcado por el Pb y Sb en un 67,69 % y 47,42 % respectivamente, además de los metales Cu con 32,79 % y Zn con 33,53 %.

Factor 3: Este perfil presenta a los metales Ni, P, V, Zn, Mn y Ba con las mayores contribuciones de 72,71 %, 48,97 %, 47,76 %, 47,09 % y 46,27 % respectivamente. Seguidos del Ba (45,50 %), Al (42,86 %), Sr (41,35 %), Si (39,09 %) y el ión NH_4^+ (44,77 %).

Factor 4: Se aprecia un perfil en el que resaltan los iones Ca^{2+} explicado en un 59,21 %, NH_4^+ con 49,82 %, Cl⁻ con 44,62 % y Na^+ con 39,08 %.

Factor 5: El perfil descrito muestra que el Cd es el metal con la mayor contribución al factor (50,09 %), seguido del Sn con 25,17 %.

Factor 6: El último perfil muestra que los aniones NO_3^- y SO_4^{2-} tienen los mayores porcentajes de contribución, con un 35,89 % y 29,67 %, respectivamente; seguido de los cationes K^+ (23,31 %) y Na^+ (22,61 %).

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

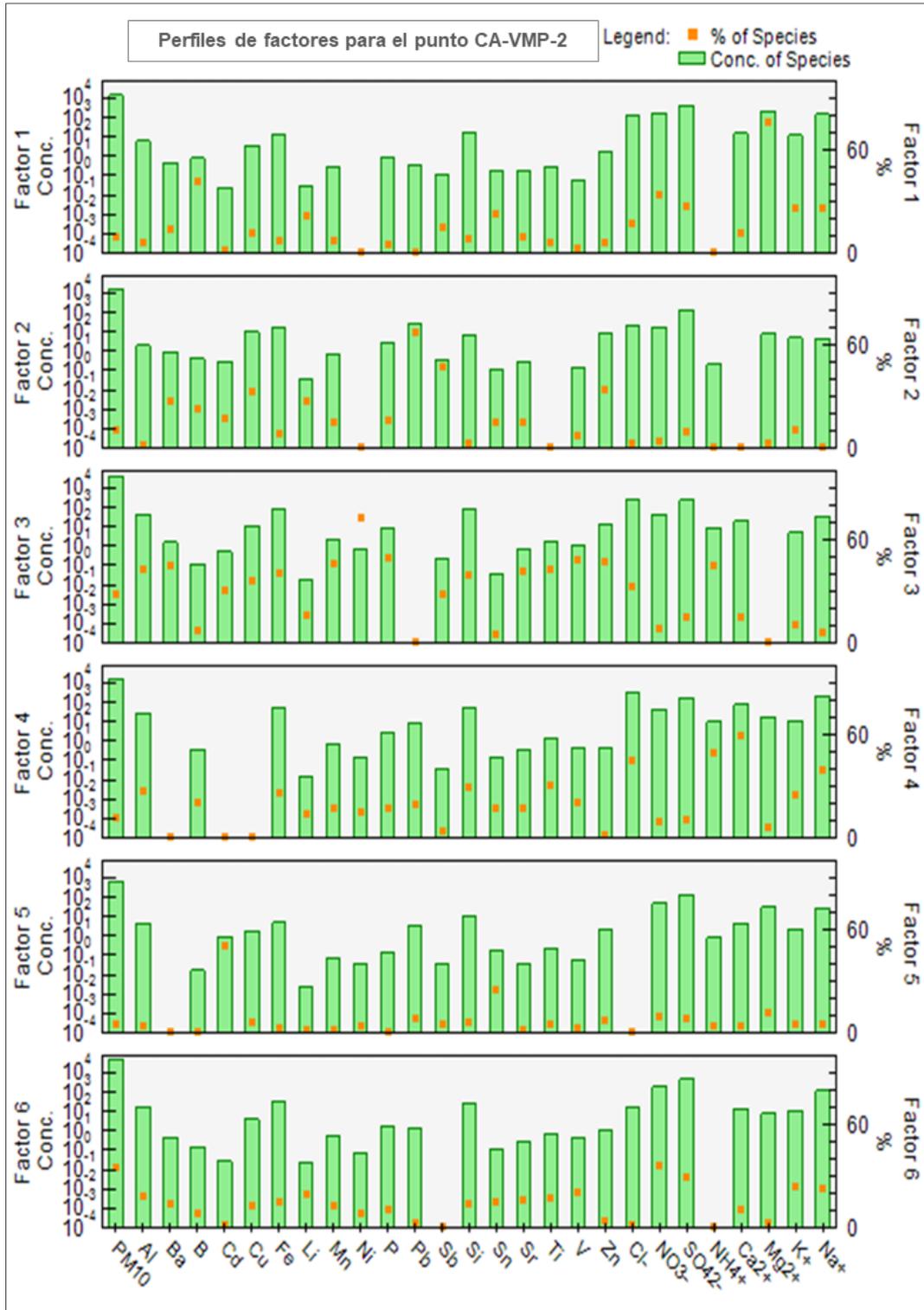


Figura 6.2. Perfiles de los factores obtenidos mediante el análisis de PMF para el punto CA-VMP-2, ubicado en la I.E.P Arturo Padilla Espinoza.

Punto de monitoreo CA-VMP-6

De acuerdo a la Figura 6.3 se describen los siguientes factores obtenidos:

Factor 1: Este perfil está caracterizado por la presencia de los metales Al, Ba, Fe, Mn, P, Sr y Ti con contribuciones de 26,71 %, 32,10 %, 25,86 %, 33,41 %, 32,29 %, 25,25 % y 25,32 % respectivamente, y los iones Cl⁻ (39,89 %), Ca²⁺ (43,42 %), K⁺ (22,46 %) y Na⁺ (24,62 %).

Factor 2: Presenta un perfil marcado por la presencia de Pb y Zn, con valores de 56,00 % y 24,13 %, respectivamente.

Factor 3: El perfil obtenido muestra la presencia de diversos metales, como el Sb (35,56 %), Ni (32,95 %), Si (30,77 %), Ti (30,07%), Al (24,49 %), V (23,01 %) y Fe (21,62 %).

Factor 4: Se aprecia un perfil en el que resaltan el Ni explicado en un 60,78 % y el V con un 49,41 %.

Factor 5: Este perfil presenta a los iones Mg²⁺, SO₄²⁻, Na⁺ y K⁺ con contribuciones de 34,27 %, 17,00 %, 16,51 % y 15,30 %.

Factor 6: El último perfil muestra la presencia de los metales Ba, Cd, As, Cu, Zn, Ti, Mn, Al, Sr y Fe con valores de 40,97 %, 35,81 %, 28,84 %, 26,10 %, 26,25 %, 26,15 %, 27,98 %, 24,49 %, 22,99 % y 22,35 % respectivamente. De igual manera, se presentan los iones SO₄²⁻ (40,35 %), Mg²⁺ (29,75 %) y K⁺ (24,71 %).

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

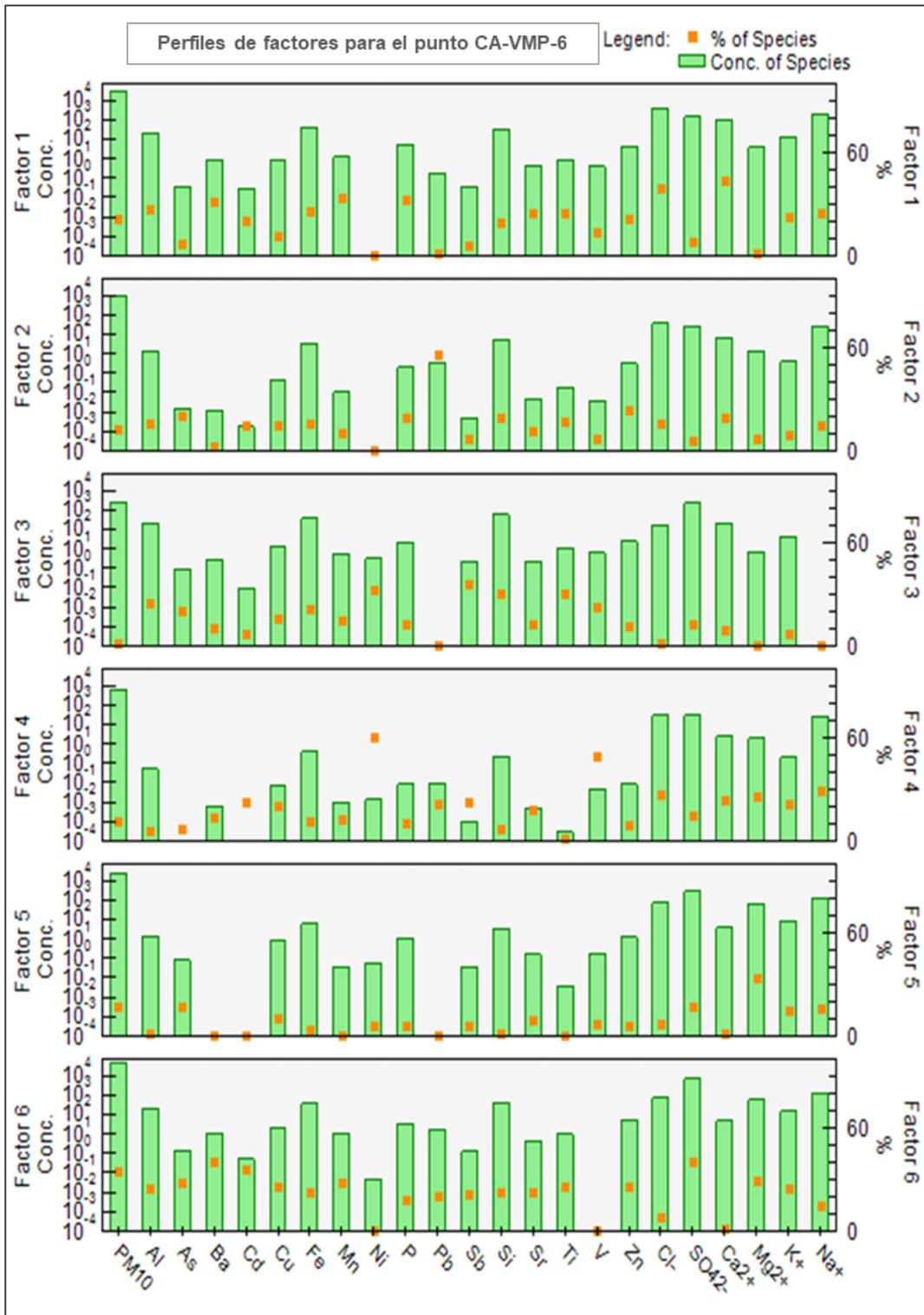


Figura 6.3. Perfiles de los factores obtenidos mediante el análisis de PMF para el punto CA-VMP-6, ubicado en el Hospital de Ventanilla.

Punto de monitoreo CA-VMP-7

De acuerdo a la Figura 6.4 se describen los siguientes factores obtenidos:

Factor 1: Este perfil presenta la contribución al factor de diferentes metales como el Al, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, P, Sb, Sr, Ti y Zn explicados en un 25,13 %, 29,56 %, 30,32 %, 30,00 %, 29,28 %, 34,95 %, 45,23 %, 26,65 %, 25,16 %, 24,31 % y 39,30 % respectivamente.

Factor 2: Se observa un perfil marcado por el Pb con un 57,18 %, seguido del Cd, Cr y Cu con valores de 27,01 %, 24,54 % y 17,76 % respectivamente.

Factor 3: El perfil descrito en este factor muestra que las mayores contribuciones provienen por parte de los metales Li (39,65 %), Si (32,06 %), Sn (30,43 %) Ti (29,74 %), Sr (25,46 %), B (26,06 %) y Al (24,79 %); de igual manera, se encuentran los iones NH_4^+ , K^+ y Na^+ con valores de 29,85 %, 31,75 % y 27,64 % respectivamente.

Factor 4: En este caso se puede apreciar un perfil en el que resalta el Sn, Li, Cd, B y Cr explicados en 27,54 %, 25,90 %, 24,34 %, 22,19 % y 20,72 % respectivamente; seguido de los aniones NH_4^+ con 23,55 % y Mg^{2+} con 28,96 %.

Factor 5: Este perfil se caracteriza por la mayor presencia de B, con un valor de 33,63 %. Seguido del Ba con 23,34 % y el ión Mg^{2+} con 49,20 %.

Factor 6: El último perfil muestra a los metales Al, Cr, Fe, Mn, Ni, Si, Ti y V con contribuciones de 31,75 %, 53,21 %, 30,85 %, 28,48 %, 60,10 %, 30,09 %, 32,49 % y 32,10 %. Asimismo, se tiene los iones Cl^- (57,62 %), Ca^{2+} (46,90 %) y Na^+ (30,71 %).

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

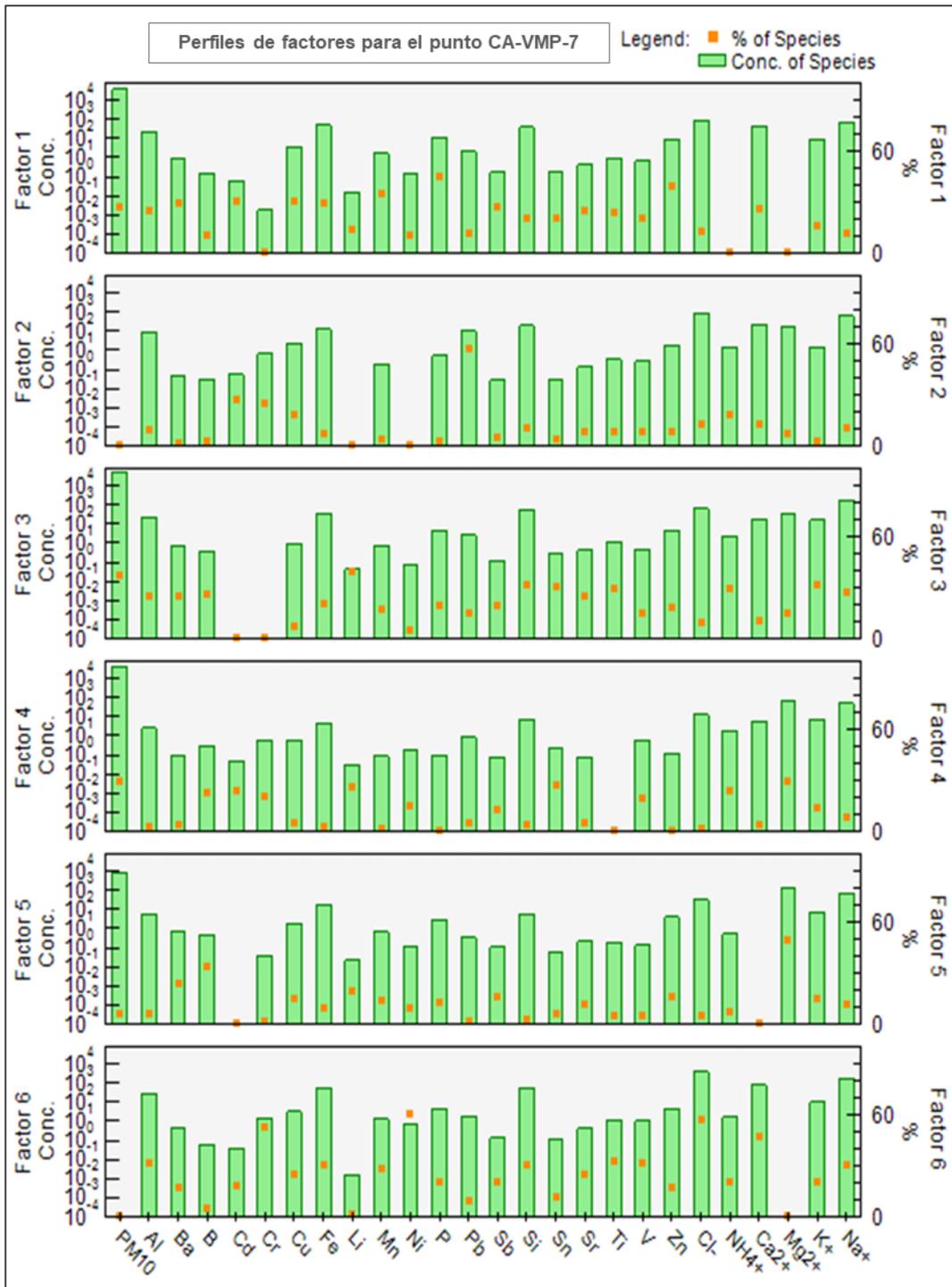


Figura 6.4. Perfiles de los factores obtenidos mediante el análisis de PMF para el punto CA-VMP-7, ubicado en el A.H. Virgen de Guadalupe - 2da etapa, Mz. Y Lote 28.

7. DISCUSIÓN

Después de describir los perfiles obtenidos, se observa que los elementos predominantes en cada factor presentan patrones diferentes, los que pueden ser considerados como trazadores de fuentes de emisión. Estos elementos permiten plantear hipótesis sobre la identidad de dichas fuentes con base en perfiles de fuente que se encuentren reportados en la diferente literatura científica. Del mismo modo, se puede hacer uso de los perfiles de fuentes que han sido compilados por la EPA mediante la plataforma conocida como SPECIATE 5.0.

De acuerdo a esto, se identificaron 6 factores predominantes correspondientes a diferentes posibles fuentes de aporte a la zona de estudio:

7.1 Primera fuente aportante identificada: Origen natural / Resuspensión del polvo

De acuerdo a lo expuesto por Cetin, B., Yatkin, S., Bayram, A., y Odabasi (2007) y al perfil 3197 reportado en el SPECIATE 5.0, el material geológico presenta elementos considerados como propios de la corteza terrestre, como el Fe, Al, Ca, Mn, Si, Sr, Ti, Ba, Li y Mg, siendo los cinco primeros, los de mayor presencia (entre 40 % y 65 %) (Taylor y McLennan, 1995). Así mismo, los metales antes mencionados, junto con la presencia de Pb, Zn y Cu (entre 30 % y 40 %), se encuentran asociados a partículas de suelo o polvo de carretera resuspendido (Liu *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2015; Lough *et al.*, 2005). Estos dos perfiles se encuentran relacionados el uno al otro en la mayoría de veces, como se mostró en otros estudios realizados por Hopke *et al.* (2000).

En base a lo expuesto, la Tabla 7.1 resume los factores que cuentan con los elementos predominantes característicos de la primera fuente identificada, en los 4 puntos de monitoreo.

Tabla 7.1. Factores asociados a la primera fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7

Punto de monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies predominantes asociadas
CA-VMP-1	Factor 1	Al, Ba, Fe, Si, Sr, Ti, Zn, Pb
	Factor 2	Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Si, Sr, Ti, Zn
CA-VMP-2	Factor 3	Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Si, Sr, Ti, Zn
CA-VMP-6	Factor 1	Al, Ba, Fe, Mn, Sr, Ti, Zn
	Factor 3	Al, Fe, Si, Ti
	Factor 6	Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Si, Sr, Ti, Zn
CA-VMP-7	Factor 1	Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn
	Factor 3	Al, Ba, Li, Si, Sr, Ti
	Factor 6	Al, Cu, Fe, Mn, Si, Sr, Ti

7.2 Segunda fuente aportante identificada: Aerosol marino

La fuente proveniente del aerosol marino se caracteriza por tener las mayores contribuciones de los iones Na⁺, Cl⁻, K⁺ y Mg²⁺, con presencia a escala global (Huneus *et al.*, 2012; Schutgens *et al.*, 2012; Clements *et al.*, 2013). De igual manera, los perfiles 43101C, 431012.5 y 4310110 reportados en la herramienta SPECIATE 5.0, consideran los elementos antes mencionados característicos de este tipo de fuente.

La Tabla 7.2 muestra el resumen de los factores que cuentan con los elementos predominantes característicos de la segunda fuente identificada, en los 4 puntos de monitoreo.

Tabla 7.2. Factores asociados a la segunda fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7

Punto de Monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies predominantes asociadas
CA-VMP-1	Factor 2	Cl ⁻ , Ca ²⁺ y Na ⁺
	Factor 4	Cl ⁻ , Ca ²⁺
CA-VMP-2	Factor 4	Cl ⁻ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺
CA-VMP-6	Factor 1	Cl ⁻ , Ca ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺
CA-VMP-7	Factor 6	Cl ⁻ , Ca ²⁺ y Na ⁺

7.3 Tercera fuente aportante identificada: Aerosoles secundarios

La presencia de amonio, sulfatos y nitratos se encuentra asociados a la formación de aerosoles secundarios en la atmósfera, lo que puede representar la ocurrencia de diversas reacciones de precursores gaseosos, como el amoniaco, ácido nítrico y sulfúrico, con el material básico de la corteza terrestre (Goodman *et al.*, 2001), los cuales sufren fraccionamientos antes de su conversión y transporte.

De acuerdo a Lodhi (2009), esta fuente puede provenir de la combustión de biomasa y carbón, así como los vehículos (Chen *et al.*, 2019). Otras rutas de formación para partículas secundarias pueden ser la nucleación de nuevas partículas y la conversión de gas a partículas mediante adsorción o absorción (Benson *et al.*, 2011; Petters y Kreidenweis, 2007). De igual manera, pueden formarse en las nubes a través de los ciclos de evaporación/condensación, periodos donde las especies solubles se absorben de la fase gaseosa a gotas y se pueden oxidar a especies con volatilidad reducida, permaneciendo como partículas luego de que las gotas se evaporan, según Carlton *et al.*, (2006), esta ruta es relevante para la formación de sulfato y nitrato secundarios.

A continuación, se presentan los factores que cuentan con las especies predominantes asociadas a la tercera fuente identificada, en los 4 puntos de monitoreo (Tabla 7.3):

Tabla 7.3. Factores asociados a la tercera fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7.

Punto de Monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies predominantes asociadas
CA-VMP-1	Factor 1 y Factor 5	NO ₃ ⁻ y SO ₄ ²⁻
	Factor 4	NH ₄ ⁺
CA-VMP-2	Factor 1 y Factor 6	NO ₃ ⁻ y SO ₄ ²⁻
CA-VMP-6	Factor 5 y Factor 6	SO ₄ ²⁻
CA-VMP-7	Factor 3	NH ₄ ⁺

7.4 Cuarta fuente aportante identificada: Quema de aceites y combustibles

El níquel y vanadio se consideran elementos asociados a la combustión de aceites y combustibles como el petróleo y gasolina (Pandolfi *et al.*, 2011; Viana *et al.*, 2009; Mazzei *et al.*, 2008; Gordon, 1988; Pacyna, 1986); los cuales pueden ser utilizados para fines industriales, de producción de energía, transporte y calefacción de espacios. Estos combustibles incluyen tanto el destilado como los aceites residuales, productos de procesos de refinación y emisiones de plantas de energía (Lippman *et al.*, 2006).

Con respecto a los perfiles reportados por el SPECIATE 5.0, los correspondientes a la combustión de petróleo pesado y aceite residual (13502C y 135042.5 respectivamente) presentan, de igual manera, al vanadio, níquel y cromo como metales asociados a esta actividad.

La Tabla 7.4 muestra los factores relacionados a la cuarta fuente según las especies asociadas de cada punto de monitoreo.

Tabla 7.4. Factores asociados a la cuarta fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7

Punto de Monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies predominantes asociadas
CA-VMP-1	Factor 3 y 4	Ni, V, Cr
CA-VMP-2	Factor 3	Ni, V
CA-VMP-6	Factor 4	Ni, V
CA-VMP-7	Factor 4 y 6	Ni, V, Cr

7.5 Quinta fuente aportante identificada: Fundición de plomo / Reciclaje de baterías

La presencia de plomo y antimonio, es característica de los procesos de reciclaje de baterías de plomo-ácido, esta actividad cuenta con procesos de recuperación de plomo y de otros componentes (que contengan este metal) presentes en las baterías desechables, lo que podría dar lugar a la liberación de vapores y partículas de plomo y polvo en el aire (PNUMA, 2003; Morrison y Murphy, 2006; Gottesfeld y Pokhrel, 2011; Were *et al.*, 2012).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2017) casi todas las piezas de las baterías pueden reciclarse y pasan por los siguientes pasos principales:

- Recogida y transporte de las baterías a una planta de reciclaje.
- Separación de las piezas que componen las baterías.
- Fundición y refinado de los componentes de plomo.
- Lavado y posterior rallado o fundido de los componentes de plástico.
- Purificación y tratamiento del electrolito de ácido sulfúrico.
- Tratamiento y eliminación de desechos.

Con respecto a la recuperación de plomo, los componentes que contengan este metal (como el plomo blando, antimonial y aleaciones de plomo) se transportan a los hornos para su fundición. Al terminar este proceso, se retira la escoria y el plomo fundido sin refinar puede verterse en moldes y enfriarse o ir directamente a una caldera (olla de fundición) antes del refinado. El objetivo del proceso de refinado es producir plomo de alta pureza o aleaciones que puedan utilizarse en la creación de una nueva batería de plomo (OSHA, 2002; PNUMA, 2003).

En los procesos de fundición de plomo a nivel general, también se encuentran presentes los dos metales antes mencionados de acuerdo a lo reportado en la plataforma SPEACIATE 5.0, según los perfiles 29330C y 20402C, correspondientes a la actividad de fundición primaria y secundaria de plomo.

En base a lo antes expuesto, la Tabla 7.5 muestra los factores que cuentan con los elementos predominantes característicos de la quinta fuente identificada, los cuales sólo se presentaron en dos puntos de monitoreo a sotavento.

Tabla 7.5. Factores asociados a la cuarta fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7

Punto de Monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies predominantes asociadas
CA-VMP-1	Factor 3	Pb, Sb
CA-VMP-2	Factor 2	Pb, Sb

Asimismo, en las Figuras 7.1 y 7.2, se muestran las contribuciones del Pb y Sb, en el punto CA-VMP-1 y CA-VMP-2, respectivamente; donde se aprecia que el mayor aporte de estos elementos corresponde a las actividades descritas en esta fuente identificada.

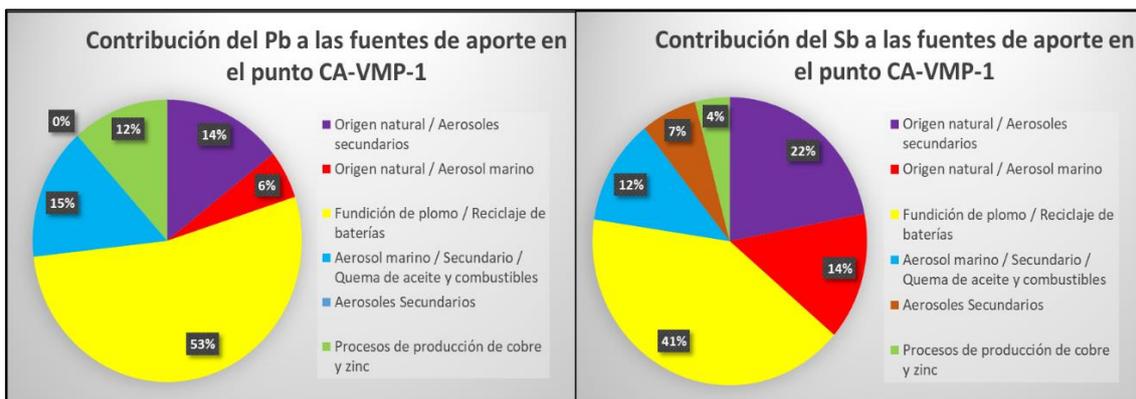


Figura 7.1. Contribución del Pb y Sb a las fuentes aportantes del punto de monitoreo CA-VMP-1

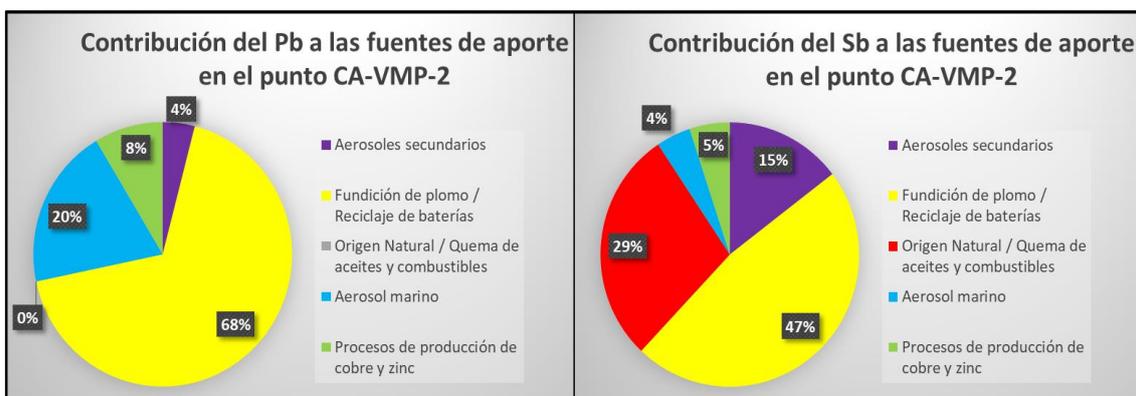


Figura 7.2. Contribución del Pb y Sb a las fuentes aportantes del punto de monitoreo CA-VMP-2

7.6 Sexta fuente aportante identificada: Procesos de producción de cobre y zinc

La producción y uso de metales no ferrosos (fundición o procesos metalúrgicos) representan dos de las principales actividades que pueden aportar cadmio, a la atmósfera (Williams y Harrison, 1984; Nriagu, 1986), de acuerdo a Pacyna y Pacyna (2001) contribuirían con un 73 % de aporte de este metal con respecto a las demás posibles fuentes antropogénicas. Según Faoro *et al.* (1977), la producción de cobre, derivados de cobre y zinc presentan las mayores emisiones de cadmio (hasta un 43%), donde este último metal es fabricado como un subproducto la mayoría de veces.

Según lo antes expuesto, en la Tabla 7.6 se muestran los factores relacionados a la sexta fuente según las especies asociadas de cada punto de monitoreo.

Tabla 7.6. Factores asociados a la sexta fuente aportante para los puntos de monitoreo CA-VMP-1 y CA-VMP-2

Punto de Monitoreo	Factor relacionado a la fuente	Especies asociadas predominantes
CA-VMP-1	Factor 6	Cd
CA-VMP-2	Factor 5	Cd

Asimismo, en la Figura 7.3 a) y b) se presentan las contribuciones de cadmio a las fuentes de aporte identificadas en los puntos CA-VMP-1 y CA-VMP-2, respectivamente, donde se aprecia que la sexta fuente tiene el mayor aporte de este metal.

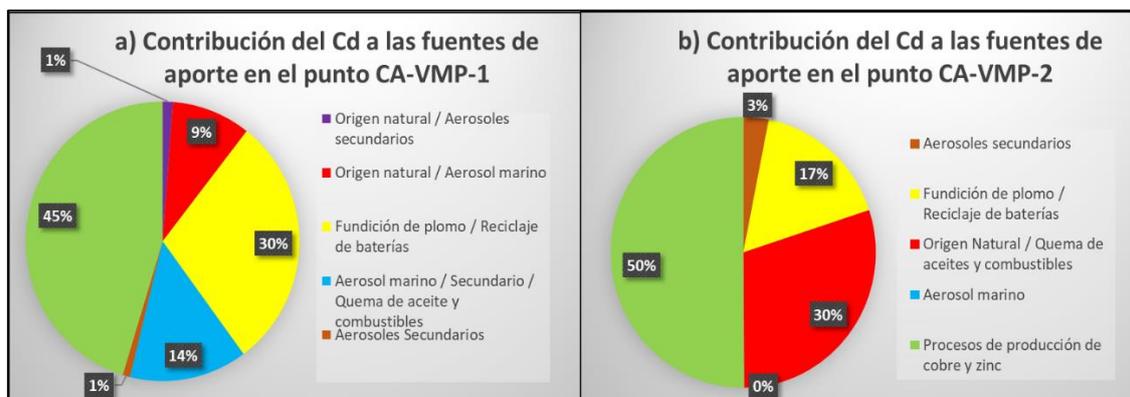


Figura 7.3. Contribución del Cd a las fuentes aportantes de los puntos de monitoreo a) CA-VMP-1 y b) CA-VMP-2

8. CONCLUSIONES

La aplicación del Modelo de Factorial de Matriz Positiva determinó la presencia de seis factores predominantes correspondientes a diferentes fuentes posibles de aporte de metales pesados y aniones en la calidad del aire en el ámbito de la Zona Industrial de Ventanilla - Mi Perú, en base a los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo distribuidas en los puntos CA-VMP-1, ubicado en el AA.HH Virgen de Guadalupe Mz. O. Lote 11; CA-VMP-2, ubicado en la I.E.P. Arturo Padilla Espinoza; CA-VMP-6, ubicado en el Hospital de Ventanilla; y CA-VMP-7, ubicado en el AA.HH Virgen de Guadalupe Mz. Y. Lote 28.

La primera fuente identificada proviene de origen natural y la resuspensión del polvo debido a la presencia predominante de los metales aluminio (Al), bario (Ba), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), silicio (Si), estroncio (Sr), talio (Ti) y zinc (Zn); encontrándose en los 4 puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7.

La segunda fuente identificada proviene del aerosol marino, debido a la presencia predominante de los iones Cl^- , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ ; la cual se encontró en los 4 puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7.

La tercera fuente identificada proviene de los aerosoles secundarios, debido a la presencia predominante de los iones NH_4^+ , NO_3^- y SO_4^{2-} , presentándose en los 4 puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7.

La cuarta fuente identificada corresponde a la quema de aceites y combustibles, teniendo al cromo (Cr), níquel (Ni) y vanadio (V) como especies predominantes y características de esta actividad, encontrándose en los 4 puntos de monitoreo CA-VMP-1, CA-VMP-2, CA-VMP-6 y CA-VMP-7.

La quinta fuente identificada proviene de la fundición de plomo y reciclaje de baterías, presentando al plomo (Pb) y antimonio (Sb) como especies predominantes de estas actividades, encontrándose solo en los puntos CA-VMP-1 y CA-VMP-2.

La sexta fuente identificada corresponde a los procesos de producción de cobre y zinc, siendo el cadmio el metal más predominante, encontrándose solo en los puntos CA-VMP-1 y CA-VMP-2.

9. REFERENCIAS

Alves, C.A., Gomes, J., Nunes, T., Duarte, M., Calvo, A., Custodio, D., Pio, C., Karanasiou y A., Querol, X. (2015). Size-segregated particulate matter and gaseous emissions from motor vehicles in a road tunnel. *Atmos. Res.* 153, 134-144

Baccarelli, A., Pfeiffer, R., Consonni, D., Pesatori, A., Bonzini, M., Patterson Jr., D., Bertazzi, P., Landi, M. (2005). Handling of dioxin measurement data in the presence of nondetectable values: Overview of available methods and their application in the Seveso chloracne study. *Chemosphere* 60:898-906.

Behrentz E., Sánchez N., Rivera J. (2009). Parte 1: Caracterización de Material Particulado y Modelos Receptores. *Elementos técnicos del plan decenal de descontaminación de Bogotá*. Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, D.C., Colombia.

Benson, D., Yu, J. (2011). Ternary homogeneous nucleation of H_2SO_4 , NH_3 , and H_2O under conditions relevant to the lower troposphere. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 4755-4766.

Carlton, A., Turpin, B., Lim, H., Altieri, K., Seitzinger, S. (2006). Link between isoprene and secondary organic aerosol (SOA): Pyruvic acid oxidation yields low volatility organic acids in clouds. *Geophysical Research Letters*. 33:L06822.

Cetin, B., Yatkin, S., Bayram, A., Odabasi, M. (2007). Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 9(8), 1267-1277.

Chen, T., Liu Y., Ma, Q., Chu, B., Zhang, P., Liu, C., Liu, J y He, H. (2019). Significant source of secondary aerosol: formation from gasolina evaporative emissios in the presence of SO_2 and NH_3 . *Atmospheric Chemistry and Physics*. 19. 8063-8081.

Clements, A., Fraser, M., Upadhyay, N., Herckes, P., Sundblom, M., Lantz, J., Solomon, P. (2013). Chemical characterization of summertime coarse particulate matter in the Desert Southwest - Arizona, USA. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 63:764-772.

Ellison, S. y Williams, A. (2012). *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. Eurachem / CITAC Guide CG 4. Third Edition

EPA. (2014). Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide. EPA/600/R-14/108

Faoro, R., McMullen, T. (1977). National trends in trace metals in ambient air. Report N° 450/1-77-003. U.S Environmental Protection Agency.

Fernández, J., Palarea, J., y Barceló, C. (2011). Técnicas composicionales para concentraciones geoquímicas por debajo del límite de detección. *Boletín Geológico y Minero*. vol. 122, núm. 4, p. 459-468.

Gordon, G. (1988). Receptor model: Development and testing of such models has moved from the research domain into application to practical problems. *Environmental Science & Technology*. 22 (10).

Goodman, A., Li, P., Usher, C., Grassian, V. (2001). Heterogeneous uptake of sulfur dioxide on aluminum and magnesium oxide particles. *Journal of Physical Chemistry A*. 105, 6109-6120.

Gottesfeld, P. y Pokhrel, A. (2011). Review: lead exposure in battery manufacturing and recycling in developing countries and among children in nearby communities. *Journal of Occupational & Environmental Hygiene*. 8(9):520-532.

Henry, R. (2005). Duality in multivariate receptor models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 77 (1-2):59

Ho, T. (1995). Random Decision Forest. Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14–16 August. pp. 278–282. Archivado desde el original el 4 de julio de 2008.

Hopke, P., Ramadan, Z., Song, X. (2000). Identification of sources of Phoenix Aerosol by Positive Matrix Factorization. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 50:1308-1320.

Huneus, N., Chevallier, F., Boucher, O. (2012). Estimating aerosol emissions by assimilating observed aerosol, optical Depth in a global aerosol model. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 12:4585-4606.

Lippmann, M., Ito, K., Hwang, J., Maciejczyk, P., Chen, L. (2006). Cardiovascular effects of nickel in ambient air. *Environmental Health Perspective*. 114 (11): 1662–1669.

Liu, Y., Zhang, W., Bai, Z., Yang, W., Zhao, X., Han, B., Wang, X. (2016). Characteristics of PM10 chemical source profiles for geological dust from the south-west region of China. *Atmosphere* 7: 146–159.

Lodhi, A., Ghauri, B., Khan, M., Rahman, S., Shafique, S. (2009). Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentration and Source Apportionment in Lahore. *Journal of the Brazilian Chemistry Society*. 20(10):1811-1820.

Lough, G., Schauer, J., Park, J. (2005). Emissions of metals associated with motor vehicle roadways. *Environmental Science & Technology*. 39. 826-836

Mazzei, F., Di'Alessandro, A., Lucarrelli, F., Nava, S., Prati, P., Valli, G., Vecchi, R. (2008). Characterization of particulate matter sources in an urban environment. *Science of the Total Environment*, 401 (1-3):81-89

Morrison, R. y Murphy, B. (2006). *Environmental Forensics: Contaminant Specific Guide*. Chapter 4. Lead pp 56-74.

Nriagu, J. (1986). Cadmium in the Atmosphere and in Precipitation. Cadmium in the environment, Wiley, New, 71-114.

Organización Mundial de la Salud (2017). Reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: consideraciones sanitarias [Recycling used lead-acid batteries: health considerations]. Ginebra

OSHA. (2002). Lead Standard 29 CFR 1910.1025. Washington: Occupational Safety and Health Administration, US Department of Labor.

Paatero, P. y Tapper, U. (1994). Positive matrix factorization: a nonnegative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics* 5, 111-126.

Paatero, P. (1997). Least squares formulation of robust nonnegative factor analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 37, 23-35.

Pacyna, J.M. (1986). Atmospheric trace elements from natural and anthropogenic sources, Toxic Metals in the Environment. pp33-52.

Pacyna, J., Pacyna, E. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environmental Reviews*. 9:269-298.

Pandolfi, M., Gonzalez-Catanedo, Y., Alastuey, A., De la Rosa, J., Mantilla, E., de la Campa, A., Querol, X., Pey, J., Amato, F., Moreno, T. (2011). Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} at multiple sites in the strait of Gibraltar by PMF: impact of shipping emissions. *Environmental Science and Pollution Research*. (18) 260-269.

Petters, M. y Kreidenweis, S. (2007). A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 1961-1971.

Pindado, O., Pérez, R., García. (2013). *Desarrollo del Modelo de Factorización de la Matriz Positiva (PMF) al Estudio Anual de la Composición Orgánica del PM_{2,5} en Chapinería*. CIEMAT. España

PNUMA (2003). Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo de desecho. Secretaría del Convenio de Basilea. Serie del Convenio de Basilea/SBC N° 2003/9 Ginebra: Secretaría del Convenio de Basilea; 2003 Recuperado de: <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/pub/techguid/tech-wasteacid.pdf>.

Sánchez-Ccoyllo, O y Ordóñez, C. (2015). Determinación cuantitativa de fuentes de material particulado en la atmósfera de la ciudad de Lima - Perú. *Revista interdisciplinaria de la Universidad Antonio Ruiz de Montoya*, Sílex, pp. 107-121.



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

Schutgens, N., Nakata, M., Nakajima, T. (2012). Estimating Aerosol Emissions by Assimilating Remote Sensing Observations into a Global Transport Model. *Remote Sensing* 4, 11, 3528-3543.

Taylor, S y McLennan, S. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*. 33:241-265.

Véliz, C. (2015). Análisis multivariante: métodos estadísticos multivariantes para la investigación. 1ra Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Cengage Learning Argentina.

Viana, M., Amato, F., Alastuey, A., Querol, X., Saúl, G., Herce-Galarreta, D. & Fernandez-Patier, R. (2009). Chemical tracers of particulate emissions from commercial shipping. *Environmental Science & Technology*. 43:7472-7477

Were, F., Kamau, G., Shiundu, P., Wafula, G., Moturi, C. (2012). Air and blood lead levels in lead acid battery recycling and manufacturing plants in Kenya. *Journal of Occupational & Environmental Hygiene*. 9(5):340-344

Williams, C., Harrison, R. (1984). Cadmium in the atmosphere. *Experientia Supplementum*. 50:17-24.

10. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación de la Zona Industrial Ventanilla - Mi Perú

Anexo 2: Tratamiento estadístico de los datos

Anexo 3: Datos de salida correspondiente al análisis PMF

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

[LFAJARDO]

[JGONZALEZ]

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: 06255382"



06255382