



INFORME TÉCNICO

Caracterización mineralógica y química de los elementos contaminantes presentes en el polvo removido del establecimiento CEIA.

HITO 2: Identificación de los elementos contaminantes y tóxicos presentes en el polvo negro.

Proyecto “Estudio de la Contaminación Atmosférica Presente en el Establecimiento Educativo CEIA”

ABRIL-MAYO 2023



Tipo de documento: Informe entregable HITO 2

Título: "Caracterización mineralógica y química de los elementos contaminantes presentes en el polvo removido del establecimiento CEIA.

Elaborado por:

Dr.(c) Franko Arenas
Investigador Proyecto FIC-R
Ingeniero Civil Ambiental -CICITEM

Mgs. Elsa Flores
Investigadora Proyecto FIC-R
Jefa de laboratorio - CICITEM

Dra. Lorena Escudero
Directora Proyecto FIC-R
Investigadora Línea de Medio ambiente-CICITEM

Aprobado por:

Dr. Pedro Galleguillos
Director Científico - CICITEM

Validado por:

Rubén Rojo Maturana
Gerente - Director - CICITEM



ADVERTENCIA

Los resultados presentados a continuación son de **carácter referencial respecto a la identificación y cuantificación de los principales elementos contaminantes** detectados en el polvo acumulado en el CEIA. En esta primera instancia de la investigación, tanto el tiempo requerido, así como la cinética y dinámica de acumulación del material analizado son por completo desconocidos, sirviendo solo como una primera línea base, la que servirá para la interpretación de los próximos análisis basados en el monitoreo periódico de los elementos detectados.

Por lo tanto, la información entregada aquí **no es de carácter concluyente y no puede ser usada ni divulgada para fines comunicacionales**. Una vez finalizado el estudio de contaminación atmosférica en el CEIA, se podrán establecer las relaciones temporales y dinámicas sobre la acumulación de los elementos contaminantes.

Dra. Lorena Escudero
Directora Proyecto FIC-R CEIA
Código BIP 40046174-0



Rendición HITO 2: Identificación de los elementos contaminantes y tóxicos presentes en el polvo negro.

Entregable: Informe técnico de la Caracterización mineralógica y química de los elementos contaminantes presentes en el polvo removido del establecimiento CEIA.

Antecedentes Generales:

Código BIP	40046174-0
Fecha de Convenio	30 de noviembre 2022
Fecha de Toma Razón Contraloría	30 de noviembre 2022
Monto de Financiamiento	\$271.135.000.-
Plazo de Ejecución	18 meses

1.- Objetivo General del Proyecto:

Implementar un plan de vigilancia atmosférico mediante un sistema de monitoreo meteorológico y de calidad de aire, e identificación de elementos contaminantes mediante el análisis químico del MP10, 2,5 y de gases, que permitan evaluar la contaminación presente en el CEIA.

2.- Objetivos Específicos:

Objetivo Específico 1. Remover el material particulado depositado en los distintos espacios y fachadas del CEIA a través de aspiración de polvo y luego realizar el lavado de murallas, ventanas y pasillos.

Objetivo Específico 2. Caracterizar por medio de análisis físico-químicos en los laboratorios de CICITEM el polvo aspirado durante la limpieza de CEIA, para detectar y cuantificar elementos contaminantes.

Objetivo Específico 3. Evaluar la calidad del aire por medio de la Implementación un sistema de monitoreo de calidad de aire (gases y MP) y meteorológico, con tecnología de punta y en tiempo real en el CEIA, incluyendo capacitaciones a la comunidad educativa.



Objetivo Específico 4. Monitorear los parámetros medidos por las estaciones instaladas para evitar la superación de los niveles de calidad ambiental y prevenir a la comunidad del Centro.

Objetivo Específico 5. Comparar los registros mensual y anual de los contaminantes y de las variables monitoreadas con las normativas de referencia.

Objetivo Específico 6. Diseñar un programa de gestión de monitoreo de calidad de aire en la zona del CEIA.

3.- Actividades por Objetivos:

Objetivo Específico 2. Caracterizar por medio de análisis físico-químicos en los laboratorios de CICITEM el polvo aspirado durante la limpieza de CEIA, para detectar y cuantificar elementos contaminantes.

Para cumplir con este objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

- Análisis químico mediante Absorción atómica o ICP de las muestras recolectadas del polvo recolectado durante el proceso de aspiración.
- Caracterización mineralógica y química e identificación de los elementos contaminantes y tamaño de partícula.
- **Hito: Identificación de los elementos contaminantes y tóxicos presentes en el polvo negro.**
- **Entregable: Informe técnico sobre la Caracterización mineralógica y química de los elementos contaminantes presentes en el polvo negro.**

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Las muestras de polvo fueron recolectadas mediante aspiración realizada con equipos adquiridos por este proyecto. Se utilizaron aspiradoras portátiles marca Makita, modelo DVC660ZX3 (Figura 1) equipadas con filtros “de alta eficiencia en la captura de partículas” - HEPA (por sus siglas en inglés “High Efficiency Particle Arresting”) (Figura 1). Estos filtros son capaces de capturar esporas de moho, polvo, ácaros del polvo, la caspa de mascotas y otros alérgenos (A.D.A.M., 2023)



Figura 1. Aspiradora (a la izquierda) y filtro HEPA (a la derecha) utilizados para la recolección de polvo en el establecimiento educacional

El plan de muestreo contempló la toma de 16 muestras de polvo distribuidas en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del establecimiento, las que se pueden observar en la Figura 2.



Figura 2. Plano del establecimiento educacional y zonas de muestreo (1, 2, 3, 4 y 5) en 3 plantas.

Las muestras de polvo recolectadas (Figura 3) fueron debidamente embolsadas, rotuladas y derivadas a los distintos laboratorios para sus respectivos análisis. Estos fueron el laboratorio certificado "ALS" para realizar Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) que permite un análisis químico completo que proporciona una rápida identificación y detección de contenido de trazas de elementos metálicos (contaminantes potenciales). Otro set de muestras fue enviado al laboratorio "MAINI" de la Universidad Católica del Norte para el análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y al laboratorio de Difracción y Fluorescencia del Departamento de Geología de la Universidad Católica del Norte para determinar su composición mineralógica. Finalmente, un set de muestras fue analizado en las dependencias de CICITEM por Absorción Atómica (AA) y para caracterizar la distribución de tamaño de partículas en el polvo con el equipo Microtrac.



Figura 3: Proceso de toma de muestras de polvo en el CEIA (arriba) y su preparación para análisis químicos y de difracción de rayos X (DRX) (abajo).



RESULTADOS

ANÁLISIS QUÍMICOS

A continuación, se presenta un resumen con los resultados obtenidos en el presente estudio, los cuales fueron comparados con normativas de referencia tanto nacionales como internacionales para material particulado $MP_{2,5}$, MP_{10} y material particulado sedimentable (MPS). Adicionalmente, estos resultados fueron comparados con normativas internacionales relacionadas con la calidad del suelo con el fin de verificar si se sobrepasan los límites permitidos de elementos tóxicos.

Resumen histórico de normas relacionadas con la calidad del aire en Chile

En Chile, la primera regulación que estableció estándares de calidad del aire para partículas se dictó en el año 1978, a través de la resolución N°1.215, del Ministerio de Salud, denominada "Normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica", en la cual se establecieron estándares para las partículas totales en suspensión (PTS).

En el año 1991, se estableció por primera vez una norma para MP_{10} como concentración diaria de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, contenida en el artículo 4 del DS N°185, de 1991, del Ministerio de Minería, que reglamenta el funcionamiento de establecimientos emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico. La Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), inició un proceso de revisión de la norma de material particulado respirable MP_{10} y en 1998 dictó el DS N°59 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, estableciéndose la "Norma de calidad primaria para material particulado respirable MP_{10} , en especial de los valores que definen situaciones de emergencia". El decreto supremo mantuvo el valor de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como norma de 24 horas y estableció los valores que definen situaciones de emergencia por MP_{10} .

En el año 1999 se desarrolló una segunda revisión de la norma de calidad primaria para MP_{10} y se dictó el DS N°45, de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que modificó el DS N° 59, incorporando una norma anual de MP_{10} , de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, que se justificó debido a la evidencia científica de los efectos crónicos del MP_{10} en la salud de las personas, que se presentan cuando existe una exposición a largo plazo a material particulado respirable. El año 2003 se dejó sin efecto la norma primaria de calidad de aire para PTS, mediante el DS N° 110, de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Lo anterior, porque los estudios demostraron que las partículas que más afectan la salud de la población



son aquellas con un diámetro aerodinámico menor a $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}) y más aún, aquellas con diámetro aerodinámico menor a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$).

Sobre el $\text{MP}_{2,5}$, se dictó en 2011 el Decreto 12 "Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable $\text{MP}_{2,5}$ " que indica un límite de $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, como concentración anual, y $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, como concentración de 24 horas.

El año 2013 se dictó el Decreto 20 que establece una norma de calidad primaria para material particulado respirable MP_{10} , pero fue derogado dado lo indicado por la sentencia del Segundo Tribunal Ambiental, de fecha 16 de diciembre de 2014 que anuló el DS N°20, de 2013, y ordenó al Ministerio del Medio Ambiente iniciar, en el más breve plazo posible, un nuevo proceso de revisión de la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP_{10} . Esto último obligó a la dictación de una nueva norma contenida en el Decreto 12 del año 2021 que establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP_{10} , vigente a la fecha.

El mencionado DS N°20 actualiza los niveles de emergencia para lo cual se unificaron los criterios de la norma primaria de calidad ambiental para MP_{10} , contenida en el DS N°59, de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y de la norma primaria de calidad ambiental para $\text{MP}_{2,5}$, contenida en el DS N°12, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, utilizando el criterio empleado para el $\text{MP}_{2,5}$ en la definición de los episodios críticos, es decir, el 3% de aumento de la mortalidad entre los niveles, según la Guía de la OMS, pero aplicando un intervalo más estricto para MP_{10} correspondiente a un aumento de la mortalidad en un 2,5%.

Normativa Internacional

Los valores referenciales de normas internacionales de calidad ambiental proporcionan un acercamiento preliminar sobre el grado de afectación y el posible impacto en la salud de las personas y ecología.

Las normativas utilizadas fueron las siguientes:

- Norma IHOBE para uso residencial. IHOBE, S.A. (2002) Manual práctico para la investigación de la contaminación de suelo. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medioambiente. Gobierno Vasco, España.



- Norma NEPC para uso residencial. Naidu, R., Oliver, D., McConnell, S. (2003). Heavy metals phytotoxicity in soils. In: A. Landey., M. Gilbey., y B. Kennedy. (Eds). Proceedings of the fifth national workshop on the assement of the site contamination (pp. 235-241). Australia: National Environment Protection Council (NEPC) ⁱⁱ.
- Norma US EPA para uso residencial. U.S Environmental Protection Agency (EPA). (1993). Standard for use or disposal of sewage sludge. Final rule, 40 CFR Part 503. Federal Register. 58(32), 9248-92415 ⁱⁱⁱ.

Tabla 1: Normas referenciales internacionales usadas en este estudio.

Elemento	Unidad	IHOBE9*	NEPC*	US EPA*
Aluminio (Al)	mg/kg			77000
Antimonio (Sb)	mg/kg			31
Arsénico (As)	mg/kg	30	100	0,68
Cadmio (Cd)	mg/kg	8	20	71
Cobalto (Co)	mg/kg		100	23
Cobre (Cu)	mg/kg	10000	6000	3100
Cromo (Cr)	mg/kg	200	100	0,30
Estaño (Sn)	mg/kg			47000
Estroncio (Sr)	mg/kg			47000
Hierro (Fe)	mg/kg			55000
Manganeso (Mn)	mg/kg		3800	1800
Mercurios (Hg)	mg/kg	4	40	11
Molibdeno (Mo)	mg/kg	75		390
Níquel (Ni)	mg/kg	150	400	840
Plata (Ag)	mg/kg			
Plomo (Pb)	mg/kg	150	300	300
Selenio (Se)	mg/kg		200	290
Titanio (Ti)	mg/kg			0,78
Uranio (U)	mg/kg			16
Vanadio (V)	mg/kg			390
Zinc (Zn)	mg/kg			23000



Normativas Nacionales e internacionales MPS

En Chile no existe normativa primaria de calidad del aire aplicable a elementos de interés en el material particulado sedimentable (MPS). En el contexto internacional tampoco existe normativa primaria para el MPS, por lo tanto, no existen límites que establezcan los máximos o mínimos permitidos sobre el cual la presencia de estos elementos pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

Sin embargo, en Chile se encuentra vigente una norma secundaria de calidad de aire aplicable al MPS. Al respecto, es preciso señalar que las normas secundarias establecen los máximos o mínimos permisibles sobre el cual la presencia de un contaminante puede constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. Se trata del Decreto Supremo (D.S.) N°4 de 1992 del Ministerio de Agricultura "Establece Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la Cuenca del Río Huasco III Región" ^{iv}, el que establece una norma mensual y anual de Hierro (Fe) en el MPS, pero como su nombre lo indica, es aplicable a la Cuenca del Huasco y no a la zona de estudio.

Por otra parte, en el contexto internacional se puede hacer uso de ordenanzas o reglamentos con objetivos de protección, como por ejemplo a los relacionados con la fertilidad del suelo, la vegetación y aguas, regulado en Suiza y con el objetivo de protección contra los efectos nocivos de la deposición de contaminantes en el medio ambiente, específicamente en suelo, implementado en Alemania^v.

	Promedio (mg/m²*día)
--	--



	Cadmio (Cd)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Talio (Tl)	Zinc (Zn)	Arsénico (As)	Níquel (Ni)	Mercurio (Hg)
D.S N° 4/1992 desde segunda quincena de diciembre hasta Agosto	-	60	-	-	-			
D.S N° 4/1992 septiembre-octubre-noviembre y primera quincena de diciembre.	-	30	-	-	-			
Ordenanza Confederación Suiza**	0,002	-	0,1	0,002	0,4			
Reglamento Alemán***	0,002		0,1	0,002		0,004	0,015	0,001

Tabla 2: Valores de Normas nacionales e internacionales para elementos de interés en el MPS.

*Artículo 4, D.S N°4/1992, del Ministerio de Agricultura.

** Ordenanza Sobre Control de Contaminación del Aire (OAPC), 1985, que regula la concentración de ciertos elementos en el Material Particulado Sedimentable, como promedio aritmético anual^{vi}.

***Primer Reglamento Administrativo General relativo a la Ley Federal de Control de Inmisiones (Instrucciones técnicas sobre control de calidad del aire - TA Luft, 2002).

Normativa Nacional para elementos de interés en MP₁₀ y MP_{2,5}

En Chile no existe una normativa nacional para elementos de interés contenidos en el Material Particulado Fino (MP_{2,5}). En el caso del Material Particulado Respirable (MP₁₀), existe actualmente una normativa nacional que es aplicable, el D.S. N°136/2001 del MINSEGPRES, la cual Establece Norma de Calidad Primaria para Plomo en el Aire ^{vii}.

Tabla 3: Normativa Nacional D.S. N°136/2001 para Plomo en el aire

Elemento	Norma primaria de calidad de aire para Pb. Concentración anual (µg/m ³ N)
Plomo (Pb)	0.5



Normativa Internacional para elementos de interés en MP₁₀ y MP_{2,5}.

En el contexto internacional tampoco se encuentran normativas para el MP_{2,5}. Pero si se encuentran algunos valores de calidad de aire ambiental para algunos metales en el MP₁₀, establecidos por *El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea (Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air^{viii})*, cuyo objetivo de protección es la salud de la población.

Tabla 4: Normativa Parlamento Europeo y Consejo de la Unión europea para algunos metales en MP₁₀.

Elemento	Valor objetivo (para el contenido total en el MP₁₀ promediado durante un año calendario) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Arsénico (As)	0,006
Cadmio (Cd)	0,005
Níquel (Ni)	0,020
Benzo (a) pireno	0,001



A continuación, se presentan los resultados del análisis químico obtenidos de las muestras de polvo recolectadas y analizadas en el laboratorio de ALS:

Tabla 5: Resumen de los resultados químicos de elementos de interés en el polvo recolectado en el establecimiento CEIA.

Muestras	Aluminio (Al)	Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Bismuto (Bi)	Boro (B)	Cadmio (Cd)	Calcio (Ca)	Cromo (Cr)	Cobalto (Co)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Litio (Li)	Magnesio (Mg)	
Lugar de la muestra	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Muestra Techo Bodega Salón	PCEIA-1	8.800	19	107	271	< 2,00	9	85	25	94.274	69	15	6.139	50.043	845	76	7.314
Muestra Techo edificio N1	PCEIA-2	15.160	64	316	537	< 2,00	39	97	68	45.708	87	24	26.186	80.665	2.854	68	10.006
Muestra Techo edificio N2	PCEIA-3	19.829	71	315	543	< 2,00	38	126	83	49.564	101	25	27.653	85.492	3.697	121	9.939
Muestra Techo Salon Ext/Int	PCEIA-4	9.443	26	135	372	< 2,00	16	81	38	93.473	68	22	8.814	58.026	1.102	127	9.372
Muestra Techo Zona B	PCEIA-5	10.041	24	153	482	< 2,00	24	114	25	80.204	70	21	12.858	41.095	1.217	155	11.356
Muestra Zona 1	PCEIA-6	9.747	15	133	555	< 2,00	8	242	13	50.133	100	23	10.464	83.759	342	207	10.901
Muestra Zona 2	PCEIA-7	10.171	12	82	443	2	5	141	13	57.569	66	21	6.885	45.762	265	185	9.591
Muestra Zona 3	PCEIA-8	10.094	14	99	490	< 2,00	6	194	15	59.566	97	23	7.956	78.571	915	198	9.849
Muestra Zona A (2-3 piso)	PCEIA-9	9.286	11	73	346	< 2,00	5	142	13	67.580	131	18	5.974	51.153	306	179	8.991
Muestra Zona B (2-3 piso)	PCEIA-10	11.489	11	82	308	< 2,00	5	120	19	77.850	69	16	6.154	48.316	390	< 1,50	8.521
Muestra Zona paneles solares	PCEIA-11	11.535	17	135	630	< 2,00	9	174	23	56.475	122	26	12.380	64.851	514	248	11.501
Muestra Zona Patio/Lateral-Coquimbo	PCEIA-12	11.865	13	92	399	< 2,00	6	207	16	66.070	85	20	7.722	54.250	284	237	9.140
Muestra Zona PIE/Salón	PCEIA-13	10.766	19	126	515	< 2,00	15	137	20	72.980	90	29	10.269	51.236	698	225	10.819
Muestra Zona salon interior(2piso)	PCEIA-14	11.943	17	164	569	3	13	204	17	50.212	117	26	13.364	74.162	550	232	11.514
Muestra Zona techos bajos(Zona 3)	PCEIA-15	12.264	15	125	426	< 2,00	7	152	19	59.846	85	19	9.837	48.316	442	254	10.386
Muestra Zona techos bajos/interior+exterior	PCEIA-16	8.058	15	78	244	< 2,00	7	85	17	106.584	65	15	5.606	54.917	636	171	7.134

Muestras	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Selenio (Se)	Plata (Ag)	Sodio (Na)	Estroncio (Sr)	Telurio (Te)	Talio (Tl)	Estaño (Sn)	Titanio (Ti)	Uranio (U)	Vanadio (V)	Zinc (Zn)	
Lugar de la muestra	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Muestra Techo Bodega Salón	PCEIA-1	510	< 1,30	81	25	2293	1906	7	15	7703	423	< 1,00	< 1,00	43	723	1,63	50	10079
Muestra Techo edificio N1	PCEIA-2	778	< 1,30	226	44	5341	2587	3	57	5423	169	< 1,00	< 1,00	102	713	< 1,50	89	27752
Muestra Techo edificio N2	PCEIA-3	819	< 1,30	189	44	7959	2740	2	55	4478	182	< 1,00	< 1,00	84	547	< 1,50	91	31670
Muestra Techo Salon Ext/Int	PCEIA-4	617	< 1,30	141	39	2649	2517	< 1,50	19	12483	430	< 1,00	< 1,00	47	789	1,75	63	11630
Muestra Techo Zona B	PCEIA-5	635	< 1,30	190	44	1906	3703	< 1,50	16	20638	222	< 1,00	< 1,00	126	980	< 1,50	72	8998
Muestra Zona 1	PCEIA-6	892	< 1,30	98	49	1835	2836	< 1,50	9	13438	201	< 1,00	< 1,00	34	1164	< 1,50	75	5834
Muestra Zona 2	PCEIA-7	564	< 1,30	76	38	1797	2944	< 1,50	7	24542	202	< 1,00	< 1,00	32	919	< 1,50	60	7477
Muestra Zona 3	PCEIA-8	808	< 1,30	81	60	1967	2933	2	8	21503	222	< 1,00	< 1,00	44	1208	< 1,50	74	6615
Muestra Zona A (2-3 piso)	PCEIA-9	567	< 1,30	61	57	2009	2706	< 1,50	10	24173	235	< 1,00	< 1,00	50	897	< 1,50	62	4581
Muestra Zona B (2-3 piso)	PCEIA-10	564	< 1,30	54	50	1729	2531	< 1,50	8	24093	275	< 1,00	< 1,00	31	926	< 1,50	59	4911
Muestra Zona paneles solares	PCEIA-11	809	< 1,30	95	52	2391	3148	< 1,50	11	17430	189	< 1,00	< 1,00	49	1375	< 1,50	95	8808
Muestra Zona Patio/Lateral-Coquimbo	PCEIA-12	608	< 1,30	76	48	2184	2980	2	8	20305	243	< 1,00	< 1,00	37	965	1,54	69	6912
Muestra Zona PIE/Salón	PCEIA-13	650	< 1,30	158	47	2015	3286	< 1,50	12	23559	240	< 1,00	< 1,00	43	1044	< 1,50	78	8541
Muestra Zona salon interior(2piso)	PCEIA-14	939	< 1,30	140	52	2225	2945	< 1,50	11	16297	214	< 1,00	< 1,00	42	1199	< 1,50	88	11953
Muestra Zona techos bajos(Zona 3)	PCEIA-15	633	< 1,30	80	35	2129	2690	< 1,50	10	17715	236	< 1,00	< 1,00	32	1143	< 1,50	78	9324
Muestra Zona techos bajos/interior+exterior	PCEIA-16	488	< 1,30	67	25	2363	2022	< 1,50	10	9080	479	< 1,00	< 1,00	25	706	1,87	51	8811



Tabla 6: Resumen de los resultados de los análisis de hidrocarburos en el polvo recolectado en el establecimiento CEIA.

	Muestra	Hidrocarburos totales de Petróleo (TPH's) (F4G-SG)	Hidrocarburos Totales Petróleo F1 (C6-C10)	Hidrocarburos Totales Petróleo F2(C10-C16)	Hidrocarburos Totales Petróleo F3(C16-C34)
Lugar de la muestra		mg/kg	mg/Kg	mg/kg	mg/kg
Muestra Techo Bodega Salón	PCEIA-1	945	< 30,0	< 21	180
Muestra Techo edificio N1	PCEIA-2	780	< 30,0	39	195
Muestra Techo edificio N2	PCEIA-3	1245	< 30,0	73	222
Muestra Techo Salon Ext/Int	PCEIA-4	855	< 30,0	36	248
Muestra Techo Zona B	PCEIA-5	3135	< 30,0	121	1046
Muestra Zona 1	PCEIA-6	3345	< 30,0	181	1120
Muestra Zona 2	PCEIA-7	---	---	---	---
Muestra Zona 3	PCEIA-8	3165	< 30,0	240	1294
Muestra Zona A (2-3 piso)	PCEIA-9	---	---	---	---
Muestra Zona B (2-3 piso)	PCEIA-10	---	---	---	---
Muestra Zona paneles solares	PCEIA-11	2295	< 30,0	243	660
Muestra Zona Patio/Lateral-Coquimbo	PCEIA-12	2940	< 30,0	287	1003
Muestra Zona PIE/Salón	PCEIA-13	1860	< 30,0	211	865
Muestra Zona salon interior(2piso)	PCEIA-14	2910	< 30,0	204	1128
Muestra Zona techos bajos(Zona 3)	PCEIA-15	1905	< 30,0	167	393
Muestra Zona techos bajos/externo+interior	PCEIA-16	900	< 30,0	146	202



Tabla 7: Resumen estadístico de los resultados químicos de elementos de interés en el polvo recolectado en el establecimiento CEIA.

Elemento	Promedio (mg/kg)	Maximo (mg/kg)	Minimo (mg/kg)	Mediana (mg/kg)	Desviación media absoluta (DMA) (mg/kg)
Aluminio (Al)	11.281	19.829	8.058	10.469	1.890
Antimonio (Sb)	23	71	11	16	12
Arsenico (As)	138	316	73	126	49
Bario (Ba)	446	630	244	463	95
Berilio (Be)	3	3	2	3	1
Bismuto (Bi)	13	39	5	8	8
Boro (B)	144	242	81	139	39
Cadmio (Cd)	26	83	13	19	14
Calcio (Ca)	68.006	106.584	45.708	62.958	14.667
Cromo (Cr)	89	131	65	86	17
Cobalto (Co)	22	29	15	22	3
Cobre (Cu)	11.141	27.653	5.606	9.326	4.592
Hierro (Fe)	60.663	85.492	41.095	54.584	12.940
Plomo (Pb)	941	3.697	265	593	638
Litio (Li)	195	254	121	198	36
Magnesio (Mg)	9.771	11.514	7.134	9.894	1.042
Manganeso (Mn)	680	939	488	634	121
Mercurio (Hg)	0	0	0	0	0
Molibdeno (Mo)	113	226	54	88	45
Níquel (Ni)	44	60	25	46	8
Fósforo (P)	2.675	7.959	1.729	2.157	994
Potasio (K)	2.780	3.703	1.906	2.788	317
Selenio (Se)	3	7	2	2	1
Plata (Ag)	17	57	7	11	10
Sodio (Na)	16.429	24.542	4.478	17.573	5.762
Estroncio (Sr)	260	479	169	229	71
Telurio (Te)	0	0	0	0	0
Talio (Tl)	0	0	0	0	0
Estaño (Sn)	76	436	25	43	20
Titanio (Ti)	956	1.375	547	946	179
Uranio (U)	2	2	2	2	0
Vanadio (V)	72	95	50	73	11
Zinc (Zn)	10.869	31.670	4.581	8.810	4.941



Tabla 8: Resumen estadístico de los resultados de los hidrocarburos totales en mg/kg del polvo recolectado en el establecimiento CEIA.

Tipo de Hidrocarburo	Promedio (mg/kg)	Maximo (mg/kg)	Minimo (mg/kg)	Mediana (mg/kg)	Desviación media absoluta (DMA) (mg/kg)
Hidrocarburos totales de Petróleo (TPH's) (F4G-SG)	2022	3345	780	1905	871
Hidrocarburos totales de Petróleo F1 (C6-C10)	0	0	0	0	0
Hidrocarburos totales de Petróleo F2 C10-C16	162	287	36	174	66
Hidrocarburos totales de Petróleo F3 C16-C34	658	1294	180	660	386

De acuerdo a la norma de emisión Decreto 130 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; (Subsecretaría de transportes)^x, que tiene como objetivo de protección ambiental reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (MP) provenientes de los motores de buses de locomoción colectiva, esta considera que para la emisión de vehículos deberá ser para los Hidrocarburos Totales (HCT) de 100 partes por millón (ppm) como máximo. Los resultados obtenidos en la tabla 8, muestran el resumen estadístico de los resultados químicos de hidrocarburos totales en las muestras, los cuales según el promedio obtenido para los hidrocarburos totales (HCT), estos valores superan en todas las fracciones la norma de emisión anteriormente mencionada.

Los hidrocarburos son contaminantes primarios; su importancia radica en la gran cantidad de fuentes y el volumen de sus emisiones al aire. Se forman por la combustión de productos como la gasolina, el petróleo, el carbono y la madera y la mayor producción se debe a las actividades de la industria petrolera, así como a los vehículos de motor.

Los compuestos en las diferentes fracciones de los hidrocarburos totales de petróleos (TPH) afectan la salud de manera diferente. Algunos componentes de los TPH, como el benceno, tolueno y xileno los cuales se encuentran en la gasolina, pueden afectar el sistema nervioso de seres humanos. La inhalación de concentraciones de benceno más altas de 100 partes por millón (ppm) durante varias horas puede producir fatiga, dolor de cabeza, náusea y adormecimiento. Cuando ya no hay exposición, los síntomas desaparecen, pero la exposición durante un largo periodo puede producir un daño permanente del sistema nervioso central. Tal es, que uno de los componentes como el n-hexano, puede afectar el sistema nervioso central de tal manera que produce una alteración de los nervios conocida como neuropatía periférica, que es caracterizada por la pérdida de la

sensación en las piernas y pies, en casos más graves, puede provocar parálisis. Otros compuestos de estos, pueden producir dolores de cabeza, mareo, también efectos a la sangre, al sistema inmunitario, los pulmones, la piel, los ojos, el hígado, el bazo, los riñones y los pulmones. Incluso la exposición a altas concentraciones de TPH pueden ser letales. La agencia internacional para la investigación del cáncer ha determinado que otro componente como el benceno, es cancerígeno, a tal punto que ha producido leucemia.

ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTICULA – MICROTRAC

Análisis Granulométrico.

Las muestras son analizadas en el equipo Microtrac S3500 (Figura 4), utilizando como medio de dispersión agua destilada/desionizada. Antes de realizar el análisis se aplica por 60 s ultrasonido esto para asegurar que no haya partículas aglomeradas en las muestras. Cabe señalar que cada medición se realizó en triplicado y los resultados entregados representan el promedio obtenido para tres mediciones de cada muestra.



Figura 4: Equipo Microtrac S3500.

A continuación, se presentan en tablas y gráficas los resultados de la distribución de tamaño de partículas para las muestras analizadas. La distribución del tamaño de partículas de las muestras recolectadas en el CEIA se representa en la gráfica de la Figura 5.

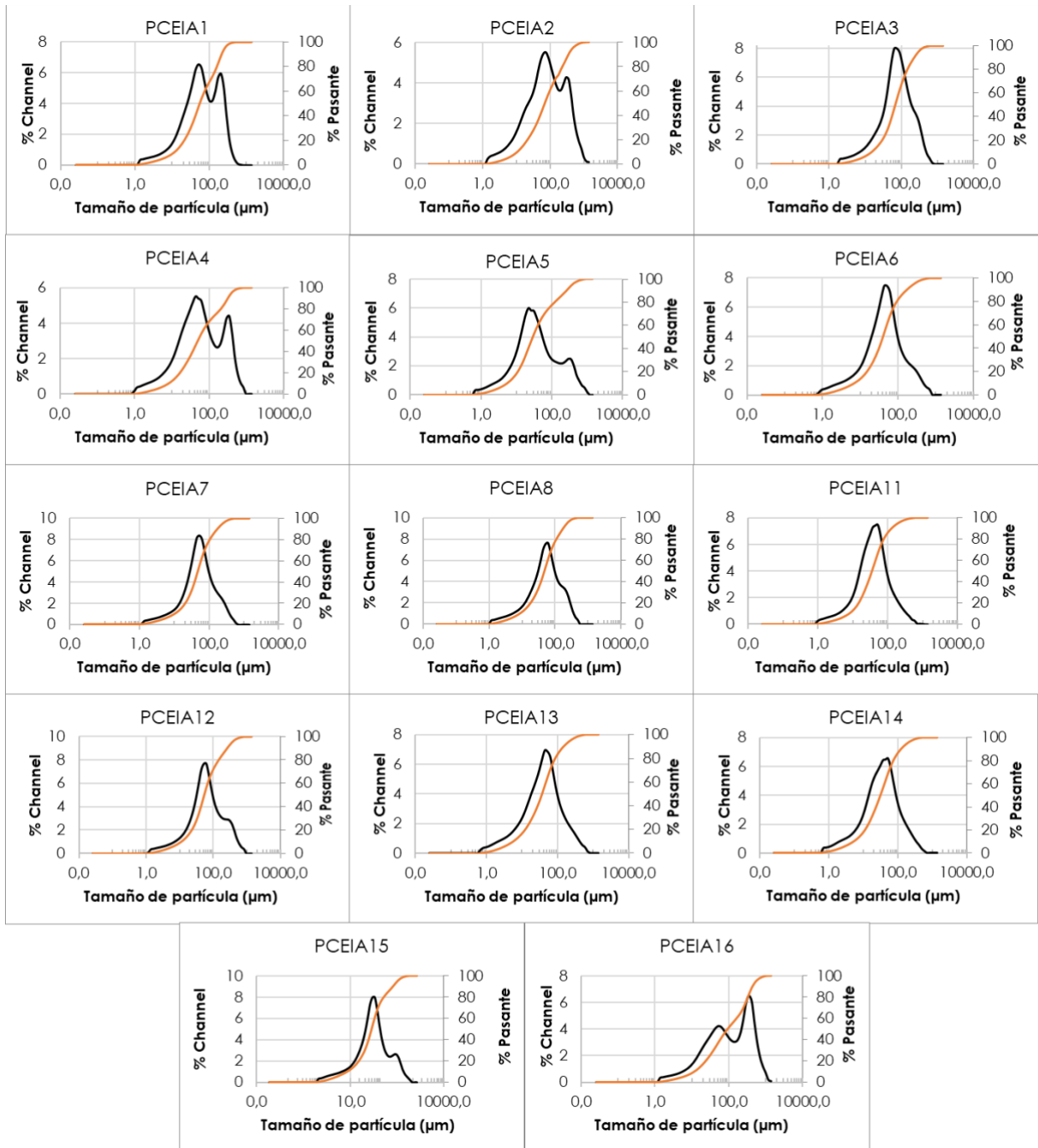


Figura 5: Distribución porcentual de partículas versus el tamaño de partículas.



En la tabla 9 se presentan los porcentajes del polvo presente en las muestras de tamaños $\leq 10 \mu\text{m}$

Tabla 9: Porcentajes de tamaños pequeños en las muestras de CEIA.

ID MUESTRA	1 μm	2,5 μm	5 μm	10 μm
CEIA1 (%)	0,003	1,916	4,47	8,86
CEIA2 (%)	0,000	1,764	4,50	9,57
CEIA3 (%)	0,000	0,889	3,01	6,75
CEIA4 (%)	0,190	2,848	6,21	12,15
CEIA5 (%)	1,118	4,490	9,12	18,20
CEIA6 (%)	0,588	3,660	7,46	13,55
CEIA7 (%)	0,013	2,179	5,15	9,88
CEIA8 (%)	0,040	2,701	6,06	11,48
CEIA11 (%)	0,300	2,926	6,31	12,80
CEIA12 (%)	0,012	2,088	4,82	9,20
CEIA13 (%)	1,023	4,523	9,05	16,71
CEIA14 (%)	1,173	4,849	9,49	17,82
CEIA15 (%)	0,390	3,291	6,70	11,64
CEIA16 (%)	0,000	1,808	4,31	8,56

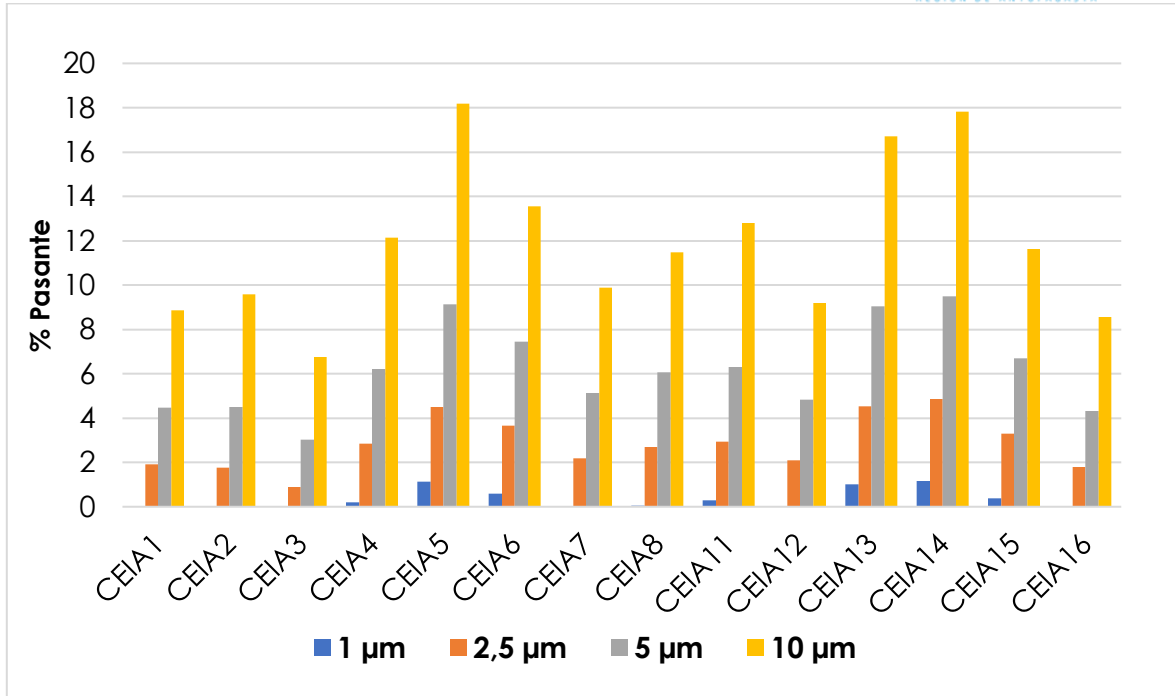


Figura 6: Tamaño de partículas según material particulado.

En la figura 6, se observa para las muestras analizadas que el tamaño medio de las partículas se encuentra en un rango de 24,34 a 93,21 µm.

De acuerdo a la tabla y figura anterior se determina que en promedio el 11,94 % de las muestras analizadas corresponde a un tamaño de 10 µm o menor, y el 2,85 % a un tamaño de 2,5 µm o menor.



La difracción de rayos X (DRX), permite determinar la presencia e identificación de compuestos sólidos en estado cristalino en una muestra sólida.

Se realizó el análisis en un equipo Difractómetro Bruker D8 Advance; Longitud de onda: 1.5406 Å, correspondiente a un ánodo de Cu; Rango de Scan: 5-70 2θ M1, 20-70 2θ M2; Paso de barrido: 0.02 2θ

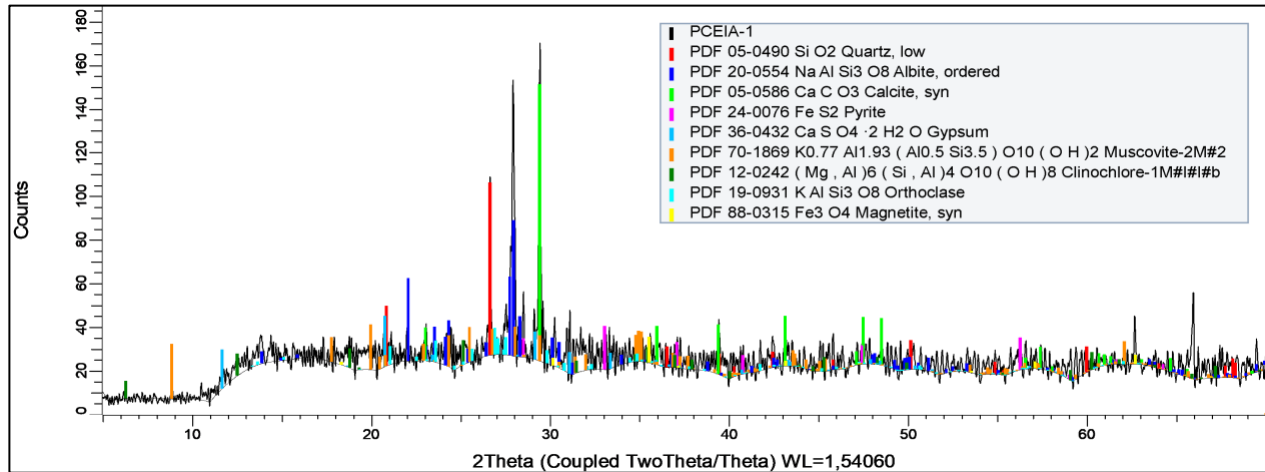


Figura 7: Difractograma de la muestra de polvo PCEIA 1.

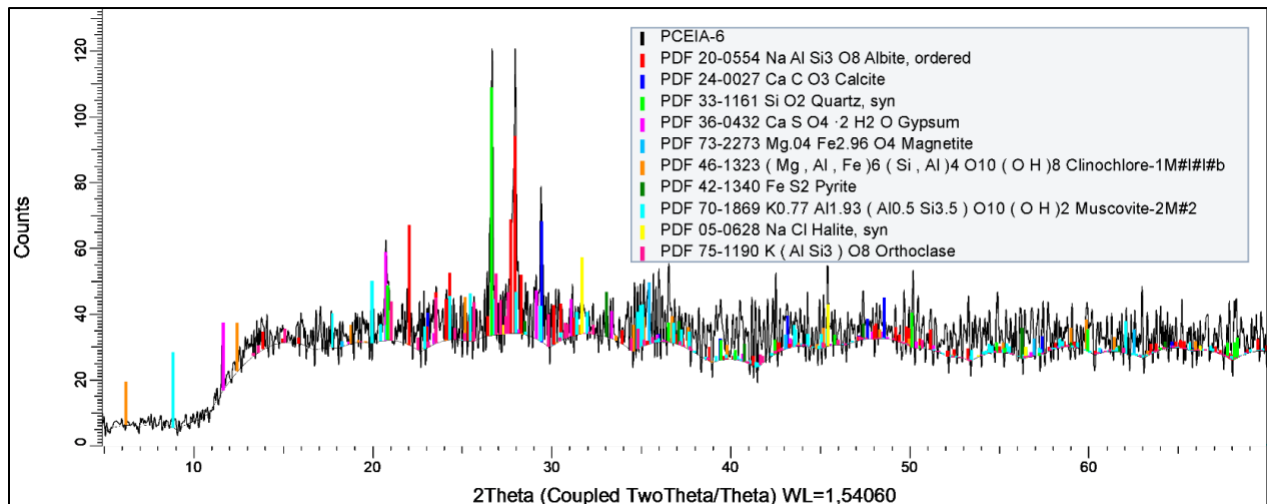


Figura 8: Difractograma de la muestra de polvo PCEIA 6.

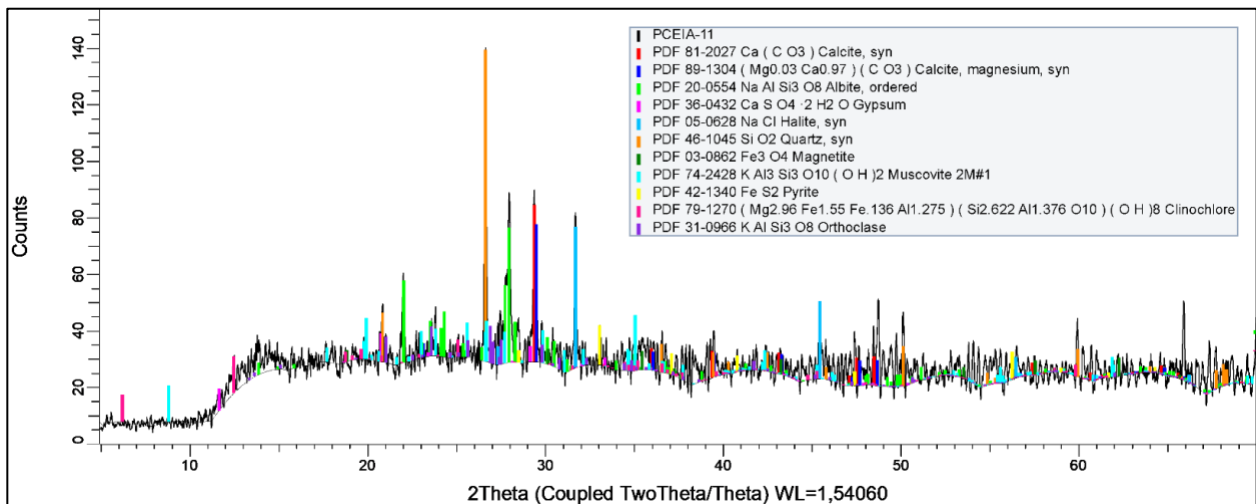


Figura 8: Difractograma de la muestra de polvo PCEIA 11

Todas las muestras presentan un alto porcentaje de amorfosidad o fases no cristalinas (60,3 a 70,6%), lo que dificulta la identificación de especies.

Todas las muestras presentan Magnetita (Fe_3O_4), lo que influye en los porcentajes de amorfosidad, por el aumento en la fluorescencia debido al contenido de Hierro (Figuras 6 al 8).

Fases minerales, tales como la magnetita, muscovita y pirita son abundantes en procesos de minerales, tales como concentrados y relaves.

Composición mineralógica

Se realizó un análisis detallado de la composición mineralógica de tres muestras en el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de Rayos X, en la UCN. Las muestras seleccionadas contenían altas concentraciones de Cobre y de Hierro.

Los resultados de este análisis evidenciaron la presencia de compuestos que están relacionados con albita y clorita, que son minerales del grupo de los aluminosilicatos, subgrupo tectosilicatos, y dentro de ellos pertenece a los feldespatos. Por otro lado, también se encontraron minerales de calcita y cuarzo, compuestos que por lo general se encuentran en el medio ambiente y en el polvo de la ciudad.

Sin embargo, cabe resaltar que, aunque en menor proporción se evidenciaron la presencia de compuestos asociadas a los minerales de cobre (Cu), como lo son la calcopirita, nantokite y chalcociterite, además de corroborar la presencia de



compuestos asociados al hierro como son la magnetita, pirita y titanomagnetita. Los resultados de estas muestras se observan en las Tablas 10 al 12.

Tabla 10: Resultado composición Mineralógica Modal Muestra PCEIA-2

Mineral Compuesto	Formula empírica	W% Rietveld
Cuarzo	SiO ₂	15.7
Calcita	CaCO ₃	12.6
Anhidrita	CaSO ₄	0.7
Clorita	(Mg ₅ Al)(Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	21.3
Natrolunita	Na _{0.58} K _{0.42} (Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	0.8
Esfalerita	ZnS	2.6
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	35.9
Magnetita	FeFe ₂ O ₄	2.6
Pirita	FeS ₂	1.8
Calcopirita	CuFeS ₂	2.8
Titanomagnetita	Fe ₂ TiO ₄	1.4
Nantokite, syn	CuCl	1.8
Chalcosiderite	CuFe ₆ (PO ₄) ₄ (OH) ₈ ·4H ₂ O	0.2

Tabla 11: Resultado composición Mineralógica Modal Muestra PCEIA-5.

Mineral Compuesto	Formula empírica	W% Rietveld
Calcita	CaCO ₃	24.0
Yeso	CaSO ₄ ·2H ₂ O	20.8
Cuarzo	SiO ₂	9.9
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	19.7
Halita	NaCl	7.1
Clorita	(Mg ₅ Al)(Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	9.4
Anhidrita	CaSO ₄	0.7
Ortoclase	KAlSi ₃ O ₈	5.0
Magnetita	FeFe ₂ O ₄	1.5
Pirita	FeS ₂	1.2
Calcopirita	CuFeS ₂	0.8



Tabla 12: Resultado composición Mineralógica Modal Muestra PCEIA-11.

Mineral Compuesto	Formula empírica	W% Rietveld
Cuarzo	SiO_2	8.3
Calcita	CaCO_3	13.5
Esfalerita	ZnS	0.8
Pirita	FeS_2	1.2
Calcopirita	CuFeS_2	0.9
Halita	NaCl	4.6
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	31.9
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4.2
Clorita	$(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	10.6
Ortoclasa	KAlSi_3O_8	5.7
Muscovita	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	12.8
Hornblenda	$\text{Na}_9\text{K}_4\text{Ca}_{1.6}\text{Mg}_{2.9}\text{Fe}_{1.4}\text{Ti}_5\text{Al}_{2.4}\text{Si}_6\text{O}_{24}$	4.2
Magnetita	Fe_3O_4	1.5

ANÁLISIS COMPARATIVOS

La actividad industrial y minera libera al ambiente metales tóxicos como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As) y cromo (Cr), muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de las formas de vida. Según el promedio de los resultados químicos obtenidos del polvo acumulado por largo tiempo en el establecimiento CEIA (Tabla 7), los porcentajes de los elementos peligrosos de interés que se encontraron en este polvo, como Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Zinc (Zn) se muestran en Figura 9, dentro de los cuales en el 2% se encuentra otros elementos de interés en menor porcentaje (Figura 10), pero que de igual forma pueden causar un daño grave a la salud y medioambiente.

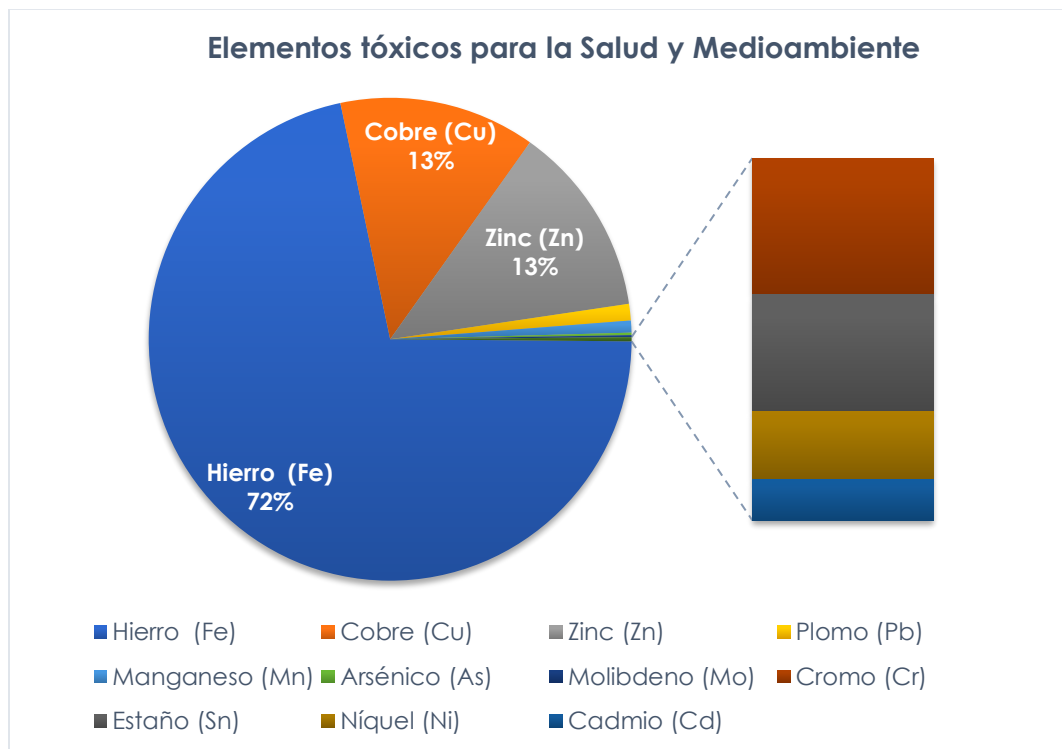


Figura 9: Porcentaje de metales pesados en mayor proporción que se encuentran en el polvo del CEIA.

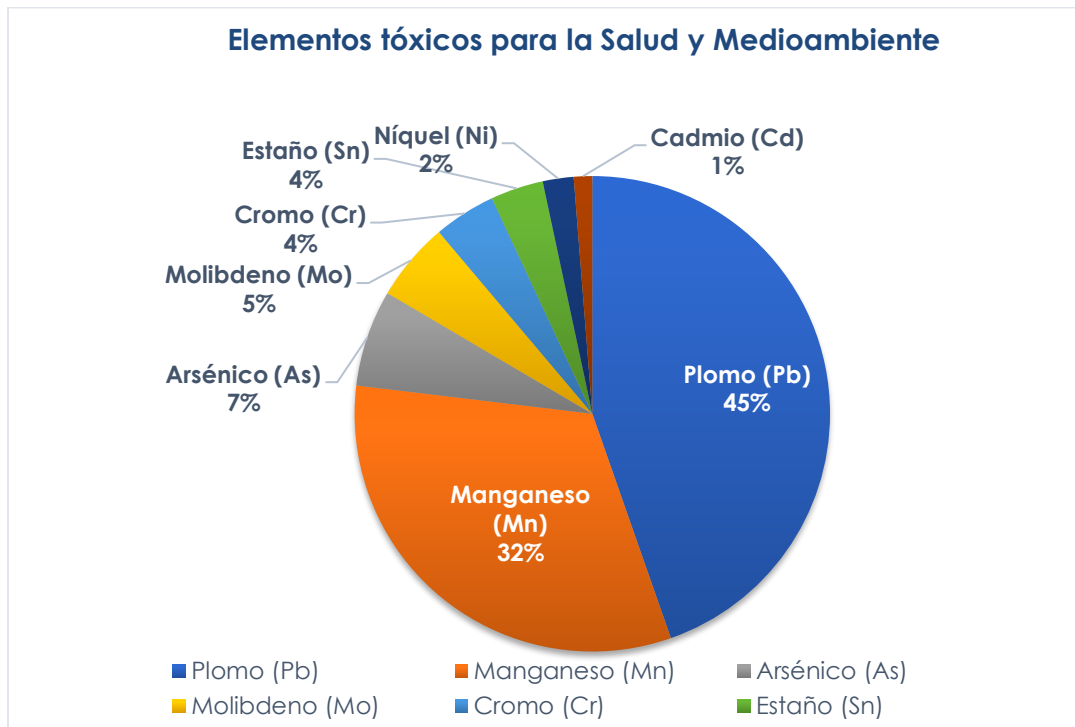


Figura 10: Porcentaje de metales pesados y elementos tóxicos en menor proporción.

De acuerdo a los datos revisados en el estudio que realizaron investigadores de la región en la zona del puerto, en el artículo de Tapia *et al.*, 2018; "Fuentes geológicas y antropogénicas de contaminación en polvo sedimentado de una histórica ciudad portuaria minera del norte de Chile: implicaciones de riesgo para la salud"x, en el cual se tomaron muestras en 2014 y 2016 cercanas al sector del puerto, evidenciaron la presencia de concentraciones elevadas de As, Cu, Pb y Zn en el polvo de la calle y en muestras de sangre (Pb) y orina (As) de los residentes.

Al comparar los datos obtenidos de dicho artículo y nuestros resultados (Tabla 7), el polvo extraído del establecimiento acumulado en años se evidenció que los resultados de algunos metales son mayores. Según lo que se observa en la Tabla 13, los metales que aumentan son el Bario (Ba) (+137%), Cobalto (Co) (+29%), Cromo (Cr) (+44%), Manganese (Mn) (+19%), Molibdeno (Mo) – Níquel (Ni) (+51%) y Plomo (Pb) (+33%). Algunos de estos metales están relacionados a la presencia del concentrado de Cu, como es caso del Co y Mo.



Tabla 13: Comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidas en el artículo Tapia *et al.*, 2018 y los resultados de este estudio.

	Polvo Antofagasta sector Puerto	Polvo establecimiento CEIA frente al Puerto	Variabilidad
	Promedio 2014-2016	Promedio 2023	Porcentaje aumento o disminución
Elemento	(mg/kg)	(mg /kg)	%
As	239	138	-42%
Ba	188	445	137%
Cd	45	26	-42%
Co	17	22	29%
Cr	61	88	44%
Cu	10.821	11.141	3%
Mn	573	680	19%
Mo	75	113	51%
Ni	29	44	52%
Pb	710	941	33%
V	95	72	-24%
Zn	11.869	10.868	-8%

Los resultados de análisis químicos de los metales pesados y elementos tóxicos de interés fueron comparados con las distintas normativas u ordenanzas revisadas, las cuales se presentan en las Figuras 11 al 14. Los resultados arrojaron que, para cada uno de los elementos analizados, la mayoría superaban los límites permitidos de las normativas de suelo y de calidad de aire. En el caso de plomo (Pb), elemento tóxico para la salud supera en algunos casos diez veces la concentración permitida por el decreto D.S 136 específica para Pb. Lo mismo ocurre con el As que supera considerablemente la concentración permitida por el reglamento de la Unión Europea para MP10 en todas las muestras. Los elementos Cd y Ni también superaron las normativas de calidad ambiental de suelo y el reglamento de la Unión Europea para MP10.

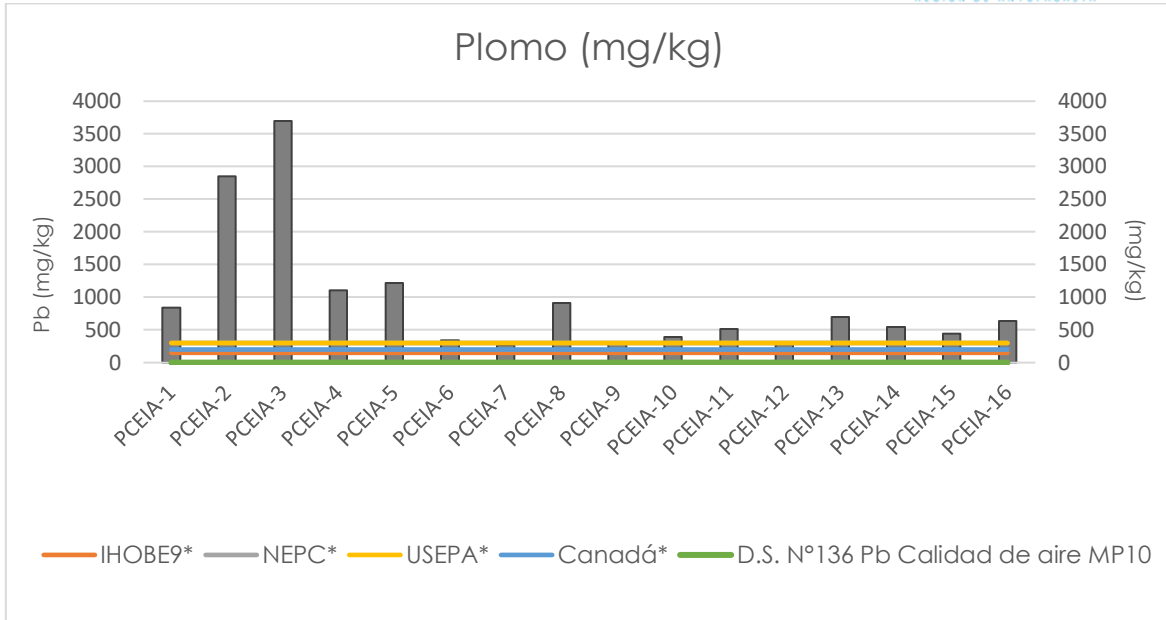


Figura 11: Comparación de las concentraciones de Pb del polvo con normativas internacionales de suelo y normativa chilena de calidad de aire.

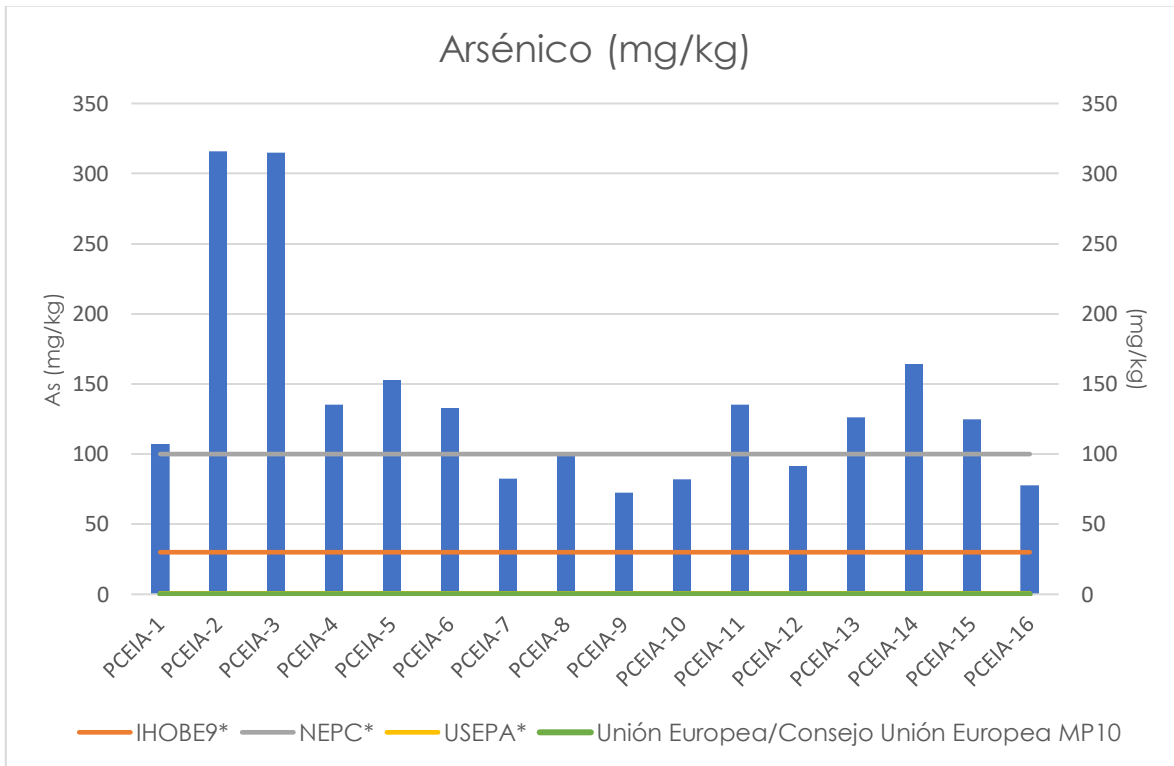


Figura 12: Comparación de las concentraciones de As del polvo con normativas internacionales de suelo y normativa chilena de calidad de aire.

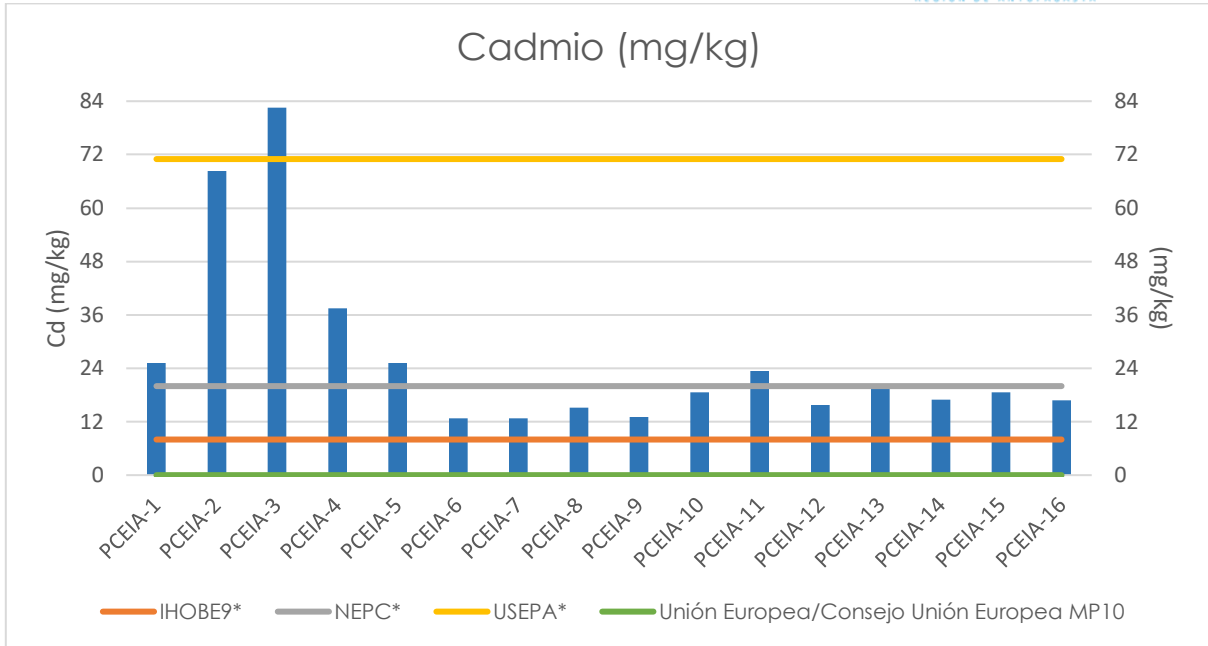


Figura 13: Comparación de las concentraciones de Cd del polvo con normativas internacionales de suelo y normativa chilena de calidad de aire.

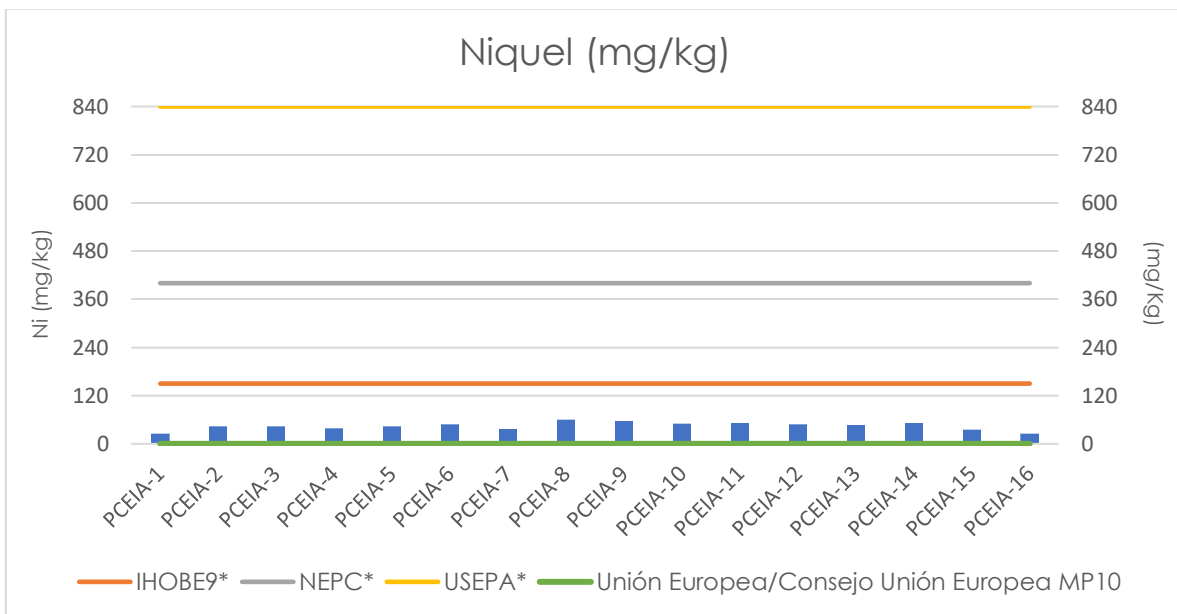


Figura 14: Comparación de las concentraciones de Ni del polvo con normativas internacionales de suelo y normativa chilena de calidad de aire.



A continuación, se presenta el análisis de la concentración de los metales pesados de Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Cromo (Cr), los cuales solo fueron comparados con las Normativas internacionales de calidad ambiental para suelos, debido a que no existen normativas de calidad de aire para estos elementos. Un contenido considerable de estos metales fue detectado en las muestras recolectadas en el CEIA. En la Figura 15, se observa que las concentraciones de Cu superan los límites máximos permitidos en todas las normativas residenciales para el Cu.

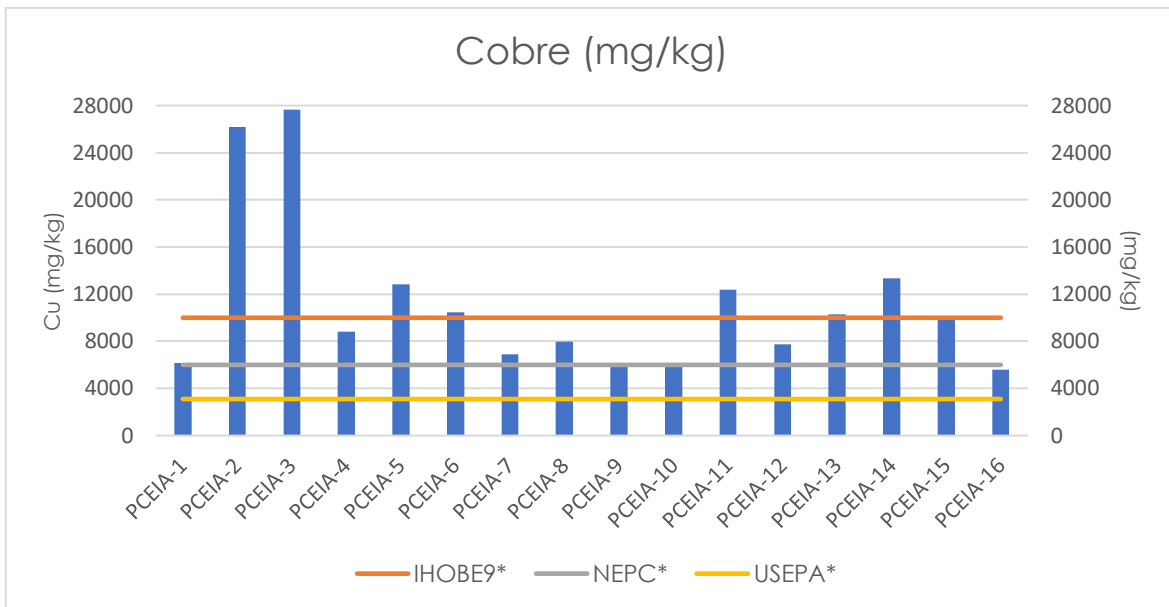


Figura 15: Comparación de las concentraciones de Cu del polvo con normativas internacionales de suelo.

Con respecto a las concentraciones de Fe, en la Figura 16 se muestra la comparación con la única normativa que contiene Fe en sus límites permitidos USEPA, la cual es superada en 14 de las muestras recolectadas.

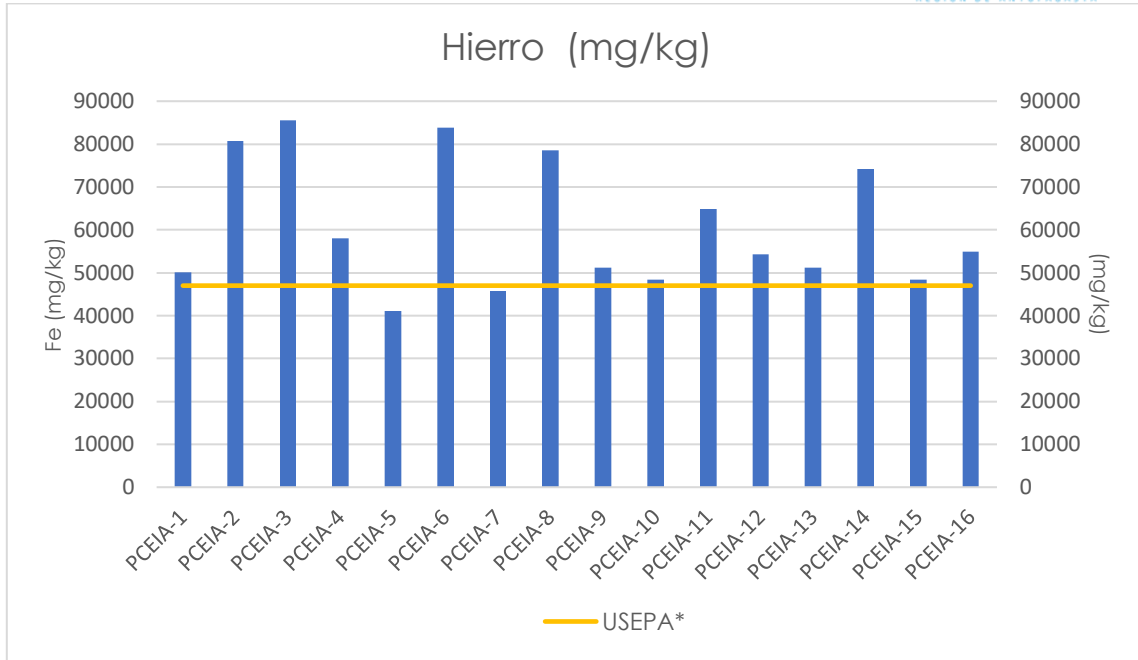


Figura 16: Comparación de las concentraciones de Fe del polvo con normativas internacionales de suelo.

En la figura 17, se observa que la mayoría de las muestras superan la normativa de la USEPA y solo tres de las muestras superan los límites permitidos en la normativa NEPC.

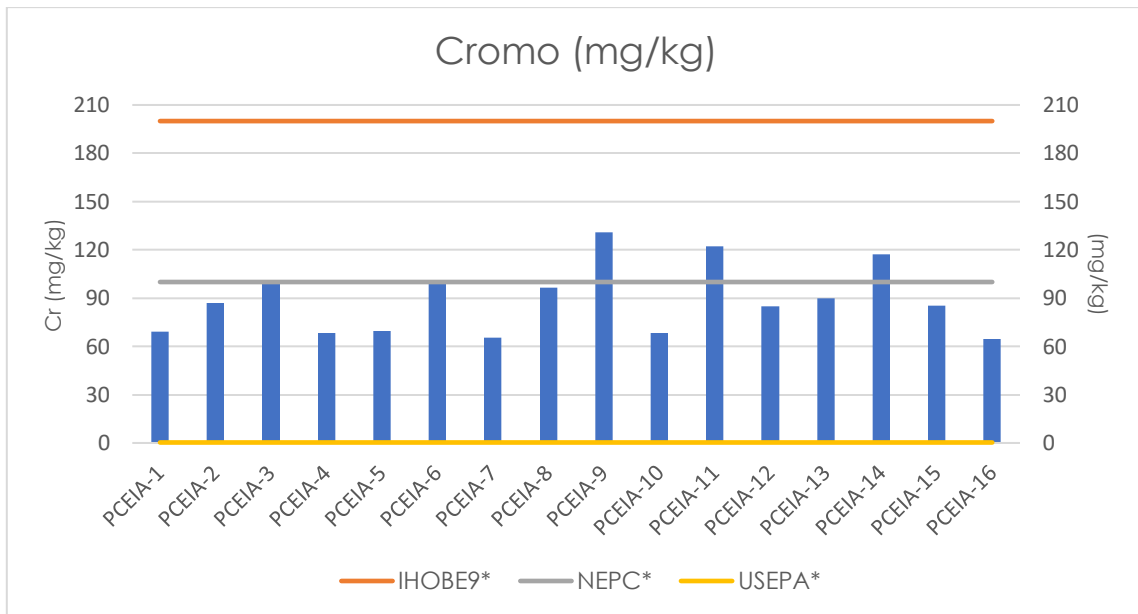


Figura 17: Comparación de las concentraciones de Cr del polvo con normativas internacionales de suelo.



CONCLUSIONES PRELIMINARES

De acuerdo a los resultados obtenidos para las muestras tomadas en el CEIA, considerando el promedio, y comparándolo con las normas de referencia internacionales para suelos residenciales, los elementos Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Arsénico (As) exceden las normativas de IHOBE9, NEPC Y USEPA.

El Hierro (Fe) y Cromo (Cr) exceden la normativa de la USEPA, en tanto que el Molibdeno (Mo) excede la norma de IHOBE9 y el Cadmio (Cd) las normativas de IHOBE9 y NEPC.

Las muestras PCEIA2 y PCEIA3 que corresponden a los techos del edificio 1 y 2 presentan una mayor concentración de Cobre (Cu), Plomo (Pb), Arsénico (As), Zinc (Zn) y Cadmio (Cd), en comparación a los demás puntos de muestreo.

En las muestras de polvo, los elementos tóxicos más abundantes que se encontraron, fueron el Hierro (Fe) 72%, cobre (Cu) 13% y Zinc (Zn) 13%. En menor proporción, pero altamente significativa es la presencia de plomo (Pb), Arsénico (As), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Níquel (Ni).

Las concentraciones de plomo (Pb) contenidas en el polvo del CEIA supera, en todas las muestras recolectadas la normativa de calidad de aire del D.S N°136. Las concentraciones de algunas muestras superan más de 10 veces el límite permitido de esta norma, principalmente el polvo recolectado de los puntos que son cercanos a las vías de tránsito principales y la de los techos.

Los elementos tóxicos como As, Cd, y Ni, son considerados elementos de interés en la calidad de aire, por su afectación en la salud y el medioambiente en reglamentos u ordenanzas internacionales. Estos elementos en la mayoría de las muestras superan los límites permitidos con estas normativas internacionales.

La concentración de hidrocarburo totales (HCT) en todas las fracciones analizadas superan los niveles considerados en el Decreto 130/2015 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, donde la emisión máxima de HCT es 100 partes por millón (ppm). La inhalación de benceno, el que corresponde a un hidrocarburo aromático, en concentraciones más altas de 100 (ppm) durante varias horas puede producir fatiga, dolor de cabeza, náusea y adormecimiento. La exposición durante un largo periodo puede producir un daño permanente del sistema nervioso central. Además, algunos hidrocarburos son tóxicos para las plantas y animales a concentraciones relativamente altas.

Para todas las muestras analizadas, la distribución del tamaño de partículas se encuentra en un rango entre 24,34 a 93,21 μm y el tamaño medio de las partículas



promedia un 48,86 μm . Sin embargo, el 11% de las muestras tiene un tamaño de 10 μm y casi el 3% un tamaño de 2,5 μm . El material particulado contiene sólidos microscópicos y gotas de líquido (aerosoles) que son tan pequeños que pueden inhalarse y provocar graves problemas de salud. Las partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (MP_{10}) o suponen los mayores problemas, debido a que pueden llegar a la profundidad de los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo.

Todas las muestras presentan la fase Magnetita (Fe_3O_4), lo que influye en los porcentajes de amorfosidad, por el aumento en la fluorescencia debido al contenido de Hierro.

En todas las muestras de polvo se encuentran los compuestos que están relacionados con albita y clorita, que son minerales del grupo de los aluminosilicatos. Algunos estudios sugieren que la exposición a cantidades altas de aluminio puede causar enfermedad de Alzheimer y renales.

Por otra parte, el análisis de composición mineralogía también arrojó que en las muestras se encontraron minerales relacionados a la actividad minera, como lo son la calcopirita, muscovita, nantokita y calcosiderita, además de la presencia de compuestos asociados al hierro como son la magnetita, pirita y titanomagnetita.

La comparación realizada con los datos del artículo de Tapia et al., 2018, confirma la presencia y revela un aumento de metales en la zona y principalmente en el polvo acumulado en el establecimiento con rangos altos de metales pesados, como Bario (Ba), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo, en donde algunos de estos elementos están relacionados a la presencia del concentrado de Cu.

Los resultados preliminares que se presentan en este informe, generan una línea base de las características del polvo acumulado en el CEIA. Las altas concentraciones de los metales pesados o elementos tóxicos como el Cromo (Cr), Bario (Ba) y Níquel (Ni) pueden deberse a las condiciones geológicas naturales de la región, mientras que la concentración de elementos como Arsénico (As), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) puede deberse a fuentes antropogénicas.



REFERENCIAS

- i Norma IHOBE para uso residencial. IHOBE, S.A. (2002) Manual práctico para la investigación de la contaminación de suelo. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medioambiente. Gobierno Vasco, España.
- ii Norma NEPC para uso residencial. Naidu, R., Oliver, D., McConnell, S. (2003). Heavy metals phytotoxicity in soils. In: A. Landey., M. Gilbey., y B. Kennedy. (Eds). Proceedings of the fifth national workshop on the assessment of the site contamination (pp. 235-241). Australia: National Environment Protection Council (NEPC).
- iii Norma USEPA para uso residencial. U.S Environmental Protection Agency (EPA). (1993). Standards for use or disposal of sewage sludge. Final rule, 40 CFR Part 503. Federal Register. 58(32), 9248-92415.
- iv D.S N°4 de 1992, del Ministerio de Agricultura, el cual Establece Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la Cuenca del Río Huasco III Región.
- v Primer Reglamento Administrativo General relativo a la Ley Federal de Control de Inmisiones (Instrucciones técnicas sobre control de calidad del aire - TA Luft, 2002).
- vi Ordenanza sobre control de Contaminación del Aire (OAPC). 1985.
- vii D.S. N°136/2001 del MINSEGPRES, la cual Establece Norma de Calidad Primaria para Plomo en el Aire.
- viii Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air.
- ix Decreto 130 Establece Normas de emisión de monóxido de carbono (Co), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), metano (CH4), óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (MP) para motores de buses de locomoción colectiva de la ciudad de Santiago. Ministerio de transportes y telecomunicaciones; Subsecretaria de transportes (2001).
- x Tapia JS, Valdés J, Orrego R, Tchernitchin A, Dorador C, Bolados A, Harrod C. 2018. Geologic and anthropogenic sources of contamination in settled dust of a historic mining port city in northern Chile: health risk implications. PeerJ 6:e4699 <https://doi.org/10.7717/peerj.4699>.