



LICENCIATURA EN GEOLOGIA
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Catamarca



SEMINARIO

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Estudiante: Valeria Alejandra Alvarez
MUN°00524

Directora: Lic. Romina Pamela Nieto

Asesor: Geol. Gabriel López Vásquez



NOVIEMBRE/2017

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	7
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.2 OBJETIVOS.....	8
2.2.1 General.....	8
2.2.2 Específicos	8
2.3 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	8
2.4 VIAS DE ACCESO.....	10
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 FUNDAMENTACIÓN	12
3.2 ANTECEDENTES.....	14
3.2.1 Marco normativo.....	14
3.2.2 Otros estudios realizados en la región.....	19
4. METODOLOGÍA.....	24
4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	24
4.2 TRATAMIENTO DE DATOS	24
4.2.1 Criterios empleados para el tratamiento de datos.....	24
4.2.2 Monitoreo de Aire	25
4.2.3 Monitoreo de Sedimentos.....	28
4.2.4 Datos Meteorológicos.....	29
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
4.3.1 Niveles de referencia	30
4.3.2 Sedimentos	32
5. FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	33
5.1 OROGRAFIA	33
5.2 HIDROGRAFIA	33
5.3 BIOMAS Y CLIMAS	33
5.3 DEMOGRAFIA, MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE.....	35
5.4 TURISMO Y ARQUEOLOGIA.....	36
5.5 ACTIVIDAD ECONOMICA	36
6. GEOLOGÍA	38
6.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	38

6.2 GEOLOGIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
6.2.1 Estratigrafía	40
6.2.2 Geomorfología y usos del suelo	43
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	49
7.1.1 Niveles de referencia	49
7.1.2 Sedimentos	61
7.1.3 Datos meteorológicos	62
7.2 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	67
8. CONCLUSIONES	75
Recomendaciones	77
9. REFERENCIAS	78
10. BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXO GENERAL.....	83
ANEXO CARTOGRÁFICO	104
ANEXO NORMATIVO	105

RESUMEN

El Complejo Volcánico Farallón Negro se encuentra ubicado al noroeste de la Provincia de Catamarca. Comprende una gran caldera volcánica de edad terciaria, que constituye la roca de caja de un sistema de vetas rico en oro; otorgándole gran interés para el emplazamiento de varios proyectos mineros. Las actividades que se desarrollan en el área pueden modificar la calidad de aire, llegando incluso a afectar a las localidades cercanas. Es de gran importancia entonces, poder analizar las concentraciones de parámetros medidos en el aire (MP_{10} , PTS y MPS), en localidades cercanas al Complejo, que permitan establecer niveles de referencia de calidad del aire en el área. Para ello, se utilizaron datos preexistentes, tomados en las estaciones de monitoreo de Minera Alumbra, ubicadas en las localidades de Amanao (Dpto. Andalgalá), Hualfín y Los Nacimientos (Dpto. Belén), correspondientes al Programa de Control Ambiental, aprobado por la Secretaría de Estado de Minería. Para el cálculo de estos niveles, se utilizó una metodología que abarca los parámetros estadísticos descriptivos más sencillos. Los resultados obtenidos se correlacionaron con valores de concentraciones de sedimentos medidas en las mismas estaciones, con variables meteorológicas medidas en estaciones cercanas, con la geología/geomorfología de los terrenos circundantes y también, con los estándares establecidos para aire en las normativas vigentes. Se obtuvo que, los niveles de referencia calculados se encuentran relacionados con la mineralogía de los terrenos del Complejo Volcánico Farallón Negro, actuando como zona de emisión del material que se mide en las estaciones de monitoreo. Además, se observó que el nivel de referencia para MP_{10} , en la localidad de Los Nacimientos, y MPS, en las localidades de Hualfín y Amanao, se encuentra superando los niveles guías establecidos en las legislaciones vigentes.

Palabras claves: calidad de aire, monitoreo, afectación, niveles guías, minería.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Trabajo Final, desarrollado para cumplimentar el requisito que establece el Plan de Estudio (2004) de la Carrera de Licenciatura en Geología de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca para acceder al título de Licenciado en Geología.

Para ello, se trabajó con una metodología adaptada al tema para determinar Niveles de Referencia. Se utilizaron datos de calidad de aire medidos entre 2013 y 2016, en tres estaciones de monitoreo pertenecientes a la empresa Minera Bajo de la Alumbrera (MAA), que se ubican en las poblaciones de Los Nacimientos, Hualfín y Amanao (Departamentos Belén y Andalgalá), los cuales se depuraron y procesaron a través de diferentes criterios y el empleo de software adecuado, a fin de poder analizarlos y evaluarlos. Se emplearon además, datos de muestreo de sedimentos medidos entre 2013 y 2014 en las estaciones de MAA y datos de estaciones meteorológicas disponibles en entidades estatales y privadas. Asimismo, se relacionó el entorno geológico, a nivel regional y de detalle, con las posibles áreas de aporte de sedimentos.

La metodología estadística usada para el cálculo de Niveles de Referencia abarca los parámetros estadísticos descriptivos más sencillos (media, mediana, desviación estándar y cuartiles). La ecuación de obtención, en el caso de que los datos sigan una distribución normal, está dada por: $X+nDE$, donde X es el valor medio o promedio de las concentraciones y DE es la desviación estándar típica de dichas concentraciones. Mientras que, los datos que no siguen una distribución normal, utilizan los cuartiles para proponer los valores de referencia, siendo: $NR= R_{IQx} * 1.5$, donde R_{IQ} es el valor obtenido de la diferencia del cuartil 3 y el cuartil 1.

Se utilizaron datos de precipitación, humedad relativa y vientos (velocidad y dirección) de las estaciones meteorológicas disponibles en el área de estudio, que permitieran establecer alguna relación con los valores de concentraciones de material particulado obtenidos en los monitoreos.

Se realizó una cartografía geológica regional y un mapa eólico (escala 1:200.000) que incluyen las tres estaciones de monitoreo, cartografías de detalle geológicas y geomorfológicas y de usos del suelo (escalas entre 1:30.000) para cada una de las estaciones; a fin de poder analizar si las características geológicas/geomorfológicas tienen relación con material en suspensión medido en las estaciones.

Para la evaluación de los datos del monitoreo efectuado sobre Calidad de Aire y Calidad de suelos dentro del área de estudio, se consideraron todos los estándares permitidos en las normativas vigentes. Además, se tomó como base, entre otros antecedentes, el estudio realizado en el año 2008 por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), en el cual se muestrearon 11 estaciones considerando 4 fuentes principales de emisión de polvo atmosférico, que corresponden a operaciones y pre-operaciones mineras. Como áreas potencialmente afectadas por la generación de este material particulado se consideraron las localidades y poblaciones de Andalgalá, Amanao, Vis Vis, Campo del Arenal, Los Nacimientos, Saujil, Lampacito y El Eje.

Se espera que los resultados obtenidos sean considerados como un antecedente válido, para el control de la calidad del aire y la toma de decisiones por parte de organismos públicos y empresas privadas, y como aporte al conocimiento de la comunidad involucrada.

2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio de la calidad del aire se inicia con el análisis de las sustancias químicas que componen el aire. Estas, incluyen diferentes moléculas de gas, líquido o fases sólidas, que dan una idea de las características de los productos presentes en la atmósfera y que en algunos casos pueden ser respirables. Diferentes actividades pueden modificar la calidad de aire, tanto de manera natural (erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas o incendios, fuertes vientos, aerosoles marinos, resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas) como antrópica (como ser actividad minera, industrial, tránsito vehicular, entre otros).

En materia atmosférica, y con la creciente preocupación por el calentamiento global y sus efectos, es necesario preservar la calidad del aire, prevenir su contaminación y controlar que el ritmo de aporte de contaminantes no supere la capacidad del aire de absorberlos y procesarlos, y a la vez, hacer posible un desarrollo económico, social y ambiental de una comunidad desde un punto de vista de equidad.

Una rama de la Geología: la Geología Ambiental, aplica los conocimientos geológicos a la investigación del ambiente y en los casos de contaminación, contribuye al diagnóstico y corrección de dichos problemas. Debido a que una de las variables que afectan a la calidad del aire y por ende a la población, es el polvo atmosférico, generado por la erosión eólica natural (polución de fondo) y que opera sobre suelos poco consolidados y terrenos susceptibles de deflación, puede realizarse un análisis de las múltiples acciones antrópicas que modifican o contribuyen a esta afectación entre las que se pueden reconocer: minería, desmontes para actividades productivas, construcción de caminos, tránsito en caminos de tierra y ganadería.

La minería es una de las actividades productivas primarias que pueden impactar en la calidad de aire de una región. Esto se debe al proceso de extracción propiamente dicho, como a su transporte, trituración, molienda y depósito de estériles, entre otras actividades asociadas, que provoca la generación de material particulado y su aporte a la atmósfera. En este sentido, en la provincia de Catamarca, y específicamente en el área de estudio, la actividad minera se desarrolla en un ambiente árido con escasez de cobertura vegetal, provocando la remoción de material rocoso, cuyas partículas menores, podrían eventualmente dispersarse en un área más allá del área de explotación propiamente dicha, llegando a afectar a las localidades cercanas.

Debido a la acción antrópica que se genera en el área de estudio de este trabajo, no es posible determinar una línea de base, pero si definir un Nivel de Referencia (NR), obtenido mediante la adaptación de una metodología que utilice los valores de concentración medidos en las estaciones de monitoreo de MAA, durante los años 2013 a 2016 y, a su vez, que contemple las diferentes actividades mineras que se llevan a cabo en la zona.

Estos niveles de referencia tendrán la función de:

- Representar un valor de la calidad de aire con actividades productivas en funcionamiento.
- Ser conservadores y representativos.
- Considerar políticas y legislación vigente.
- Servir como antecedente para futuros proyectos en la zona.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 General

Determinar Niveles de Referencia de calidad de aire, a partir de datos obtenidos mediante monitoreo por Minera Alumbraera durante los años 2013-2016, en las localidades de Hualfín y Los Nacimientos, en el departamento de Belén, y la localidad de Amanao, en el departamento Andalgalá, que se encuentran cercanas al Complejo Volcánico Farallón Negro, provincia de Catamarca; estableciendo una relación con las unidades geológicas/geomorfológicas presentes en el área.

2.2.2 Específicos

- Analizar estadísticamente las concentraciones de partículas sólidas menores a 10 micrones (MP_{10}), concentraciones de metales como el hierro, cobre, molibdeno y plomo, presentes en las partículas totales en suspensión (PTS) y material particulado sedimentable (MPS), observando las tendencias temporales en sus concentraciones e investigando sobre sus causas (estacionales, factores antrópicos, etc.).
- Evaluar e interpretar la información de datos de estaciones meteorológicas (velocidad y dirección de vientos principales, precipitación y humedad), que puedan ser relevantes en la calidad de aire.
- Contrastar las concentraciones de metales medidos en los sedimentos en el periodo 2013 y 2014, con datos previos obtenidos en 2007.
- Comparar los niveles de referencia obtenidos con los niveles guías para aire, establecidos en las legislaciones vigentes.

2.3 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Se ubica al Oeste de la provincia de Catamarca, en los departamentos de Belén (Hualfín y Los Nacimientos) y Andalgalá (Amanao). Comprende una superficie de 35.000 km² (Figura 1), que incluye tres estaciones de aire, todo el complejo volcánico de Farallón Negro y los proyectos mineros de mayor envergadura. En esta zona, las poblaciones más importantes

son Hualfín, Los Nacimientos, Amanao y la localidad de Andalgalá que se encuentra al sureste de la zona de estudio (Tabla 1).

Dentro de la misma, se trabajó a nivel de detalle con áreas de 25 km², en tres zonas en las que se consideró como eje cada estación de monitoreo de aire: Hualfín (Figura 2), Los Nacimientos (Figura 3) y Amanao (Figura 4).

Figuras	Coordenadas de la superficie	
	Vértice Noroeste	Vértice Sureste
1 - Área General	27° 08' 08" S - 66° 53' 48" O	27° 34' 13" S - 66° 03' 28" O
2 – Hualfín	27° 11' 47" S - 66° 50' 56" O	27° 14' 21" S - 66° 48' 01" O
3 - Los Nacimientos	27° 09' 04" S - 66° 45' 34" O	27° 11' 21" S - 66° 42' 36" O
4 – Amanao	27° 30' 19" S - 66° 31' 19" O	27° 33' 21" S - 66° 28' 36" O

Tabla 1: Coordenadas de los vértices del área de estudio y áreas de detalle.

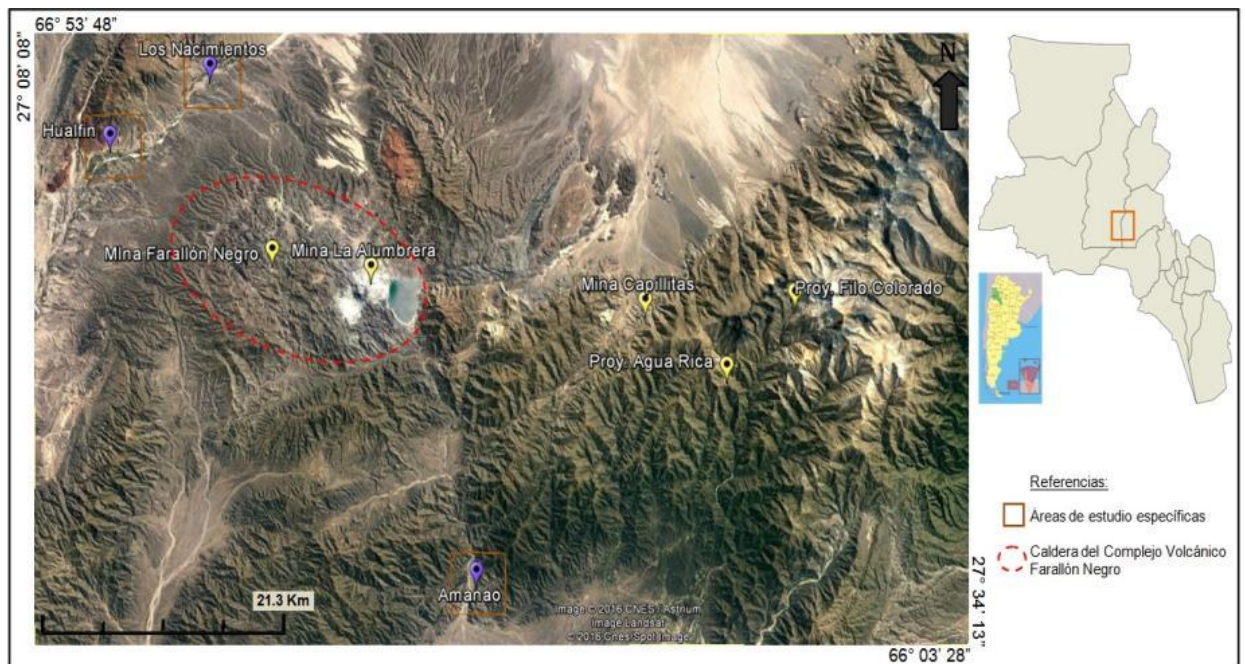


Figura 1: Ubicación de los sitios de monitoreo en áreas circundantes al Complejo Farallón Negro, Catamarca.

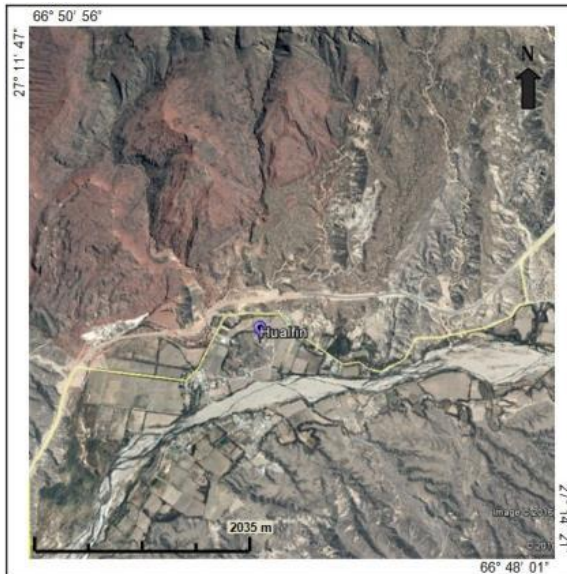


Figura 2: Localidad de Hualfín, Dpto. Belén, Catamarca.

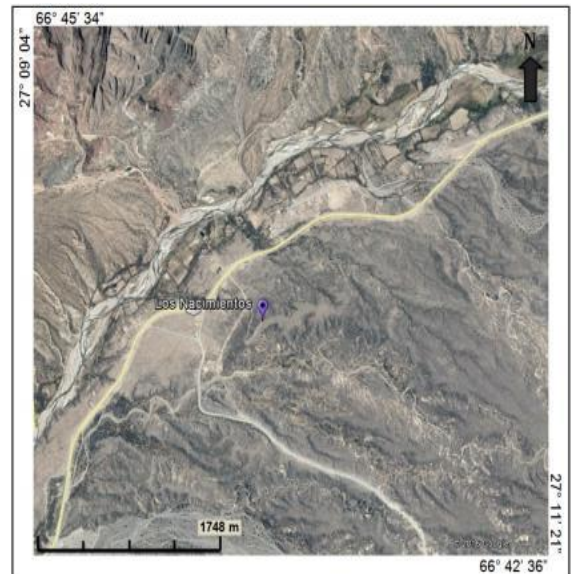


Figura 3: Localidad de Los Nacimientos, Dpto. Belén, Catamarca.



Figura 4: Localidad de Amanao, Dpto. Andalgala, Catamarca.

2.4 VIAS DE ACCESO

Las localidades de las áreas de detalle ubicadas en los Dptos. De Belén y Andalgala, comparten las vías de acceso hasta la Cuesta de la Sébila. Para llegar hasta allí desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se accede por la RN38, en dirección suroeste, hasta el empalme con la RN60, pasando por la Cuesta de La Sébila.

La localidad de Hualfín y Los Nacimientos (Dpto. Belén) se encuentran aproximadamente a 354 km y 367 km, respectivamente, de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca (Figura 5). Para acceder desde la Cuesta de la Sébila, se continúa por la RN60, pasando

por las localidades riojanas de Mazán, Aimogasta y Alpasinche, hasta llegar al cruce de Cerro Negro, donde se empalma con la RN40. Luego, se avanza por RN40 hacia el norte, pasando por Puerta de San José, San Fernando, El Eje y finalmente, Hualfín. Unos 13 km al noreste por RN40, se encuentra la población de Los Nacimientos.

La localidad de Amanao se ubica aproximadamente a 273 km de San Fernando del Valle de Catamarca (Figura 6). Desde la cuesta de la Sébila, se accede por la RP46 hacia el noreste, pasando por la localidad de Saujil y Andalgalá, para luego tomar un camino de tierra, unos 8 km aproximadamente hacia el noroeste, llegando finalmente a Amanao.



Figura 5: Vía de acceso a las localidades de Hualfín y Los Nacimientos (Dpto. Belén), desde la ciudad de S.F.V de Catamarca.



Figura 6: Vía de acceso a la localidad de Amanao (Dpto. Andalgalá), desde la ciudad de S.F.V de Catamarca.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 FUNDAMENTACIÓN

La atmósfera es indispensable para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en el hombre y otros seres vivos y, en general, en todo el planeta. Es un medio extraordinariamente complejo, al cual la actividad humana ha añadido gran cantidad de emisiones en estas últimas décadas. Una atmósfera contaminada puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales. Pero, además, los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, fenómenos de gran importancia global (Reich, 2007).

Entre la importancia que se le atribuye a la atmósfera, es fundamental su capacidad como reguladora de la temperatura de la Tierra, controlando la radiación que sale de la superficie de ésta y filtrando las radiaciones que provienen del sol. Además de eso, los fenómenos atmosféricos que se producen en ella, sumado a los factores topográficos, influyen a gran escala en el transporte y la dispersión de los contaminantes y, por ende, en la calidad del aire resultante. Dentro de los factores meteorológicos se destacan la velocidad y la dirección del viento, la temperatura del aire, la humedad del ambiente, la estabilidad atmosférica (movimiento vertical del viento), la altura de mezclado, entre otros. Por ello, en la determinación de la calidad de aire de una región es importante considerar estos datos.

Una de las principales presiones ambientales sobre la atmósfera está dada por la emisión de contaminantes atmosféricos (es decir, aquellos que afectan y/o alteran de manera directa o indirecta a la calidad de la atmósfera). Estas emisiones son causadas por fuentes naturales (erupciones volcánicas, terremotos, incendios forestales, emanaciones de polvo, etc.) o antrópicas. Estas últimas se incrementaron en los últimos años debido al aumento del uso de combustibles fósiles, utilizado fundamentalmente para la generación eléctrica, el transporte y la industria (IEA, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que, del total de personas que viven en las casi 3.000 ciudades de más de 90 países en los que esta organización monitorea la calidad del aire, solo el 12 % está expuesto a un nivel aceptable de contaminación, según las guías de calidad de aire propuestas por esta organización en 1973 y actualizadas en 1997; mientras que cerca de la mitad de esa población urbana sufre un nivel de contaminación atmosférica que es, al menos, 2,5 veces más alto que el límite tolerable para la vida humana. La OMS compiló información sobre la contaminación atmosférica por presencia de material particulado menor a 10 y 2,5 micrones (MP_{10} y $MP_{2,5}$, respectivamente) en 3.000 áreas urbanas del mundo. Este tamaño de partículas es de gran importancia debido a su capacidad de penetrar profundamente en las vías respiratorias y por lo tanto, constituir un riesgo a la salud; por lo que su monitoreo continuo permite evaluar la correlación entre los registros de calidad de aire y las enfermedades o fatalidades atribuibles a la contaminación atmosférica.

Particularmente en Argentina, la OMS monitorea la calidad de aire mediante tres estaciones ubicadas en la provincia de Buenos Aires, en áreas comerciales y residenciales,

consideradas representativas del lugar. A pesar de esto, el resto del país, cuenta con información escasa y limitada en cuanto a monitoreos que permitan evaluar la situación y cuantificar tendencias atmosféricas.

Según el Informe de Estado del Ambiente (IEA), realizado en 2016 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS), Argentina no cuenta aún con un sistema sólido e integrado de información y estadísticas ambientales. El retraso en esta materia es notorio, inclusive, en comparación con otros países de la región. Es particularmente relevante la vacancia de datos, protocolos uniformes y mediciones sostenidas en el tiempo en varios temas críticos y estratégicos, como aquellos vinculados con la gestión y calidad del aire, con las aguas superficiales y subterráneas, con la biodiversidad, y muchos otros. Solo en algunas jurisdicciones del país se cuenta con inventarios de fuentes de emisión que evalúan tipo y cantidad de contaminantes, y tienen un programa de vigilancia con fines de prevención y control.

Estos controles, son particularmente valiosos, debido al actual crecimiento poblacional y a los procesos de urbanización que llevarían a que un porcentaje mayor de personas estén expuestas a un riesgo ambiental “desconocido” en muchos casos.

Complementario a las medidas de control de las fuentes de contaminación atmosférica, es necesario, además, fijar estándares adecuados para las emisiones de estos contaminantes, que permitan establecer niveles guías de calidad de aire. Actualmente existen niveles propuestos mundialmente (como los de la OMS), pero cada país puede establecerlos según sus posibilidades tecnológicas, sus aspectos económicos y otros factores políticos y sociales que dependerán de su nivel de desarrollo.

Los niveles guías para calidad de aire pueden medirse siempre y cuando el área de interés no se encuentre afectada por actividades antrópicas, que puedan influenciar en el valor de concentración. Sin embargo, si ese fuera el caso, la medición realizada se podría considerar como un “nivel de referencia de la calidad del aire”, es decir una medida de la concentración de ese parámetro/elemento que está sujeta a las actividades antrópicas que se realizan en el área. Estos niveles de referencia (NR), se consideran igualmente importantes que los niveles guías, ya que, al representar la calidad de aire de una región con actividades productivas, permiten tomar medidas correctivas o de mitigación, si fuera el caso, y servir como valores guías para futuros proyectos.

Para la determinación de los NR, en este trabajo, se adaptó una metodología estadística que fue empleada para determinar niveles de referencia de metales pesados en suelos agrícolas, en Colombia. La metodología, involucra los parámetros estadísticos descriptivos más sencillos como media, mediana, desviación estándar y cuartiles.

La ecuación para la obtención de los NR está dada por: $X+nDE$, donde X es el valor medio o promedio de las concentraciones y DE es la desviación estándar típica de dichas concentraciones; cuando los datos siguen una distribución normal, el 95% de los datos se encontrarían incluidos en este intervalo. Para el caso de datos que no siguen una distribución normal, se utilizan los cuartiles para proponer los valores de referencia (Rueda Saa et al., 2011).

3.2 ANTECEDENTES

3.2.1 Marco normativo

A nivel mundial, la OMS, en 1973, estableció guías de calidad de aire para los diferentes parámetros nocivos para la salud, entre ellos, para MP₁₀ (Figura 7). Estas guías, tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire y están destinadas a su uso en todo el mundo.

Guías	
MP_{2,5}:	10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas
MP₁₀:	20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas

Figura 7: Guías de calidad de aire para MP₁₀ y MP_{2,5}, propuestos por la OMS.

También, en el mundo, suelen tomarse como referencia los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiental (NAAQS, por su sigla en inglés), que se muestran en la Tabla 2, y que fueron establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por su sigla en inglés).

Contaminante		Tiempo Promedio	Nivel	Forma
Monóxido de carbono (CO)		8 horas	9 ppm	No debe excederse más de una vez al año.
		1 hora	35 ppm	
Plomo (Pb)		Balaceo promedio de 3 meses	0,15 µg/m ³	No debe ser excedido.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)		1 hora	100 ppb	Percentil 98 de las concentraciones máximas diarias de 1 hora, promediados durante 3 años. Media anual.
		1 año	53 ppb	
Ozono (O ₃)		8 horas	0.070 ppm	Concentración anual máxima de 8 horas, la cuarta más alta, promediada en 3 años.
Contaminación de partículas (MP)	MP _{2,5}	1 año	12 µg/m ³	Media anual, promediada en 3 años.
		1 año	15 µg/m ³	Media anual, promediada en 3 años.
		24 horas	35 µg/m ³	Percentil 98, promediado durante 3 años.
	MP ₁₀	24 horas	150 µg/m ³	No debe excederse más de una vez al año en promedio durante 3 años.
Dióxido de Azufre (SO ₂)		1 hora	75 ppb	Percentil 99 de concentraciones máximas diarias de 1 hora, promediadas durante 3 años.
		3 horas	0.5 ppm	No debe excederse más de una vez al año.

Tabla 2: Estándares de calidad de aire ambiental, establecidos por la USEPA.

A nivel país, en Argentina, los programas de monitoreos no son muy frecuentes debido a los altos costos de logística y equipos que implican. El primer paso en la búsqueda de la regulación de la calidad del aire, se dio en 1973 con la Ley Nacional N°20.284 de Contaminación Atmosférica, que regula a todas aquellas fuentes capaces de producir contaminación atmosférica ubicada en jurisdicción federal, y en la de las provincias que adhieran. En su anexo II, establece estándares para seis contaminantes: CO, NO_x, SO₂, O₃, partículas en suspensión y partículas sedimentables (Figura 8); además, propone valores de alerta y de emergencia, y métodos de muestreo y análisis a aplicar para el monitoreo de esos contaminantes (Figura 9).

Contaminante (unidad)	Norma calidad de aire	Alerta	Alarma	Emergencia
CO (1) (ppm)	10 ppm - 8 hs.	15 ppm - 8 hs.	30 ppm - 8 hs.	50 ppm - 8 hs.
	50 ppm - 1 h.	100 ppm - 1 h.	120 ppm - 1 h.	150 ppm - 1 h.
NO _x (2) (ppm)	0,45 ppm - 1 h.	0,6 ppm - 1 h.	1,2 ppm - 1 h.	0,4 ppm - 24 hs.
		0,15 ppm - 24 hs	0,3 ppm - 24 hs.	
SO ₂ (3) (ppm)	0,03 ppm (70 ug/m ³) (promedio mensual)	1 ppm - 1 h.	5 ppm - 1 h.	10 ppm - 1 h.
		0,3 ppm - 8 hs.		
O ₃ (y oxidantes en general) (4) (ppm)	0,10 ppm - 1 h.	0,15 ppm - 1 h.	0,25 ppm - 1 h.	0,40 ppm - 1 h.
Partículas en Suspensión (mg/m ³) (5)	150 ug/m ³ (promedio mensual)	No aplicable	No aplicable	Idem
Partículas Sedimentables (6) (mg/cm ² 30 días)	1,0 mg/cm ² 30 días	Idem	Idem	Idem

Figura 8: Estándares de calidad de aire propuestos en la Ley 20.284 – Anexo II.

Además de esto, hasta 1994, la Constitución Nacional no reconocía expresamente el derecho de todos los habitantes a gozar de un ambiente sano, pero si lo consideraba tácitamente incorporado en varios artículos (Preámbulo y artículo 14 bis).

No fue hasta el 24 de agosto de 1994, que se agregó a nuestra Constitución una reforma que incluía el artículo 41, contemplando que:

“Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley”.

Luego, en el año 1995, con la promulgación de la Ley 24.585 de la Protección Ambiental para la Actividad Minera incorporada en la sección II del título decimotercero de Código de Minería, el monitoreo ambiental empezó a cobrar mayor importancia.

Contaminante	Método de muestreo	Método de análisis
CO		Analizador infrarrojo modificado. Jacobs, M. B. y colaboradores: "Determinación continua de CO en aire mediante un analizador infrarrojo modificado. (Air Pollution Control Association Journal, 9:110, 1959).
NOx	Absorción en medio líquido.	Griess-Saltzman. Saltzman, B. E.: "Determinación colorimétrica del NOz en la atmósfera", Anal. Chem. 26:1949 (1954).
SO2	Absorción del gas en medio líquido.	Modificación de Pate del método West-Gaeke. West, P. E. y Gaeke, G. C.: "Fijación del SO2 como disulfitomercurate y posterior evaluación colorimétrica", Anal. Chem. 28:1816 (1956). Pate, J. B.: "Interferencia de nitrilos en la determinación espectrofotométrica del SO2 atmosférico", Anal. Chem. 37:942 (1965).
O3 y oxidantes	Absorción del gas en medio líquido.	Buffer neutro, yoduro de potasio. " Selección de métodos para medición de contaminantes atmosféricos", Interbranch Chemical Advisory Committee. PHS, publicación número 999, AP 11 Cincinnati, Ohio, 1965 PD-1.
Partículas suspensión	en Filtración con bombas de alto volumen.	Gravimetría. "Análisis de partículas en suspensión", Network 1957-61, PHS, publicación número 978, Washington D.C.
Partículas Sedimentables	Captación en cilindros abiertos.	Gravimetría. "Método normalizado para el análisis continuo de polvo sedimentable" (APM-1 Revisión 1). Air Pollution Measurement, Committee Air Pollutions Control Association, 16:372 (1966).

Figura 9: Métodos de muestreo y análisis para medición de calidad de aire, propuestos en la Ley 20.284 – Anexo II.

Con la implementación de dicha ley, las empresas que trabajan en el área minera empezaron a centrarse en la realización de estudios medio ambientales, a través de monitoreos que permitieran tener una idea de la calidad de aire, suelo y agua de una región, pudiendo llevar un registro ambiental en diferentes sectores de interés o en las que se lleva a cabo alguna actividad que se considere que impactaría sobre su calidad.

Dentro de ésta legislación, se encuentra la Normativa Complementaria, que en su anexo IV establece niveles guías para la inmisión de diferentes contaminantes (Figura 10 10); mientras no se superen esos valores se puede considerar que la calidad de aire de la zona es buena.

CONTAMINANTE	µg/m ³	PERIODO DE TIEMPO
CO	40	1 hora
	10	8 horas
SO ₂	850	1 hora
	400	24 horas
	80	1 año
NO ₂	400	1 hora
	180	24 horas
	100	1 año
Plomo	1,5	3 meses
Material particulado Fracción respirable	150	24 horas
	50	1 año
Ozono (Oxidantes Fotoquímicos)	235	1 hora
	120	8 horas
SH ₂	8	30 minutos

Figura 10: Niveles guía de Calidad de aire (Ley 24.585) - Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera.

Se establece también, niveles guías para la calidad de suelos, ya sean de uso agrícola o industrial, de una región (Figura 11).

CONSTITUYENTE	AGRÍCOLA	INDUSTRIAL
Antimonio (Total)	20	40
Arsénico (Total)	20	50
Bario (Total)	750	2000
Benceno	0.05	5
Berilio (Total)	4	8
Boro	2	
Cadmio (Total)	3	20
Cianuro (Libre)	0.5	100
Cianuro (Total)	5	500
Cinc (Total)	600	1500
Cobalto	40	300
Cobre (Total)	150	500
Compuestos Fenólicos no Clorados	0.1	10
Cromo (Total)	750	800
Cromo (+6)	8	
Estaño	5	300
Fluoruro (Total)	200	2000
Mercurio (Total)	0.8	20
Molibdeno	5	40
Níquel (Total)	150	500
Plata (Total)	20	40
Plomo (Total)	375	1000
Selenio (Total)	2	10
Sulfuro (Elemental)	500	
Talio (Total)	1	
Vanadio	200	

Figura 11: Niveles guía de Calidad de suelos (Ley 24.585) - Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera.

Además de las legislaciones nacionales, a nivel provincial, la Secretaria Estado de Minería (SEM), que es la de la Autoridad de Aplicación en la provincia de Catamarca para el cumplimiento de la Legislación Nacional, estableció las siguientes resoluciones (Anexo normativo):

- Resol. 065/07: ordena los procedimientos, métodos y estándares a seguir por parte de las empresas mineras, para la preservación del medio ambiente; tomando como referencia las normativas del Instituto Argentino de Normalización (IRAM) y Certificación del Sistemas Nacional de Normas de Calidad (SNCC). Establece que todas las empresas mineras en, actividad en la provincia de Catamarca, deben realizar monitoreos de agua, suelo y aire, siguiendo procesos que aseguren la calidad de los resultados. En el caso de que algún procedimiento no esté contemplado dentro de la legislación provincial y nacional, o se considere necesario aplicar procedimientos más apropiados, se deberá recurrir a las normas y recomendaciones de organismos con reconocimiento internacional (OMS, USEPA, entre otros).
- Resol. 119/10: que contempla la realización de una “Guía de presentación para los programas de control de riesgos técnicos o ambientales para la industria minera en la provincia de Catamarca”, enumerando el contenido de dicha guía. Además, establece que la fiscalización de la actividad minera deberá llevarse a cabo por la

Autoridad de Aplicación de la Ley 24.585; adjuntando en el Anexo II de dicha resolución, una ficha con los “Grados de conformidad de controles de la Secretaría de Estado de Minería o Autoridad de Aplicación de la Ley Nacional 24.585 para ser aplicada a la actividad minero-industrial en la provincia de Catamarca”.

Programa de Control Ambiental (PCA)

La empresa Minera Alumbreira, cumpliendo con la Resol. 119/10, lleva a cabo el PCA caratulado “Calidad de Aire y Ambiente Exterior”, tramitado bajo el expediente E-10147/2010 y, aprobado en su tercera y cuarta versión bajo Resol. 1376/13 y Resol. 246/2017 (Anexo normativo).

Dicho PCA, tiene como objetivo el monitoreo de la Calidad del Aire Ambiental mediante la determinación de la concentración de contaminantes en conformidad con la Ley 24.585, aplicando el criterio de mediciones regulares, destinadas a seguir la evolución de los parámetros ambientales y diagnosticar si el impacto es de carácter local o regional, permitiendo así, ajustar controles operacionales y tomar medidas preventivas/correctivas.

El programa contiene:

- Nombre del componente Mina y subcomponentes Open Pit y Botaderos.
- Tipo de monitoreo o estudio con sus objetivos, alcances, impactos ambientales esperados y sus correspondientes medidas de mitigación.
- Responsables a cargo.
- Evaluación de Contratistas, a través de un proceso de licitación, en el cual se exige que la empresa cuente con las certificaciones correspondientes y que el monitoreo siga un manual de procedimientos general de la actividad, tal como se describe en el Artículo 1 de Resol. SEM N° 065/07.
- Metodología, diseño, descripciones de las variables a medir y plan de calidad en el monitoreo o estudio.
- Cronograma de actividades.
- Informes de los estudios y monitoreos.

En este programa si bien no se especifica explícitamente los criterios de selección de las variables analizadas, éstas corresponden a las legisladas por la Normativa complementaria de la Ley 24.585 en su Anexo IV y USEPA, y a los metales medidos que se encuentran relacionados con el yacimiento minero.

El Programa de Control Ambiental (aprobado por la SEM) que se ha tomado como base para la realización de este estudio, no cuenta con los niveles guías en aire para los metales hierro (Fe), cobre (Cu) y molibdeno (Mo), considerados en este estudio. Sin embargo, se buscó estándares establecidos para estos metales, en normativas internacionales, nacionales y provinciales, a fin de comparar los niveles de referencia obtenidos; no encontrándose, en ningún caso, legislaciones que los contemplen.

3.2.2 Otros estudios realizados en la región

Se hallaron los siguientes antecedentes (algunos inéditos) de estudio, tanto de calidad de aire como de suelos, realizados en la región:

a. Inspectorate Service Peru (ISP) S.A.C. Informe de monitoreo línea de base de calidad de aire y ruido ambiental:

El estudio se realizó en el mes de Junio de 2006 y tuvo como objetivos: efectuar el monitoreo de la Calidad de Aire en siete estaciones de control, a fin de determinar la condición de línea de base previa a las Operaciones de Minera Agua Rica LLC, y medir niveles de ruido ambiental en las inmediaciones y/o futura área de influencia de la unidad Minera.

Las estaciones de muestreo estuvieron ubicadas en: Ciudad de Andalgalá (EA-01), Estación Meteorológica del Campamento de la Mina de Agua Rica (EA-02), Poblado de San José Norte (EA-03), Cazadero plataforma 9 (EA-04), Valle de Cazadero a 700 m al oeste del pozo DH 22 (EA-05), Barrio Santa Inés en el departamento de Cruz Alta de la provincia de Tucumán (EA-06) y Terminal 6 S.A. ubicada en la Ciudad de San Lorenzo provincia de Santa Fe (EA-07).

Para la determinación de concentración de las Partículas Totales en Suspensión ISP, se utilizó el método descrito en el Appendix B Part 50 of Federal Regulations 1991 de USEPA.

En el caso de la determinación de concentración de las Partículas menores a 10 micrones (MP_{10}), se utilizó el método descrito en el Appendix J Referente Method for Determination of Particulate Matter as PM_{10} in the Atmosphere de USEPA.

ISP también estudió la concentración de las partículas menores a 2,5 micrones ($MP_{2,5}$), contaminante que no está dentro de las recomendaciones de legislación aplicable en la provincia de Catamarca, para lo que utilizó un equipo Thermo Andersen con un cabezal G1200-2,5 específico para separar estas partículas.

Las conclusiones fueron:

- Las concentraciones de partículas en suspensión fracción total, 10 micras y 2,5 en las siete estaciones de control son inferiores al estándar USEPA y/o la Ley 1.356 que regula la preservación del recurso aire en la ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- Las máximas concentraciones de partículas en suspensión, corresponden a la estación EA-06 ubicada en el Barrio Santa Inés, debido a la influencia de la zona industrial y a las emisiones de chimeneas de vivienda.
- Existe mínima presencia de plomo en partículas totales y en menores a 10 micras, en las siete estaciones de control evaluadas, alcanzando valores por debajo del estándar definido por la USEPA.
- El elemento metálico más predominante en partículas totales y menores a 10 micrones es el hierro, cuyas mayores concentraciones se encuentran en el Campamento Mina (Proyecto Agua Rica).

b. Informe INTI, Ingeniería Ambiental 21 de diciembre de 2006, OT N°17-02484:

El objetivo de este estudio fue la concentración de material en suspensión MP_{10} (Tabla 3) y en suspensión total (PTS) en calidad de aire, en las siguientes áreas de interés: localidades de Amanao y Andalgalá, Mina Alumbreira y Mina Farallón Negro, ubicadas en la provincia de Catamarca. Para ello, se aplicaron métodos de referencia USEPA 40 CFR, part 53, appendix J Reference Method for Determination of Particulate Matter as MP_{10} in the Atmosphere-High Volumen Method.

Fecha	Amanao ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mina Alumbreira ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Andalgalá ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mina Farallón Negro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estándar USEPA para MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5/10/06	96,73	103,17	88,79	66,70	150
6/10/06	104,74	80,29	74,24	46,70	
7/10/06	44,34	62,56	45,65	36,88	
8/10/06	36,54	48,01	27,63	35,05	
9/10/06	50,35	71,93	43,83	33,59	

Tabla 3: Concentraciones obtenidas de MP_{10} para 24 horas.

Si bien el Centro de Ingeniería Ambiental de INTI no establece conclusiones y recomendaciones en su estudio, se puede observar que los valores en las concentraciones de aerosoles no superan los Niveles Guías de calidad de aire de la Ley 24.585.

c. Informe Técnico Pericial – Estudio ambiental de aguas, sedimentos fluviales, suelo y polvo atmosférico realizado en el marco de la pericia efectuada en la Cuenca del Rio Vis Vis y en el Complejo Minero Bajo de la Alumbreira (Herrero Juan C. y Ferpozzi Luis H.):

La pericia se desarrolló en dos etapas: la primera, fue para la recolección de muestras de aguas superficiales, sedimento fluvial, suelo y polvo atmosférico, y fue realizado entre los días 24 y 30 de agosto de 2007. La segunda, fue para la recolección de muestras principalmente de aguas subterráneas y se completó entre los días 27 y 28 de noviembre de 2007. El estudio tuvo por objeto la evaluación del impacto ambiental del complejo minero Bajo de la Alumbreira sobre el rio Vis Vis, y determinar si existe o no afectación relacionada con sus actividades. Se definió para ello, una “línea de base de condiciones ambientales naturales”, respecto de la cual se compararon por contraste los valores establecidos en los estándares de calidad o, en su defecto, en los niveles guía recomendados, para definir la contaminación, y se evalúa por consecuencia la potencial afectación que pudiera producirse del ambiente y, en particular, de la fauna, de la flora y de la salud de la población en la cuenca del rio Vis Vis.

Las conclusiones y recomendaciones para aire y suelo a las que se llegaron fueron:

- Para el periodo muestreado (24 hs), los valores máximos de concentración de polvo respirable (MP_{10}) en estos sitios, expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, está por debajo del Nivel Guía de Calidad de Aire (para 24 hs.) establecido por la normativa complementaria de Ley 24.585 en su Anexo IV.
- Respecto al muestreo de aire, se puede concluir: a) que la calidad del aire para estas localidades es saludable, en cuando a la concentración de material particulado, fracción respirable; b) no ha sido detectada una posible polución producida por la actividad de Minera Alumbreira, en este período, en las regiones mencionadas.

- Del análisis de los datos meteorológicos medidos, en especial el correspondiente a los vientos, se pudo observar que en el período de muestreo la zona más expuestas a una supuesta emisión de Minera Alumbraera fue la región situada hacia el noroeste, siendo Los Nacimientos una de las poblaciones más representativas de este sector.
- Dado que los valores obtenidos son por muestreo, existe la posibilidad de que ocurran eventos atmosféricos y de polución diferentes a los muestreados.
- Se recomienda se tomen las medidas pertinentes para implementar un sistema de monitoreo anual de calidad del aire, con la ubicación y periodicidad adecuadas para cubrir la variación estacional y temporal de los eventos atmosféricos y de polución, y obtener información que permitan acciones preventivas.

d. Proyecto Geoambiental del Complejo Volcánico Farallón Negro – Estudio de la Calidad de aire ambiental referido al polvo atmosférico respirable MP₁₀:

En el año 2008 el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) realizó estudios de calidad de aire ambiental referidos al Polvo Atmosférico Respirable (MP₁₀), cuyo objetivo fue proveer de información científicamente comprobada a los pobladores de las ciudades cercanas a los grandes proyectos mineros, que están preocupados por el impacto ambiental de la industria minera. Para ello, se muestrearon 11 estaciones considerando 4 fuentes principales de emisión de polvo atmosférico, que corresponden a operaciones y pre-operaciones mineras: Farallón Negro, Minera Alumbraera y Mina Agua Rica, la obra de construcción de la Ruta Nacional 40 (a la altura de la Localidad de El Eje) y desmontes de la Cuenca de Pipanaco (para emprendimientos de plantaciones de olivo). Como áreas potencialmente afectadas por la generación de este material particulado se consideran las localidades y poblaciones de Andalgalá, Amanao, Vis Vis, Campo del Arenal, Los Nacimientos, Saujil, Lampacito y El Eje. No se encontraron en la región sitios que puedan considerarse adecuados para planificar una línea de base, ya que hay generación de material particulado debida a la acción antrópica, con emisiones areales y lineales en grandes zonas de desmonte y circulación de vehículos por los caminos.

Se llegó a la conclusión de que la polución es mucho más importante en invierno y primavera, debido a la sequedad del clima y la intensidad de los vientos. Esta información es importante a la hora de planificar las acciones preventivas y correctivas como el uso de protectores respiratorios, diseño de planes de riego, entre otros.

Sus recomendaciones fueron:

- En la localidad de El Eje, se deben tomar medidas de prevención para disminuir lo máximo posible la inhalación de aerosoles por parte de los habitantes: a) por medio de programas de riego en las obras de la Ruta 40. b) El uso de protectores respiratorios en las zonas más expuestas. c) hacer un seguimiento del problema.
- En Mina la Alumbraera, se recomienda estudiar la posibilidad de controlar otros procesos generadores de polvo como por ejemplo el stock pile y realizar estudios de más detalle, para delimitar zonas y temporadas en las cuales es necesario reforzar o rediseñar los programas de riego y el uso de protectores respiratorios, de acuerdo a las condiciones atmosféricas. También se recomiendan medidas como: a) disminuir al mínimo las alturas de descarga desde la cinta a las pilas, b) utilizar mangas telescópicas antipolvo en los puntos de descarga, c) utilizar rociadores o neblineros en aquellos puntos de emisión de polvo.

- En la localidad de Los Nacimientos, se estima prioritario realizar la pavimentación de la Ruta Nacional 40, realizando un debido control de la polución durante la obra acompañado de campañas de uso de protectores respiratorios en horas pico en las temporadas de sequía y fuertes vientos. Realizar otras medidas de mitigación como riego de áreas críticas en temporadas de alta polución.
- Mina Agua Rica y Mina Farallón Negro, se deben realizar estudios de más detalle, para delimitar zonas en las cuales es necesario reforzar o rediseñar los programas de riego y el uso protectores respiratorios, de acuerdo a las condiciones atmosféricas. Cuando entre en construcción y operación, Mina Agua Rica, debe realizarse un estudio de la emisión de polvo de todos los procesos para tomar acciones preventivas y correctivas.
- En Saujil y localidades del borde de la cuenca de Pipanaco, se recomienda que las autoridades reguladoras, que autorizan el talado del bosque natural para plantaciones de olivos, y otros desmontes como en banquinas de caminos, los realicen siguiendo buenas prácticas de manejo de la flora natural y la conservación del suelo. Actualmente es necesario diseñar programas de riego y el uso de protectores respiratorios, de acuerdo a las condiciones atmosféricas.
- Investigar en la base de datos las condiciones atmosféricas de dirección e intensidad de vientos, ráfagas y otros parámetros climáticos para investigar las causas de los picos de concentración de MP₁₀, y realizar modelizaciones del transporte eólico del material particulado.

e. Evaluación ambiental de Calidad de aire. Informes anuales (Marzo de 2012 a Marzo de 2013, Junio de 2013 a Mayo de 2014, Agosto de 2014 a Julio de 2015 y Septiembre de 2015 a Agosto de 2016). Minera Alumbreira Ltd., en el marco del programa de "Calidad de aire y ambiente exterior" establecido por la Secretaria de Minería:

Los informes corresponden a una interpretación de datos derivados del Programa de Control Ambiental (PCA), que propone las tareas de campo y las determinaciones de laboratorio, describiendo las metodologías seleccionadas, los valores reportados en los análisis y la comparación de éstos con los valores guías seleccionados, obtenidos del Monitoreo de la Calidad de Aire llevado a cabo en el proyecto de Minera Alumbreira por la empresa CORPLAB; con el objetivo de dar cumplimiento a lo exigido por Minera Alumbreira en su plan de monitoreo ambiental según Ley Nacional 24.585 y su adhesión en la provincia de Catamarca, el cual, junto con las certificaciones de CORPLAB (IRAM ISO 9001, 14001 e ISO 17025), satisface lo solicitado por dicha empresa y la Resol. SEM 065/07.

El monitoreo consistió en la extracción de muestras de Material Particulado Sedimentable (MPS), Partículas Menores a 10 micrones (MP₁₀) y Partículas Totales en Suspensión (PTS), en las estaciones de monitoreo colocadas por Minera Alumbreira, dentro y fuera del proyecto.

Las conclusiones para todos los periodos anuales considerados fueron similares, siendo las siguientes:

- La Calidad de Aire Ambiental durante el período evaluado ha sido buena a muy buena en toda la región. Puede observarse que las concentraciones promedio medidas, en la

mayoría de los casos, están por debajo del Nivel Guía que establece la Legislación Argentina Ley 24.585 de Protección Ambiental para la Actividad Minera.

- MPS: Si bien la Ley 24.585 de la Actividad Minera en el Anexo IV de su normativa complementaria, no establece valor guía para este parámetro, la Ley Nacional de Protección Ambiental 20.284 en su Anexo II, establece como valor guía $1,0 \text{ mg/cm}^2$ en un lapso de 30 días. Se puede observar que en todos los sitios hay campañas en donde los valores superan el valor guía establecido en dicha Ley. Los lugares que presentan mayores valores son E1-Chancador Primario (Oficina de Mina), debido a que es una zona donde se realizan los principales tratamientos y movimientos de mineral y rocas, tránsito de camiones, movimiento vehicular y trituración primaria de mineral, y E8-Oficina Central.
- MP₁₀: La Ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera 24.585, toma las concentraciones de las partículas MP₁₀ como un indicador ambiental de la Calidad del Aire, en su Anexo IV "Niveles Guía Calidad de Aire" se establecen dos niveles guías: a) Para un período de 24 horas = $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ y b) Como valor promedio anual = $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; en todos los informes se concuerda que los valores máximos para estos dos periodos, ocurrieron en E1-Chancador Primario. Las buenas correlaciones de los registros de campo con los resultados de las mediciones, son un soporte de valor que avala la metodología utilizada.
- PTS: Del conjunto de metales estudiados, aquellos cuyas concentraciones en los aerosoles atmosféricos representan un riesgo potencial para la salud y el ambiente son básicamente el plomo, el arsénico y el cadmio. Se observa, en todos los periodos anuales considerados, que si bien algunos sitios presentaron concentraciones elevadas de PTS, no hay legislación vigente en Argentina que permita comparar con un valor guía su concentración. De los metales estudiados, sólo la concentración de plomo está regulada por la Ley Nacional 24.585 que establece un límite de $1,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ como promedio trimestral, mientras que, la National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) establece un valor guía de $0,15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ para dicho metal. En los monitoreos realizados se demuestra que, los promedios de las concentraciones de este elemento, han estado muy por debajo de ambos límites establecidos. Se destaca que por las características de su distribución, los elementos cobre y hierro se comportan como buenos indicadores ambientales de la dispersión del material particulado total en suspensión.

4. METODOLOGÍA

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Se realizó la búsqueda de información en diferentes empresas y organismos públicos. Los datos que se obtuvieron fueron los siguientes:

- Concentraciones de MP₁₀, MPS y PTS, y sus correspondientes metales; para las tres estaciones de monitoreo. Proporcionados por MAA.
- Concentraciones de metales en sedimentos en las tres estaciones de monitoreo. Proporcionados por MAA.
- Datos meteorológicos: precipitación, humedad relativa y vientos (velocidad y dirección). Proporcionados por MAA, Mina Agua Rica y Yacimientos Mineros de Agua de Dionisio (YMAD)

4.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Esta etapa comprende el procesamiento de todos los datos recolectados en el ítem anterior. Para ello, todos los datos fueron tratados de la siguiente manera:

- Listado de los datos recibidos: se revisó la cantidad de datos, las fechas consideradas, y las variables obtenidas para cada estación.
- Elaboración de la base de datos: en planillas Excel se ordenó los datos. Se consideró agruparlos por fecha para tener un registro temporal, y por estación para poder compararlos entre sí.
- Depuración de datos: se corroboró que los datos sean consistentes, los que presentaban errores de tipeo o valores anómalos fueron eliminados cuando se consideró necesario.

4.2.1 Criterios empleados para el tratamiento de datos

Se tuvo en cuenta las variables que aporten información significativa en estudio de monitoreo del aire. En el caso de que las series temporales de datos no estén completas, se trabajó con métodos estadísticos para que las mismas sean representativas

Para Calidad de aire, las variables seleccionadas para el análisis fueron: Material particulado respirable menor a 10 micrones (MP₁₀), Partículas Totales en suspensión (PTS) y Material particulado sedimentable (MPS); dentro de estos dos últimos se incluyeron los metales: Fe, Cu, Mo y Pb. La elección se basó en el uso habitual de estas determinaciones ambientales, en las normativas vigentes y en la relación con la actividad que se desarrolla en el área de estudio. En cuanto a los metales seleccionados, el Fe, Cu y Mo por la mineralización de Bajo La Alumbraera, y Pb por encontrarse legislado.

Para elementos que contengan en todas sus concentraciones valores por debajo del nivel de detección en laboratorio (menor concentración que puede detectar el equipo con fiabilidad), se tomó la decisión de no representarlo en las gráficas ya que se considera que el elemento en cuestión no es un valor que pueda brindar alguna información relevante. Al respecto, los laboratorios tienen como norma informar en los resultados analíticos datos como “menor que el límite de detección o cuantificación (<LD o LC), para aludir a aquellas situaciones en que el elemento no fue detectado. De igual manera, se lo presentó en las planillas.

La metodología estadística utilizada para el análisis de los datos de calidad de aire, de metales en sedimentos y de datos meteorológicos, fue descriptiva y de gráficas probabilísticas; seleccionada considerando su aplicabilidad a la temática, cantidad y tipo de datos disponibles, y por la sencilla visualización e interpretación de los resultados.

Para los valores de Niveles de Referencia, se estableció un valor del 50% por encima y por debajo del valor obtenido, considerando la gran variabilidad de las concentraciones medidas en los parámetros a través del tiempo.

En la elaboración de la cartografía “Relación geología y dirección e intensidad de vientos”, se agrupó la litología de la zona según su grado de erosionabilidad: poco erosionable (granitos y metamorfitas), medianamente erosionable (vulcanitas, conglomerados, brechas volcánicas y areniscas) y muy erosionable (depósitos pedemontanos, bloques, gravas, arenas y limos).

4.2.2 Monitoreo de Aire

Los datos fueron generados por la empresa Corplab Environmental Analytical Services (subcontratada por MAA), cuyas oficinas se encuentran en la provincia de San Juan, y que realizaba las actividades de monitoreo, las cuales se encuentran certificadas bajo las metodologías de muestreo EPA IO2.1 y ASTM 1739 (Anexo normativo). Actualmente, la empresa contratada para esta tarea es CyMA, también de la provincia de San Juan.

Primeramente, durante el año 2013, los datos fueron medidos quincenalmente. Mientras que, desde 2014 a 2016, fueron mensuales.

El monitoreo consiste en la colocación de estaciones de alto volumen durante un lapso de 24 horas por punto. Las bombas del material particulado de diámetro menor a 10 μm (MP₁₀) están provistas de un ciclón o separador cinético de partículas y un soporte filtrante de fibra de vidrio (Fotografía 1). Las bombas utilizadas para partículas totales en suspensión (PTS) no poseen separador de partículas recolectando el total del material particulado en el aire (Fotografía 2). Una vez recolectada la muestra, se determina gravimétricamente el contenido de MP₁₀, y PTS en laboratorio Acreditado en ISO 17025, bajo el registro N° 167 del OAA (Organismo Argentino de Acreditación). En el caso de las muestras de PTS, se mide además, metales pesados, utilizando la metodología EPA IO 3.4 para la preparación y determinación analítica, empleando Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES), que se basa en la vaporización, disociación, ionización y excitación de los diferentes elementos químicos de una muestra en el interior de un plasma.



Fotografía 1: Equipo de medición de MP_{10} colocados por CyMA (subcontratada de MAA) en la estación de Hualfín.



Fotografía 2: Equipo de medición de PTS colocados por CyMA en la estación Amanao.

Para el material particulado sedimentable (MPS) se utiliza un colector que queda colocado en el sitio de monitoreo durante un mes (Fotografía 3). La muestra obtenida, se pesa en una balanza electrónica de precisión, en el laboratorio de la empresa Corplab, acreditado según

norma la norma IRAM-ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004, obteniendo el peso de partículas sedimentables y de los elementos que se solubilizan (metales pesados), en gr/cm^2 .



Fotografía 3: Recolector de MPS y estación meteorológica colocadas por CyMA en la estación Hualfín.

Con los datos de las concentraciones de cada parámetro y sus metales correspondientes (hierro, cobre, molibdeno y plomo), se procedió a la depuración y al armado de planillas (Anexo III.1). En la Tabla 4 se muestran las variables medidas para cada parámetro.

Muestreo de aire		
Parámetro	Variable/Metal	Unidad
MP ₁₀	Concentración de MP10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PTS	Concentración de PTS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Hierro (Fe)	
	Cobre (Cu)	
	Molibdeno (Mo)	
	Plomo (Pb)	
	Arsénico (As)	
	Manganeso (Mn)	
	Estroncio (Sr)	
MPS	Concentración de MPS	mg/cm^2
	Sulfatos y Nitratos	
	Hierro (Fe)	
	Cobre (Cu)	
	Molibdeno (Mo)	
	Plomo (Pb)	
	Arsénico (As)	
	Manganeso (Mn)	
	Estroncio (Sr)	
	Cadmio (Cd)	
Cinc (Zn)		

Tabla 4: Parámetros medidos por CorpLab, con sus respectivas unidades.

4.2.3 Monitoreo de Sedimentos

El muestreo de sedimentos se realizó durante el año 2013, en cuatro campañas trimestrales, que consistieron en recoger muestras de la zona superficial alrededor de los sitios donde se encuentran las estaciones de monitoreo de aire (Fotografía 4). Los metales que se analizaron en laboratorio se muestran en la Tabla 5, y corresponden a algunas de las variables definidas como niveles guía en el Anexo IV de la Normativa complementaria de la Ley 24.585. La realización de este monitoreo por parte de MAA, fue planteado con el objetivo corroborar si existía alguna relación entre los metales medidos en aire con los de sedimentos; sin embargo, esa relación nunca se efectuó. Es por ello, que se incorporaron esos datos a este estudio.

Los valores de concentraciones obtenidos en las campañas fueron revisados y se confeccionó una planilla que permita realizar el análisis estadístico (Anexo III.6).



Fotografía 4: Toma de muestras de sedimentos por la empresa Corplab.

Muestreo de Suelo		
Parámetro	Método	Unidad
Cobre (Cu)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Hierro (Fe)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Plomo (Pb)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Manganeso (Mn)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Estroncio (Sr)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Cinc (Zn)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS
Arsénico (As)	Metales (EPA 6010C)	mg/Kg MS

Tabla 5: Metales analizados por el método EPA 6010C, expresados en mg/Kg MS.

4.2.4 Datos Meteorológicos

Se recopiló información de todas las variables disponibles (Tabla 6) que se miden en las estaciones de: Aeropuerto de MAA, Dique de MAA, Ciudad de Andalgalá (Agua Rica), YMAD (Yacimientos Aguas de Dionisio) y Yacimiento Agua Rica.

De dichas variables, se trabajó con los datos de precipitación, humedad relativa y vientos. Se realizó histogramas de precipitación y gráficos de líneas para las humedades relativas, en Excel para el periodo de análisis considerado.

Para los datos de vientos, se elaboró rosas de vientos a través del software WRPlot, el cual permitió graficar todas las direcciones y velocidades de vientos hacia cada estación meteorológica, a través de la creación automática de rangos o “clases de vientos” que representaron las velocidades principales de estos y, a las que se les asignó una escala de colores en función del porcentaje de frecuencia con la que ocurre.

Estación/Sitio de Medición	Periodo de datos obtenidos	Variables Medidas	Observaciones
Aeropuerto de MAA	2006 (solo diciembre) 2007 a 2016 (diarios)	Lluvia, vientos, temperatura del aire, humedad del aire, presión atmosférica, punto de rocío y sensación térmica.	Para vientos, en 2007 faltan datos de febrero a mayo; y en 2010 falta mes de mayo.
Dique de MAA	2012 a 2016 (diarios)	Vientos, lluvia, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, punto de rocío sensación térmica, flujo y evaporación de estanque.	Para lluvia, en 2013 faltan los meses de julio a noviembre; y en 2014, agosto y septiembre.
Andalgalá	2006 a 2015 (mensuales)	Vientos.	En 2009 faltan datos de septiembre a diciembre. En 2010 faltan datos de enero a abril. La estación se encuentra ubicada en un predio frente a la escuela municipal.
YMAD	2008 (horarios) 2009 (mensuales) 2010 (horario)	Presión absoluta, temperatura, humedad, punto de condensación, sensación térmica, vientos y lluvia.	
Agua Rica	1998 a 2016 (mensuales)	Vientos.	

Tabla 6: Datos meteorológicos brindados por las diferentes empresas mineras.

A partir de las rosas obtenidas para cada estación de la tabla anterior, y de las rosas elaboradas por CorpLab para las estaciones de monitoreo de Hualfín, Los Nacimientos y Amanao, en el periodo 2014-2015 (Anexo III.7); se extrajeron, de cada una, las mayores velocidades y frecuencias principales de vientos. Con estos datos, se calculó los vectores de transporte “de entrada” a la rosa (Anexo III.8), cuya magnitud resultó de multiplicar ambas

variables. Para poder representar estos vectores obtenidos en la cartografía, se transformaron los rumbos a 180° (vectores de transporte “de salida”), y se los multiplicaron por un valor adimensional (0,2), que permitió convertirlos en graficables a escala.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En esta etapa, se procedió a calcular las variables estadísticas que permitieron realizar las representaciones graficas de las concentraciones de cada parámetro medido en las estaciones de monitoreo, para el periodo considerado de estudio (2013-2016 en el caso de aire, y 2013-2014 en el caso de sedimentos). Para ello, se utilizaron planillas y gráficos de Excel, y se analizaron estadísticamente los datos a través del software SPSS statistics 21.

4.3.1 Niveles de referencia

Para analizar los datos de aire, se recurrieron a los métodos estadísticos descriptivos que se caracterizan por la identificación, análisis y eliminación de valores discordantes, y por el tipo de distribución de los datos de una variable (prueba de normalidad). Se utilizaron los parámetros estadísticos como:

- Media (o promedio): es la suma de todos los valores o datos dividida por la cantidad de datos.
- Mediana: es el valor de posición central en un conjunto de datos ordenados por tamaño. Corresponde al cuartil 2.
- Desviación estándar: es una medida de la dispersión de los datos respecto a la media. Es un promedio de la distancia de estos datos a la media.
- Cuartiles: son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguales.

La distribución de una variable da los valores posibles de la variable y cuantas veces ocurren, es decir, muestra la forma en que varía una variable. Se habla de distribución normal cuando la distribución de datos es más o menos simétrica y su valor de significancia (p -valor) es mayor a 0,05; es decir, que si se graficara una curva, ésta sería en forma de campana y contendría el 50% de los valores tanto a un lado como hacia el otro. Mientras que, en la distribución no normal ocurre todo lo contrario, dentro de los valores existen muchos que son bajos o altos y por ello el promedio no está justo al medio de toda la distribución, dando por resultado una gráfica asimétrica sesgada a la izquierda o a la derecha (Figura 12).

El valor de significancia, en la estadística, permite saber cuando no es probable que un resultado haya sido debido al azar. Una diferencia estadísticamente significativa solamente indica que hay evidencias estadísticas de que haya una diferencia entre las variables estudiadas, pero esto no significa que la diferencia sea grande, importante, o significativa (en el sentido estricto de la palabra), solamente indica que hay diferencias.

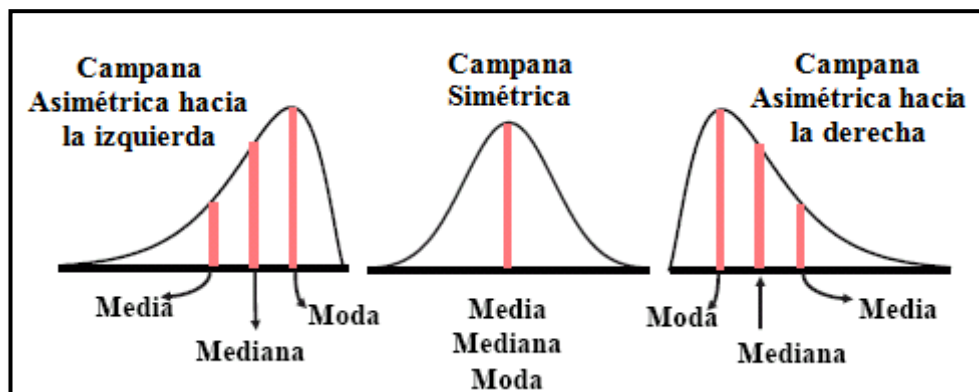


Figura 12: Campanas de distribución normal y no normal.

Para saber si la distribución es normal o no normal y determinar los cuartiles se analizaron estadísticamente los valores de los diferentes parámetros de estudio seleccionados (Tabla 7), a través de:

- Prueba de normalidad, utilizando el método de Kolmogorov-Smirnov, que permite contrastar la hipótesis nula (H_0) de que la distribución de los valores es normal (significancia $p > 0,05$), frente a la hipótesis alternativa (H_1) de que la distribución es no normal.
- Histograma de frecuencia, que permite visualizar la forma de la campana de distribución.
- Bisagras de Tukey, es un método para el cálculo de cuartiles; en donde la primera bisagra (similar al cuartil 25) es el valor que ocupa la posición intermedia entre la mediana y el valor más pequeño de la distribución, la segunda bisagra es la mediana (valor que ocupa el lugar central entre todos los valores del conjunto de datos) y la tercera, (similar al cuartil 75) es el valor que ocupa la posición intermedia entre la mediana y el valor más grande de la distribución.

Parámetro	Variable/Metal
MP ₁₀	Concentración de MP10
PTS	Concentración de PTS
	Fe
	Cu
	Mo
	Pb
MPS	Concentración de MPS
	Fe
	Cu
	Mo
	Pb

Tabla 7: Variables seleccionadas.

Se recurrió además al método de gráficas probabilísticas, en donde se utilizaron representaciones gráficas en función del % de frecuencias acumuladas por cada estación monitoreada.

Una vez obtenidos los valores necesarios, se procedió al cálculo de los niveles de referencia (NR), de acuerdo a la fórmula:

$$NR = X + nDE$$

Dónde:

X= Valor medio del contenido como media aritmética, media geométrica o mediana para distribución normal, y **DE**= Desviación estándar.

Si la distribución de los datos es normal (log-normal y log no-normal) $NR = X + 2DE$, considerando el 95% central de los valores de la variable. Si la distribución no es normal se utilizará cuartiles para su determinación, de acuerdo a la fórmula:

$$NR = R_{IQx} * 1.5$$

Dónde:

R_{IQx}= recorrido intercuartílico, es decir, la diferencia entre el cuartil 3 y el cuartil 1 de la variable, donde se encuentran el 50% central de los valores. Al multiplicar dicho valor por 1,5 se obtiene un único valor que considera el 75% central de los valores de la variable y, que en este caso, representa el NR buscado.

La fórmula anteriormente descrita, no considera aquellos parámetros/elementos que presentaron concentraciones con muy poca variabilidad entre sí. En estos casos, el valor obtenido del **R_{IQx}** es tan pequeño que, al multiplicarlo por 1,5, el NR calculado es menor al valor de las concentraciones de ese parámetro/elemento. Por ello, en el caso de los parámetros/elementos que cumplían con estas condiciones, se utilizó como valor del **R_{IQx}** a la mediana; debido a que, considera el 50% central de los valores de la variable correspondiente al cuartil 2.

4.3.2 Sedimentos

En el caso de los datos de sedimentos, se calculó el promedio para las cuatro campañas consideradas (periodo 2013-2014) y se graficaron mediante barras los valores obtenidos. Se compararon los valores calculados con los establecidos en las normativas vigentes para Calidad de suelos de uso agrícola e industrial (Normativa complementaria de la Ley 24.585-Anexo IV); a pesar de que el muestreo no representa las características edafológicas de la unidad.

No fue posible comparar los datos obtenidos con los calculados por Herrero y Ferpozzi (2007) para suelos y aluviones de crecida, debido a que responden a diferentes orígenes.

5. FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 OROGRAFIA

Las principales serranías de la zona de estudio corresponden a la Sierra de Hualfín, Sierra de Belén, Sierra de Capillitas y Sierra de Aconquija. Estas cadenas montañosas son de gran altura, alcanzando los 3000 m s.n.m y pertenecen a la provincia geológica de Sierras Pampeanas, caracterizada por sistemas de montañas en bloque orientados en dirección norte-sur, limitadas por fallas inversas de alto ángulo, que encierran valles entre ellas.

5.2 HIDROGRAFIA

El río Belén posee una de las principales cuencas cercana al área de estudio. Nace con el nombre de río Bolsón, en las faldas occidentales de las sierras de Chango Real (al noroeste) y recibe en su margen izquierda al río Los Baños, a partir de allí, se denomina río Villa Vil hasta la localidad de El Eje donde se le une el río Los Nacimientos y cambia su nombre por el de Belén, luego continua en dirección sudoeste, perdiendo gran parte de su caudal en el campo de Belén y desagua finalmente en el salar de Pipanaco.

Una subcuenca importante que aporta al río Belén en su margen derecha, es la de Corral Quemado que está compuesto por los ríos Papachacra, Vicuña Pampa, Yanquenco, Durazno, La Tranca, La Falda y Altohuasi.

Algunos ríos importantes aprovechados para el riego y consumo humano, son: Río Quimivil, Arroyo del Cura, río Amanao, La Carpintería, Luna Aguada y Talamayo, quienes desaguan en el salar de Pipanaco.

La cuenca del río Andalgalá, junto con la de Belén, son las más importantes de la región y que desembocan en el Salar de Pipanaco, el cual es uno de los más extensos campos de hundimiento en las sierras Pampeanas con una superficie de 10.000 Km², encerrada por altas cadenas. El río Andalgalá es el más importante del departamento homónimo formado por los ríos Candado y Blanco, cuyo caudal de estiaje es muy utilizado.

5.3 BIOMAS Y CLIMAS

El área de estudio se encuentra formando parte de dos ecorregiones o biomas: Monte de Sierras y Bolsones, y Prepuna (Figura 13), que se ubican en el sector noroeste de la provincia de Catamarca. La primera, se extiende latitudinalmente en forma de faja al este de la cordillera de los Andes, comienza en Salta y Jujuy, y llega hasta el sur de San Juan. La geografía de esta zona presenta gran variedad de estructuras geomorfológicas y de altitud. Hacia el oeste limita con la Prepuna y los Altos Andes, y ocupa bolsones y laderas bajas. Entre los 24° 35' y los 27° de latitud sur se observan exclusivamente valles longitudinales que se continúan hacia el sur por cuencas cerradas (bolsones) y por valles intermontanos.

El área de los bolsones es una franja relativamente angosta, pero muy extendida en sentido latitudinal, y se caracteriza por no contar con una red de agua permanente. Dentro de cada bolsón se distinguen distintos paisajes con vegetación y suelos característicos como huayquerías, barriales, medanales y salares (Morello, 1958). La Prepuna, por su parte, se desarrolla en laderas de cerros, desmoronamientos de piedras y quebradas. Se extiende desde Jujuy hasta La Rioja como una especie de cuña entre las Yungas y la Puna propiamente dicha con una altura de 2.000 a 3.400 m s.n.m. en las provincias de Jujuy y Salta; y hacia el sur en Tucumán, Catamarca y La Rioja desciende hasta menos de 1.000 m conectándose entre las provincias del Monte o el Chaco y la Puna o Provincia Altoandina.

El clima en esta región corresponde a Árido de Sierras y Bolsones (Figura 14), presenta escasas precipitaciones (350 mm/año), determinadas por las barreras climáticas constituidas por los cordones montañosos, y se distribuyen en el período que comprende entre los meses de noviembre a marzo. Las lluvias son torrenciales y localizadas, con alta variabilidad y erraticidad dentro del año, y de un año a otro, con desviaciones hasta del 100% en torno a la media histórica. Existen notables variaciones térmicas, cielos despejados y escasa nubosidad. En verano, las temperaturas son elevadas (más de 40°C), y en otoño e invierno se produce un fuerte enfriamiento lo que provoca acumulación de nieve en las cumbres más altas. Los vientos predominan durante la mayor parte del año.

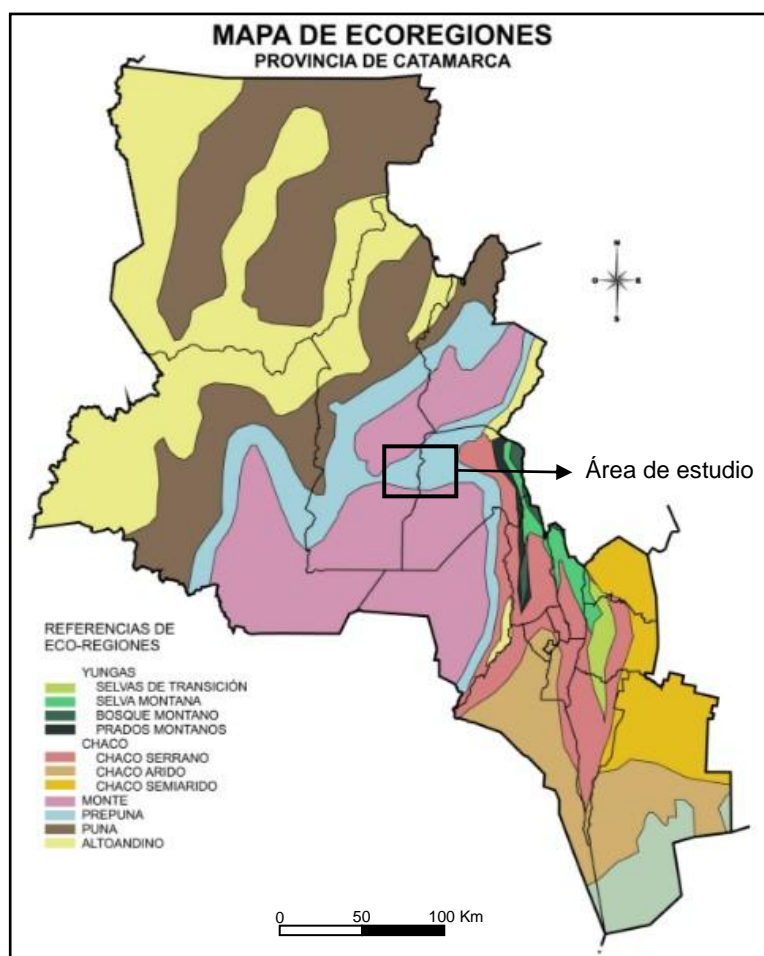


Figura 13: Mapa de ecorregiones de la Provincia de Catamarca (Fuente: https://issuu.com/dajuliani/docs/regionalizaci_n_socio_productiva).

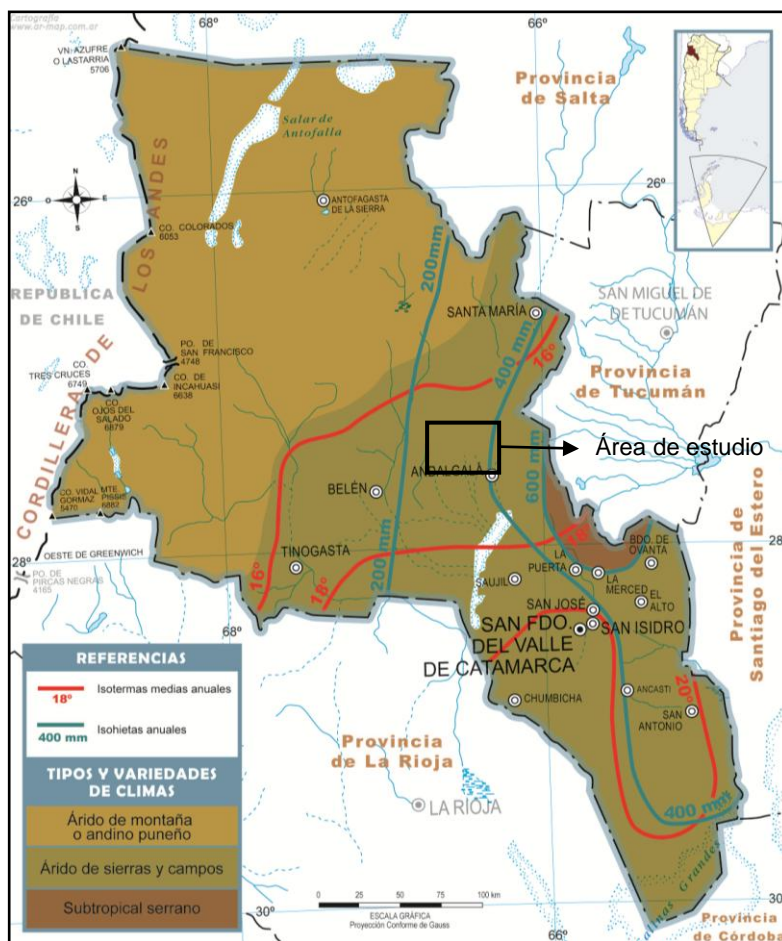


Figura 14: Mapa de climas de la Provincia de Catamarca (Fuente: <https://geografadidctica.wordpress.com/category/ecorregiones-de-la-argentina/>).

5.3 DEMOGRAFIA, MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE

Las localidades de Hualfín y Los Nacimientos cuentan con 987 y 215 habitantes respectivamente. Mientras que, la localidad de Amanao cuenta con 29 habitantes. De las tres localidades, Hualfín es la única que tiene cobertura de telefonía móvil.

Para llegar a las localidades de Los Nacimientos y Hualfín, desde la ciudad de S.F. V de Catamarca, se puede utilizar el servicio de transporte semipúblico de larga distancia de la empresa Gutiérrez SRL y 25 de Agosto SRL, que salen desde la terminal hasta la ciudad de Belén; desde allí, es necesario utilizar el servicio de combis urbanas, hasta dichas localidades. En cercanías a Los Nacimientos se encuentra el aeropuerto utilizado por la empresa Minera Alumbraera.

Amanao no cuenta con servicio de transporte semipúblico de larga distancia; para llegar allí, es necesario utilizar vehículo propio, alquilado o taxi, desde la ciudad de Andalgalá. Dicha ciudad, cuenta con servicio de transporte semipúblico de las empresas Gutiérrez SRL, 25 de Agosto SRL y San José Obrero SRL, saliendo desde S.FV de Catamarca.

5.4 TURISMO Y ARQUEOLOGIA

El turismo en las cercanías a Hualfín es muy importante debido a la variabilidad de paisajes y por el interés arqueológico que representan las ruinas de El Shincal, en la localidad de Londres (Dpto. Belén).

Las fuentes termales en Los Nacimientos generan mano de obra local, debido al turismo que se hace presente para visitarlas.

Como monumentos históricos nacionales, en el departamento de Belén, se encuentran: la Capilla de Hualfín, por el decreto. N° 7.531, año 1967; Establecimiento Inca-Shincal del Quimivil, por el decreto. N° 1.145, año 1997; Solar de la casa de Luis Franco, por la Ley N° 25.581, año 2002; Museo Arqueológico Provincial Cóndor Huasi, Museo Integral de Laguna Blanca, Museo Arqueológico de Hualfín, Museo y Centro de Interpretación del sitio El Shincal.

En la localidad de Amanao, el turismo está mucho más disminuido debido a la poca cantidad de habitantes que posee, aunque su atractivo paisajístico es innegable. Mientras que en otras localidades del departamento, el turismo se desarrolla en variadas formas: ejecutivo en la ciudad de Andalgalá, en relación con la demanda de servicios de la actividad minera, turismo minero en Capillitas, arqueológico en el Pucará de Aconquija. Las principales localidades turísticas son: Aconquija y Andalgalá.

Los monumentos históricos nacionales en Andalgalá son: Restos del Potrero de Chaquiago, decreto. N° 325, año 1989 y Museo Arqueológico Provincial Lafone Quevedo.

5.5 ACTIVIDAD ECONOMICA

En las localidades de Hualfín y Los Nacimientos, la agricultura es una de las actividades más importantes para la economía, las plantaciones de vid son muy antiguas, desde la etapa colonial los españoles iniciaron pequeños proyectos de bodegas que después se convirtieron en industrias mayores, algunas de las cuales hoy persisten. Dentro de los frutales, las frutas secas ocupan la mayor superficie de la mano del nogal, complementados por frutales de carozo y pepita. Entre las aromáticas o especies: predominan el comino, el pimiento para pimentón, y anís; entre las forrajeras la cebada y avena. La ganadería concentra camélidos, ovinos y caprinos.

En cuanto a la minería, comprende otra de las actividades de mayor importancia para la región, el departamento y la provincia, ya que desde 1997 es el pilar de la economía, debido a las grandes reservas de oro, plata, cobre, molibdeno, entre otros; extraídas por Farallón Negro y por Minera La Alumbreira.

Dentro de las actividades secundarias se encuentra la elaboración de vinos, pasa de uva y dulces, ruanas, mantas e hilado artesanal. En las artesanías se destacan la textil de llamas, ovejas y vicuñas, para ponchos, puyos, colchas.

En la localidad de Amanao, una de las actividades primarias es el cultivo de frutales y hortalizas (pasas de uva, ciruela, uva de mesa, higo, vid, ají, tomate fresco, olivo, nogales y

membrillo). Le siguen en importancia las forrajeras y semillas de papa principalmente. La producción actual se realiza mayormente bajo riego, sistema gravitacional, siendo el agua superficial la principal fuente. En cuanto a la ganadería, menos relevante para su economía, se practica la cría de ganado bovino en primer lugar, seguido de caprino, y por último el ovino.

La minería es de gran importancia para el departamento de Andalgalá y para la provincia, con la explotación de piedras semipreciosas en las que se destaca la Rodocrosita de Mina Capillitas, único yacimiento en explotación en el mundo.

Como actividades secundarias, se destacan la elaboración de aceites, dulces regionales, vinos regionales y aguardiente. También es importante el tallado artesanal de rodocrosita y otras piedras semipreciosas y la orfebrería.

6. GEOLOGÍA

La descripción geológica regional y del área de estudio que se presenta a continuación, es una síntesis de investigaciones realizadas por varios autores que han estudiado en detalle la zona de estudio propiamente dicha, y zonas cercanas a esta.

Los mapas geológicos, geomorfológicos y de usos de suelo que se presentan (Anexo cartográfico), fueron especialmente elaborados en base a estas investigaciones y al relevamiento en campo realizado como parte de los objetivos propuestos.

6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La provincia de Catamarca se encuentra constituida por cuatro provincias geológicas: Puna, Cordillera Frontal, Sistema Famatina y Sierras Pampeanas Noroccidentales (Figura 15).

El área de estudio, se encuentran formando parte de la provincia geológica Sierras Pampeanas, denominada así por Stelzner en 1885, para referirse a las montañas del centro del país; en el transcurso del tiempo y de las sucesivas investigaciones el nombre fue extendiéndose hacia el norte incluyendo a muchos bloques serranos de las provincias de Catamarca y Tucumán; principalmente en razón de la similar conformación geológica y morfológica entre éstos y aquellos a los cuales se les atribuyó el nombre originalmente.

Según González Bonorino (1950), esta unidad comprende una serie de sierras formadas por esquistos cristalinos o metamórficos emergentes de las pampas circundantes; y presentan una estructura de montañas en bloques limitadas por fallas inversas lístricas que en profundidad se horizontalizan, al encontrar transiciones frágil-dúctiles dentro de la corteza (Figura 16).

Actualmente, se divide en dos provincias con características diferentes: Las Sierras Pampeanas Occidentales y Las Sierras Pampeana Orientales. Las primeras constituyen las Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y el sector occidental de San Luis, correspondiendo a un orógeno eopaleozoico. Mientras que, las Sierras Pampeanas Occidentales, abarcarían las sierras de Córdoba Norte, las sierras Grande y Chica de Córdoba y la sierra de Comechingones, con la parte más oriental de la sierra de San Luis, que corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico.

Dentro de esta provincia morfoestructural se encuentra emplazado el Complejo Volcánico Farallón Negro que alberga una de las minas de cobre, oro y molibdeno más importante a nivel provincial y nacional, Mina Alumbreira, además de otros yacimientos de gran valor como: Mina Farallón Negro, y Minas Capillitas; y proyectos como: Filo Colorado y Agua Rica.

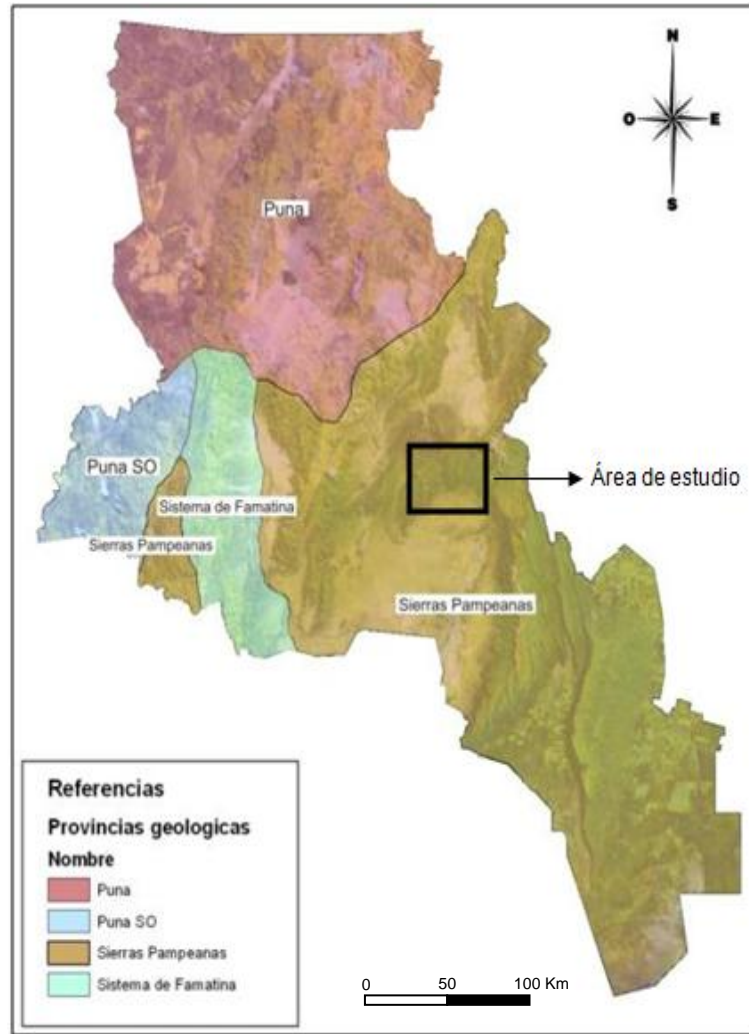


Figura 15: Mapa de provincias geológicas de Catamarca (Fuente: Argerich, 1976).

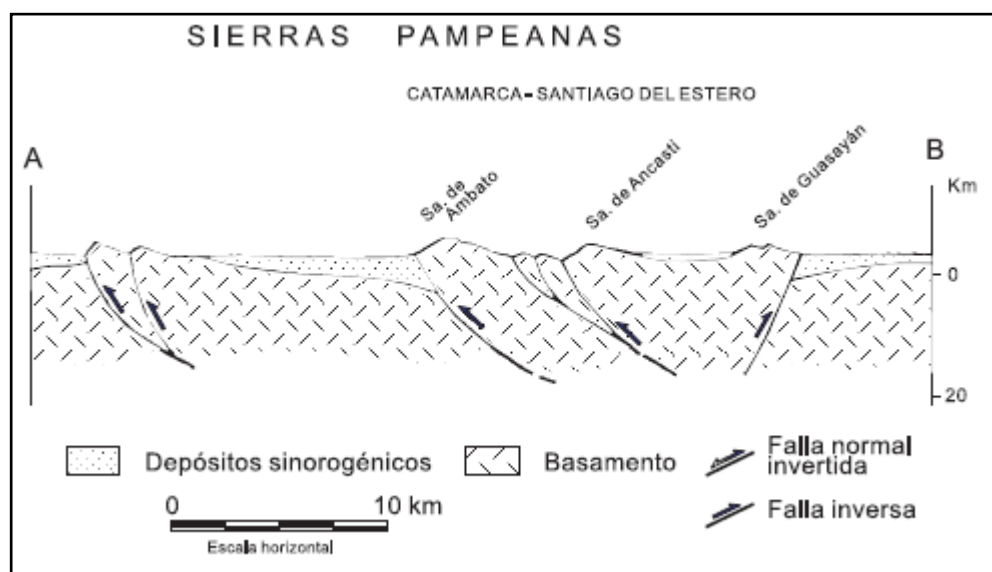


Figura 16: Sección estructural representativa de las Sierras Pampeanas en Catamarca (González Bonorino, 1950).

6.2 GEOLOGIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.2.1 Estratigrafía

Las unidades presentes en el área de estudio y representadas en el mapa geológico (Anexo cartográfico 1), fueron:

a. Precámbrico-Paleozoico inferior:

- *Metamorfitas (Formaciones Suncho, Loma Corral y Famalabasto:*

El complejo metamórfico del basamento está formado por rocas pelíticas con un grado de metamorfismo variable. El sedimento original ha sido una arcilla, probablemente enriquecida en potasio y más o menos enriquecida en clorita; localmente algunos niveles estaban enriquecidos en carbonato. En el noroeste, predominan los tipos psamíticos finos. El metamorfismo en estos sedimentos se debió en esencia a los cuerpos graníticos intruidos en ellos, que actuaron sobre rocas ya convertidas en semimetamórficas (arcillas pizarrosas, etc.) por movimientos tectónicos (González Bonorino, 1950).

Según el mismo autor, en el área oriental la aureola del metamorfismo es mucho más marcada. En el contacto del mismo existen micacitas y algunos gneises de inyección; las rocas suelen mostrar corrugamiento y abundante inyección por venas, en general concordantes de cuarzo. A pocos centenares de metros del contacto el grado de metamorfismo ha descendido al de una pizarra cornea con intercalaciones filíticas, que indican capas más enriquecidas en material pelítico. El aspecto propio de metamorfismo regional que presentan las rocas cerca del contacto se debe a la recristalización mimética, que no hace más que recalcar una esquistosidad ya preformada. Los esquistos muestran en general una fuerte inclinación; el rumbo predominante es de N-S.

- *Granitos (Batolito Capillitas):*

Según González Bonorino (1950), el batolito granítico se encuentra principalmente dividido por áreas metamórficas que son, probablemente, "roof-pendants", aunque puede ser que se prolonguen en profundidad con proporciones equivalentes de feldespato potásico y de plagioclasa, de los cuales el primero suele sobresalir por su tamaño originando una textura porfiroide. Se encuentran tres variaciones locales en la composición; existen así granitos propiamente dichos, granodioritas, sienitas y tonalita.

Los contactos del batolito son discordantes; no se notan signos muy marcados de compresión intrusiva lateral, y el granito incluye gran cantidad de pequeñas inclusiones ovales de esquistos más o menos asimilados que demuestran que ha existido algo de "piecemeal stoping"; el mecanismo principal de emplazamiento es, sin embargo, desconocido. Las facies próximas al contacto oriental (C° Yutuyaco, etc.), además de las inclusiones mencionadas, contiene un porcentaje relativamente elevado de biotita, que parece haber resultado de la contaminación del magma por la roca de caja.

b. Paleógeno

- *Formación Hualfín:*

Ha sido propuesta por Muruaga (1998, 2001a, b) y Bossi *et al.* (1999), aflora en forma continua en la ladera occidental de la sierra de Hualfín. La unidad yace en no conformidad sobre el basamento cristalino y a su vez es cubierta en disconformidad o discordancia angular por la Formación Las Arcas. La participación volcánica es reducida. Sin embargo, en las juntas de los ríos Jaciyae y Vis Vis (al sur del Complejo Farallón Negro) aparece atravesada por cuerpos volcánicos andesíticos irregulares en gran parte alterados.

Consiste en areniscas rojo ladrillo oscuro a violáceo, finas y medias, estratificadas en capas de 1 a 2 m, macizas, de base plana, con laminación paralela, inclinada, bien cementadas o con cementación en forma de bochas. La sección inferior de la unidad presenta rodados dispersos y algunas intercalaciones de areniscas conglomerádicas con guijas y sábulo de granitoides, metamorfitas y pocas vulcanitas intermedias. El nivel de diagénesis y litificación es elevado, aunque variable con una cementación carbonática o silícea importante (Muruaga, 1998, 2001b).

c. Neógeno

- Formación Las Arcas:

Está integrada por areniscas finas a medianas y pelitas subordinadas o en carnadas de paraclastos con intercalaciones menores de conglomerados de rodados graníticos y metamórficos, generalmente friables color rojo naranja. Constituye parte del Grupo Santa María (Muruaga, 1998).

La unidad yace en disconformidad sobre la Formación Hualfín y cuando ésta falta, en no conformidad sobre la Penillanura Pampeana. El pasaje hacia la Formación Chiquimil es transicional y está definido por un cambio de color de rojo naranja a pardo amarillento; además, las texturas dominantes en las areniscas pasan de finas a medianas y gruesas (Bossi y Muruaga, 2009).

- Complejo Volcánico Farallón Negro:

Está formado por una serie de rocas extrusivas de naturaleza andesítica-dacítica (coladas de lava, brechas, aglomerados, etc). Es interpretado como un extenso estratovolcán de aproximadamente 16 Km. de diámetro y 6.000 metros de altura. Un intrusivo de composición diorítico-monzonítico en la zona central podría coincidir con el centro eruptivo (Mozonita de Alto de La Blenda). El emplazamiento de cuerpos hipabisales de pórfiros dacíticos, en el Complejo volcánico, que dieron origen a la mineralización, corresponden a las etapas finales de su evolución (Angera, 1999).

Según el mismo autor, se pueden distinguir un total de cinco intrusiones de pórfiro dacítico, formando un stock principal. Intrusiones tardías en forma de diques, cortan a este stock principal y se extienden en las andesitas adyacentes en un arreglo radial. Los distintos pórfiros pueden ser distinguidos por sus variedades texturales y contenido de fenocristales, pero son clasificados como intrusiones individuales por reconocimiento de contactos y relaciones de yacencia.

- Formación Chiquimil (Miembros Los Baños, El Áspero y El Jarillal):

El término Formación Chiquimil fue introducido por Bossi y Palma (1982) sobre la base de una reconsideración y valorización de los estudios estratigráficos llevados a cabo por

Stahlecker en 1926. La unidad se la reconoce fácilmente en el campo por el marcado color amarillo de sus areniscas; estas se encuentran en estratos tabulares continuos con estratificación cruzada tabular tangencial simple alternando con pelitas macizas y laminadas que aparecen como paraclastos en muchas areniscas. Los conglomerados son infrecuentes y en capas lenticulares muy delgadas. Las pelitas contienen una rica fauna de vertebrados e impresiones y carbonizaciones de hojas y tallos. Se registran dos niveles de toba de 0,2 m cada uno. Los afloramientos de esta unidad aparecen rodeando el núcleo central del Complejo Volcánico Farallón Negro. Los conglomerados y brechas volcánicas acompañados por intrusivos constituyen la base y en ocasiones la totalidad de la Formación Chiquimil (Bossi y Muruaga, 2009).

Muruaga (1998) asignó el Miembro Los Baños al Mioceno superior de acuerdo a la escala de Cowle y Basset (1989), sobre la base de la datación de $9,14 \pm 0,09$ Ma (Sasso, 1997) de la colada andesítica intercalada en el sobreyacente Miembro El Áspero. La litología de la porción inferior del Miembro Los Baños, constituida por la alternancia de areniscas medianas a gruesas alternando con pelitas y conglomerados volcanoclásticos, indica un ambiente fluvial de llanura, posiblemente bajo clima con estación estival húmeda, suelos tipo vertisoles y fuerte oscilación del nivel freático y canales enlazados efímeros (Bossi y Muruaga, 2009).

Los conglomerados y brechas volcanoclásticas de la sección media (Miembro El Áspero) implican el arrastre de materiales pefíticos de relieves cercanos e importantes, con un predominio de procesos de remoción en masa: brechas "ash-block", brechas volcánicas ("lahares") y erupciones explosivas (Bossi y Muruaga, 2009).

Con la atenuación del volcanismo y su total desaparición en áreas cercanas a la cuenca, la sedimentación se vuelve predominantemente arenosa, de composición metamórfica-granítica, con presencia volcanoclástica decreciente (Miembro El Jarillal). Muruaga (1998) infiere un paleoambiente de ríos permanentes de baja sinuosidad constituyendo un sistema fluvial entrelazado gravoso con frecuentes depósitos de explayamiento, flujos mantiformes y fango preservados escasamente que conformaban la planicie de inundación.

– *Formación Andalhuala (facies conglomerádicas y arenosas):*

La Formación Andalhuala aflora extensamente y con espesores importantes en el área de Hualfín, disminuyendo sensiblemente de espesor hacia el sur. También manifiesta saltuariamente a ambos lados del río Los Nacimientos entre Farallón Negro y la sierra de Hualfín (Bossi y Muruaga, 2009).

Está constituida por areniscas medianas a gruesas, areniscas conglomerádicas gris claras con rodados de metamórfitas y vulcanitas alteradas. Poseen estructuras macizas o con estratificación cruzada que alternan con bancos limo-arenosos gris pardo amarillentos macizos bioturbados, con capas de tobas (Tineo y Ruiz, 2014).

Según Bossi y Muruaga (2009), la sucesión presenta evidencias paleoclimáticas que indican una creciente aridez hacia la parte superior; aparecen areniscas en cuerpos de canal de escaso relieve y potencia asociados a calcretos, depósitos de "loess" y arenas eólicas acumuladas directamente sobre canales fluviales gravosos y/o formando grandes dunas. Los conglomerados y arenas gruesas indican flujos mantiformes y con frecuencia hiperconcentrados.

d. Cuaternario

– *Conglomerados de la Puna (Punaschotter):*

Punaschotter (Penck, 1920) es una denominación informal que involucra capas de conglomerados de textura fina a media y ocasionalmente gruesa, con guijones y bloques dispersos, de composición granítica y metamórfica, con rodados subredondeados con frecuentes pátinas negras, tabulares irregulares y lenticulares, que alternan con lentes de areniscas gruesas arcósicas o con fuerte contenido lítico. El espesor máximo no supera los 50 m. Los conglomerados de esta unidad tienen en común que conservan la superficie geomorfológica superior y muestran escasa deformación. (Bossi y Muruaga, 2009).

Han sido interpretados por Bossi et al. (2001) como depósitos acumulados durante el clímax de la inversión tectónica en espesores generalmente delgados sobre un pie de monte de relieve alto creciente y bajo un clima árido intenso.

– *Depósitos cuaternarios:*

Los depósitos más recientes incluyen arenas eólicas que cubren gran parte de la cuenca enmascarando sus rasgos geológicos, geomorfológicos y estructurales. Particularmente, la localidad de Hualfín y Los Nacimientos se caracterizan por la presencia de sedimentos, principalmente aluviones terrazados, depósitos de bolsón, médanos, entre otros. Mientras que, la localidad de Amanao se caracteriza por la presencia de aluviones actuales provenientes de la quebrada de Vis Vis previo a su desembocadura en el Salar de Pipanaco.

6.2.2 Geomorfología y usos del suelo

De acuerdo a los mapas geomorfológicos realizados para cada área de detalle (Anexo cartográfico 5 a 7), se observaron las siguientes geoformas y usos del suelo:

a. De origen denudacional

– *Afloramientos de rocas intrusivas y sedimentarias:*

Corresponden a la litología del Precámbrico - Paleozoico inferior y a las formaciones del Terciario, descritas anteriormente. Estas unidades son aquellas geoformas producto de procesos de degradación, que presentan control estructural por fallas, y que son afectadas por fenómenos denudacionales.

b. De origen fluvial

– *Abanicos aluviales:*

Corresponden a geoformas de acumulación constituidas por materiales de escasa selección e incipiente estratificación, generados por una corriente fluvial encauzada, que deposita su carga cuando emerge a una zona de menor pendiente y/o pierde actividad. Son geoformas semicirculares en planta, con un radio de dimensiones variables y un ápice donde emerge el canal fluvial. En un perfil transversal es convexo y su pendiente es inversamente proporcional al radio; en un perfil longitudinal, es cóncavo.

– *Glacis:*

Geoforma de superficie suavemente inclinada (del 1 al 5%), que en una sección transversal es recta o ligeramente cóncava y con escasa dirección vertical. Se originan por la erosión, al removerse gradualmente una capa de rocas de poca resistencia, al ser erosionada la última, disminuye la intensidad de la disección y se incrementa la acumulación en la base. En las áreas de detalle, se diferenciaron el glacis de tipo cubierto, cuya superficie aparece modelada sobre parte de la formación Andalhuala y de los depósitos aluviales del segundo nivel de piedemonte, y se extiende hasta los límites de los ríos Los Nacimientos y Hualfín.

– *Albardones:*

Esta forma de acumulación fluvial, se genera cuando ocurre una disminución de la velocidad del flujo de agua; presentan aspecto de camellón alargado, estrecho y convexo y está formado por materiales recientes relativamente gruesos. Su origen se debe al exceso de carga durante el desborde del río, cuando ocurre un pico de creciente. Esta situación da lugar a una pérdida de la capacidad de transporte del río, por lo cual éste deposita la carga en exceso que transportaba dentro del canal, haciéndolo inmediatamente en cada margen del curso.

– *Terrazas fluviales:*

Son antiguos lechos de inundación, que forman superficies planas o ligeramente inclinadas, limitadas por un reborde escarpado, generalmente de poca altura. Pueden presentarse en varios niveles de terrazas, siendo la más antigua la de cota más alta y la más moderna, la próxima al río. En las áreas de detalle se observó que el proceso predominante en las terrazas, es de tipo erosivo.

– *Zona salina y de humedal:*

Producida por el estancamiento de agua que lleva disuelta gran cantidad de sales. Esta depresión salina cerrada, cuya agua se ha evaporado, a veces se presenta rodeada de vegetación halófila. La zona de humedal está constituida por el aporte de ríos permanentes y esporádicos, que suelen desembocar en el lecho mayor.

– *Lecho mayor:*

Cuando el río está en período de estiaje, el agua sólo escurre por el lecho menor, encauzado en el canal de estiaje. En cambio, en los períodos de crecida, el agua inunda el lecho mayor.

c. De origen eólico, fluvial y aluvial

– *Sedimento suelto indiferenciado:*

Las geoformas descritas en la cartografía incluyen parte los depósitos cuaternarios más recientes, los cuales cubren gran parte de las áreas urbanas, y donde no puede identificarse ningún tipo de origen o proceso de generación definido.

d. De origen antrópico (usos del suelo)

Principalmente se debe a la instalación de cultivos (activos e inactivos) y al asentamiento de la población. En la mayoría de los casos, estas áreas de cultivo se encuentran ubicadas en zonas de terrazas fluviales. Se pudo distinguir, también, que existen áreas recientemente desmontadas.

A continuación, se describen cada una de las áreas de detalle:

Hualfín

En esta área de detalle, se observa que predominan las formas de origen fluvial y denudativo. En el sector al NW del mapa (Anexo cartográfico 5), la Sierra de Hualfín está compuesta principalmente por sedimentos terciarios paleógenos de la Fm. Hualfín, con pendiente de hasta el 20% inclinándose al SW, en dirección a la estación de aire (Figura 17).

Las geoformas de origen fluvial, abanicos y glacis, ocupan una gran extensión en la cartografía, siempre con dirección hacia el río, el cual es de tipo anastomosado.

A ambos márgenes del río Hualfín, las áreas cultivadas sobre terrazas y sedimentos indiferenciados prevalecen, lo que ayuda a fijar el material suelto, estas áreas cultivadas son de aproximadamente a 260 hectáreas.

Existe una zona de humedal, ubicada hacia el SW del mapa, al pie de la Sierra, que recibe el aporte de ríos esporádicos y permanentes, que desembocan en el lecho mayor, con gran cantidad de aporte salino.

La estación de monitoreo de aire se encuentra en un sector alto topográficamente, correspondiente a un área denudativa de afloramientos terciarios, rodeada de cultivos (Figura 18).

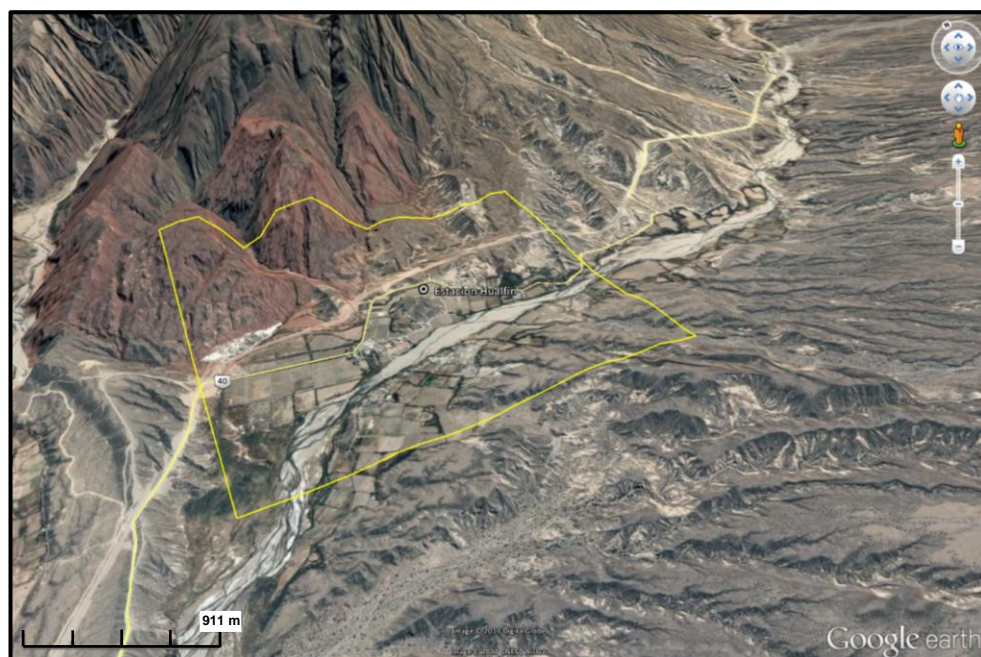


Figura 17: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Hualfín.

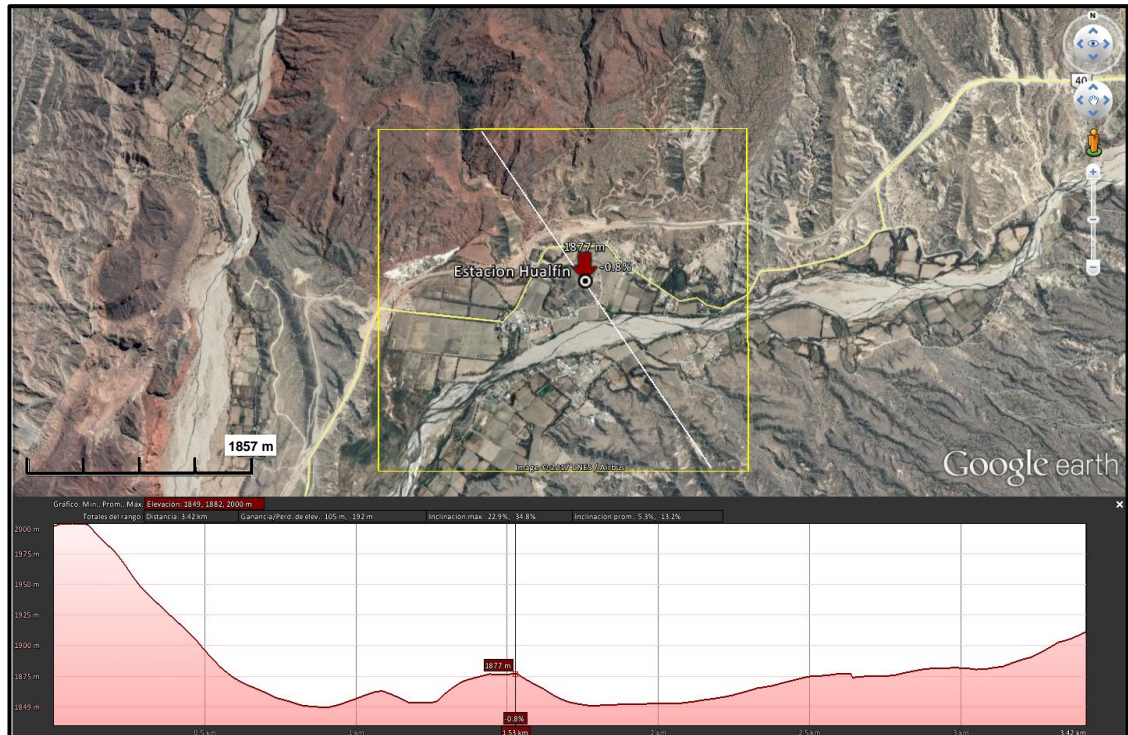


Figura 18: Área de Hualfín mostrando el perfil topográfico (Google Earth).

Los Nacimientos

El área de Los Nacimientos, presenta gran cantidad de geoformas de origen fluvial. Las unidades geológicas que rodean a la estación de monitoreo son de edades terciarias y cuaternarias.

Al igual que el río Hualfín, el río Nacimientos, es de tipo anastomosado y discurre en dirección NE-SW. Como parte del lecho de éste, pueden observarse dos niveles de terrazas que en su mayoría son aprovechadas para el cultivo, alcanzando aproximadamente 59 hectáreas.

La formación Hualfín, representada como el área denudativa de afloramientos rocosos terciarios, presenta una pendiente promedio del 15% inclinándose hacia el río Los Nacimientos (Figura 19).

Los glaciares cubiertos son los que ocupan mayor extensión areal en el mapa (Anexo cartográfico 6), su dirección es SE-NW, hacia el río Nacimientos. Presentan una inclinación transversal promedio de 4,5% con dirección al SW. La estación de monitoreo de aire se encuentra ubicada sobre uno de ellos, a una distancia considerable de las zonas cultivadas (Figura 20).

En el sector NW, se observan abanicos aluviales al pie de la Sierra de Hualfín.

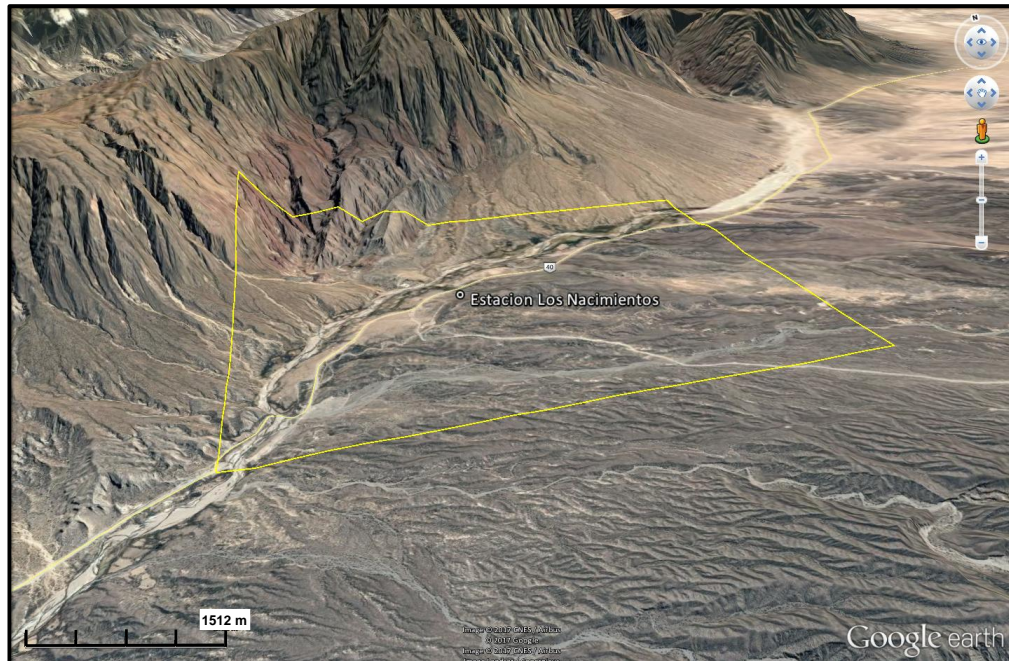


Figura 19: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Los Nacimientos.

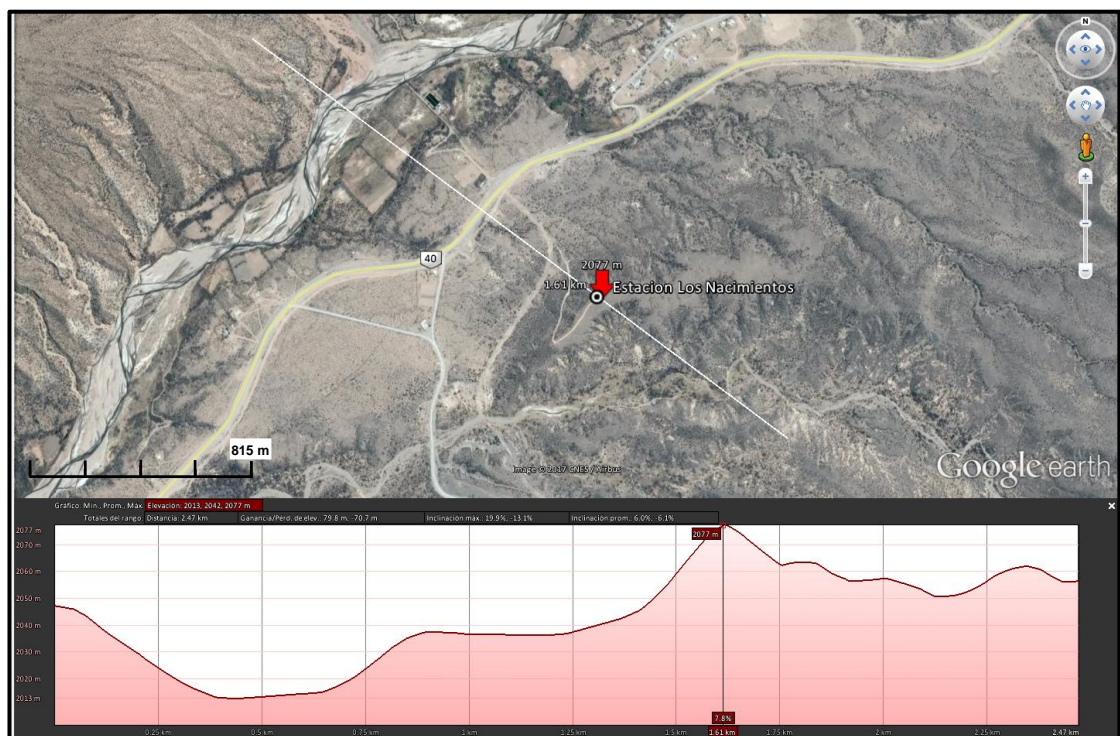


Figura 20: Área de Los Nacimientos mostrando el perfil topográfico (Google Earth).

Amanao

El área de Amanao se encuentra emplazada en un valle labrado por el río Amanao (Anexo cartográfico 7). Predominan las geformas de origen denudativo, con afloramientos de granitos y metamorfitas del Precámbrico-Paleozoico inferior. En general las pendientes de las sierras circundantes a la estación son de hasta el 50% en algunos casos (Figura 21).

En la quebrada de Amanao, las geformas de origen fluvial como albardones y terrazas son aprovechadas como área de cultivo. El río Amanao discurre en dirección N-S poco caudaloso, de tipo anastomosado, y no tiene un lecho menor definido.

La estación de monitoreo de aire, se encuentra en una hondonada de sedimentos sueltos indiferenciados aprovechados también como área de cultivo (Figura 22). Las zonas cultivadas alcanzan las 20 hectáreas y las zonas con cultivo inactivo las 67 hectáreas. Las áreas pobladas son pequeñas.

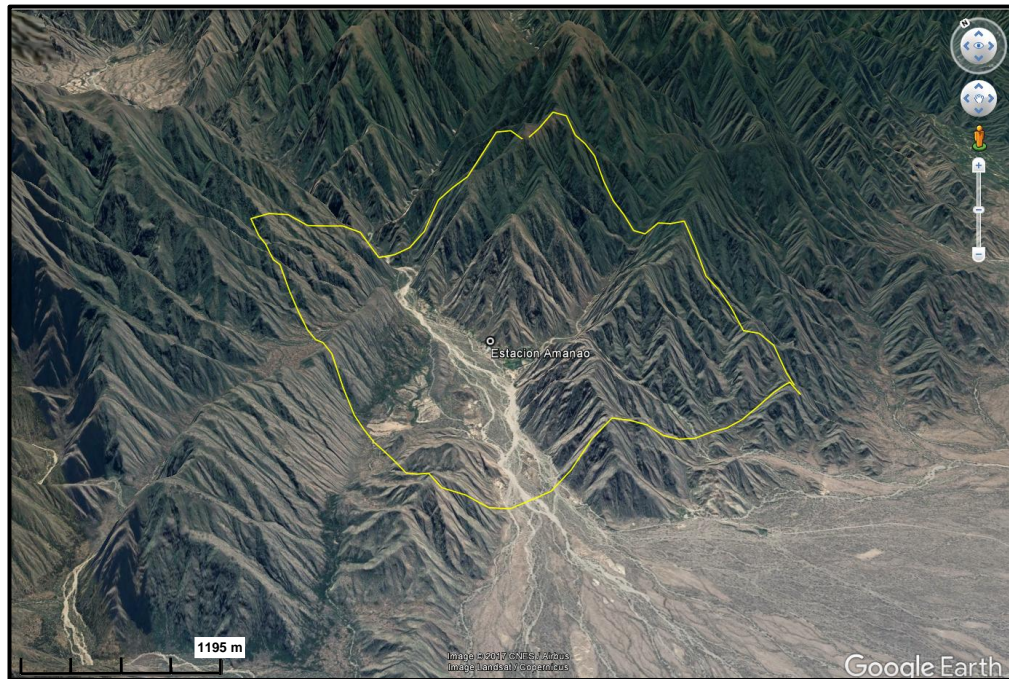


Figura 21: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Amanao.

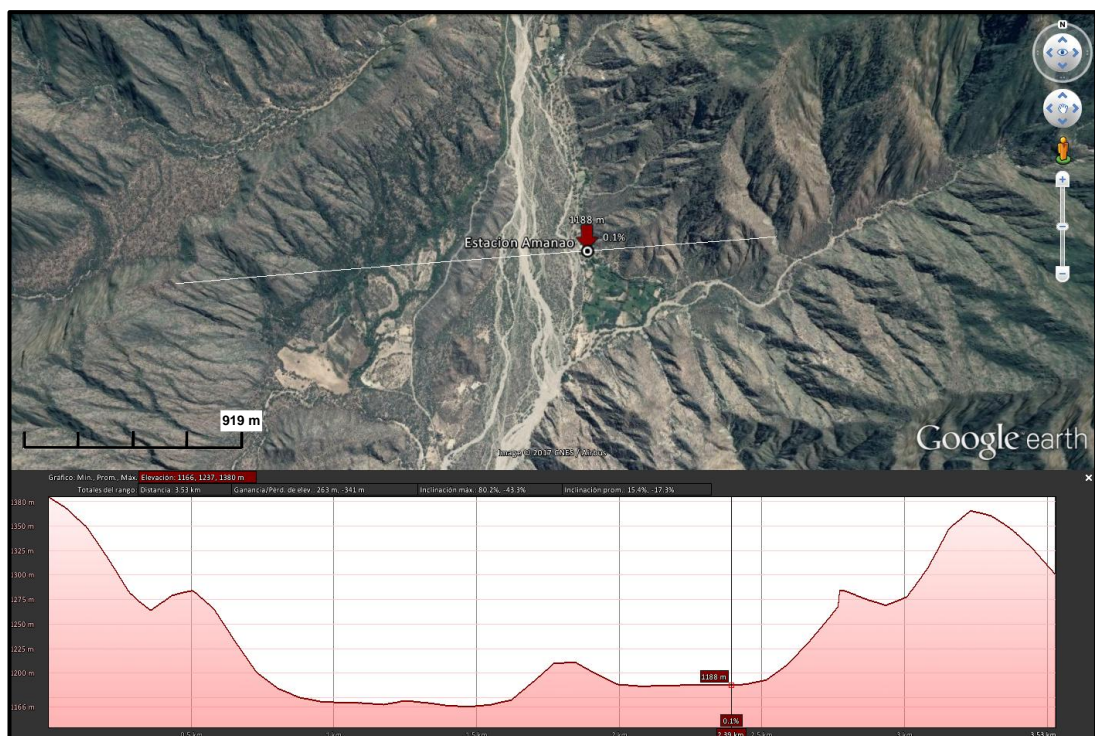


Figura 22: Área de Amanao mostrando perfil topográfico (Google Earth).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1.1 Niveles de referencia

Las variables calculadas en el análisis estadístico mostraron que todos los parámetros presentaban una distribución no normal (Anexo III.3 y III.4) por lo que se obtuvieron los NR para todos los parámetros, a partir del cálculo de los cuartiles (Anexo II.5).

En el caso de los metales Mo y Pb medidos en el parámetro PTS, como sus concentraciones presentaban muy poca variabilidad entre sí, se utilizó el cuartil 2 para el cálculo del NR.

En la Tabla 8 y 9 se muestran los valores de NR obtenidos para cada parámetro, en cada estación de monitoreo, y los niveles guías (NG) correspondiente según la legislación vigente:

- Normativa complementaria de la Ley 24.585-Anexo IV, para MP_{10} y Pb (ambos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en un periodo de tiempo de un año y de tres meses, respectivamente.
- Ley 20.284-Anexo II, para PTS y MPS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mg/cm^2 , respectivamente), en un periodo de tiempo de un mes para ambos.

Para los metales Fe, Cu y Mo medidos en los parámetros PTS y MPS, no se encontró normativas provinciales, nacionales o internacionales que establezcan niveles guías en aire, y que permitieran establecer una comparación con los NR obtenidos para esos elementos.

Estación	Hualfín		Los Nacimientos		Amanao		Nivel guía (NG)*
	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%	
MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37,9	19,0 56,9	54,7	27,4 82,1	21,1	10,5 31,6	50
PTS	74,1	37,0 111,1	66,2	33,1 99,3	67,3	33,6 100,9	150
Fe	0,08	0,04 0,1	0,07	0,04 0,1	0,07	0,04 0,11	No legislado
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Cu	0,004	0,002 0,005	0,002	0,001 0,003	0,008	0,004 0,01	No legislado
Mo	0,0004	0,0002 0,0006	0,0004	0,0002 0,0006	0,0004	0,0002 0,0006	No legislado
Pb	0,0008	0,0004 0,001	0,0008	0,0004 0,001	0,0007	0,0004 0,001	1,5

Tabla 8: Valores de NR obtenidos para las tres estaciones de estudio con sus NG según normativa vigente.

Estación	Hualfín		Los Nacimientos		Amanao		Nivel guía (NG)*
Parámetro	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%	
MPS	1,1	0,5 1,6	0,6	0,3 0,9	2,1	1,0 3,1	1,0
Fe	0,01	0,006 0,02	0,005	0,003 0,008	0,01	0,006 0,02	No legislado
MPS (mg/cm ²) Cu	0,0002	0,00008 0,0003	0,00008	0,00004 0,0001	0,0002	0,0001 0,0003	No legislado
Mo	0,00003	0,0001 0,00004	0,00003	0,00001 0,00004	0,00002	0,00001 0,00003	No legislado
Pb	0,001	0,0006 0,002	0,0004	0,0002 0,0006	0,0009	0,0004 0,001	No legislado

Tabla 9: (continuación) Valores de NR obtenidos para las tres estaciones de estudio con sus NG según normativa vigente.

A partir de los valores obtenidos, se representaron mediante gráficos temporales (Figura 23 a 40), los valores de concentraciones para cada parámetro, con su correspondiente NR calculado (línea roja) y la zona de la variación (franja rosa), y los NG (línea verde) en el caso que correspondiera.

En el caso de valores de concentraciones muy bajos, en los que era difícil su visualización, se los representó a escala logarítmica.

a. Estación de monitoreo de Hualfín

Para a la estación de Hualfín y, teniendo en cuenta la normativa vigente, se observó que el NR para el parámetro MPS, supera mínimamente el valor estándar establecido (NG).

El comportamiento temporal de las concentraciones en los parámetros medidos mostró que existen valores máximos de concentraciones que superan el NR calculado. Se encontró, en los parámetros MP₁₀ y PTS, que en el año 2014 los valores máximos coincidieron en el mes de abril (otoño). Mientras que, en los metales medidos en PTS, los valores máximos se presentaron, en los meses de julio/agosto (invierno); excepto en Pb, cuyo valor máximo se dio en el mes de noviembre de 2015 (primavera).

Para MPS, el valor máximo ocurrió en enero de 2016 (verano); mientras que para sus metales, el comportamiento fue más variado, presentándose sus valores máximos en todas las estaciones, excepto en invierno.

En cuanto a los metales medidos en PTS y MPS, se observó que el Fe y Cu (en PTS) y Fe y Pb (en MPS), fueron los que presentaron mayores concentraciones respecto a los demás metales.

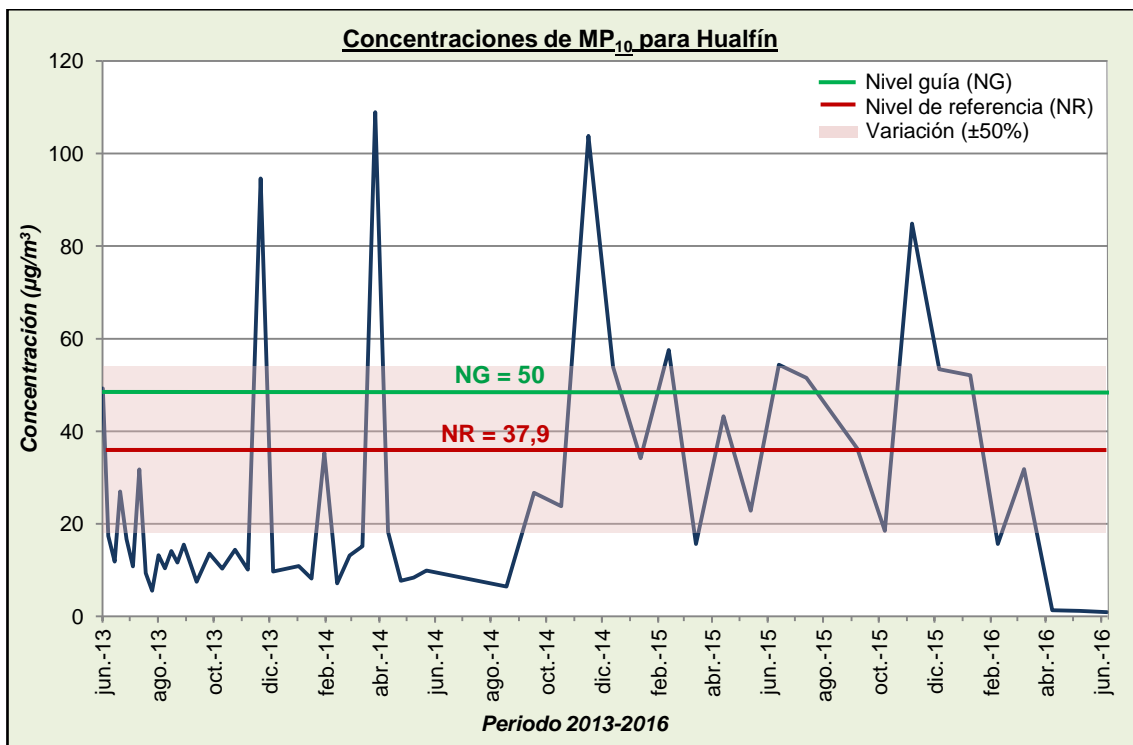


Figura 23: Concentraciones de MP₁₀, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

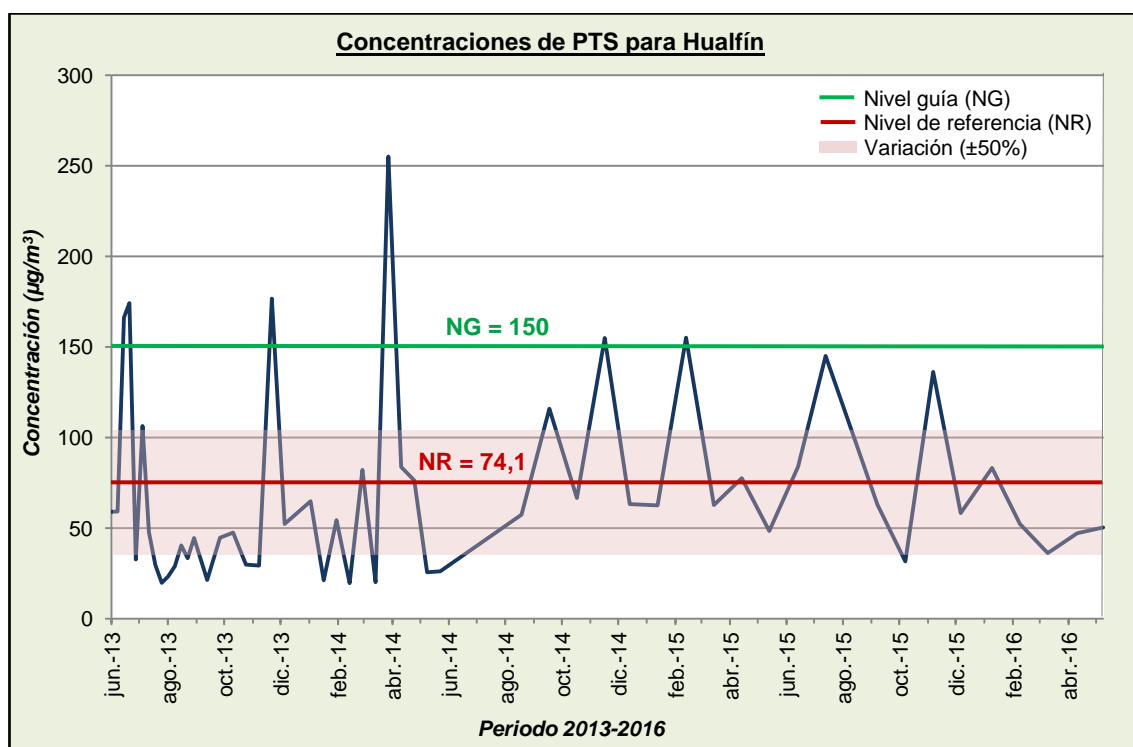


Figura 24: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

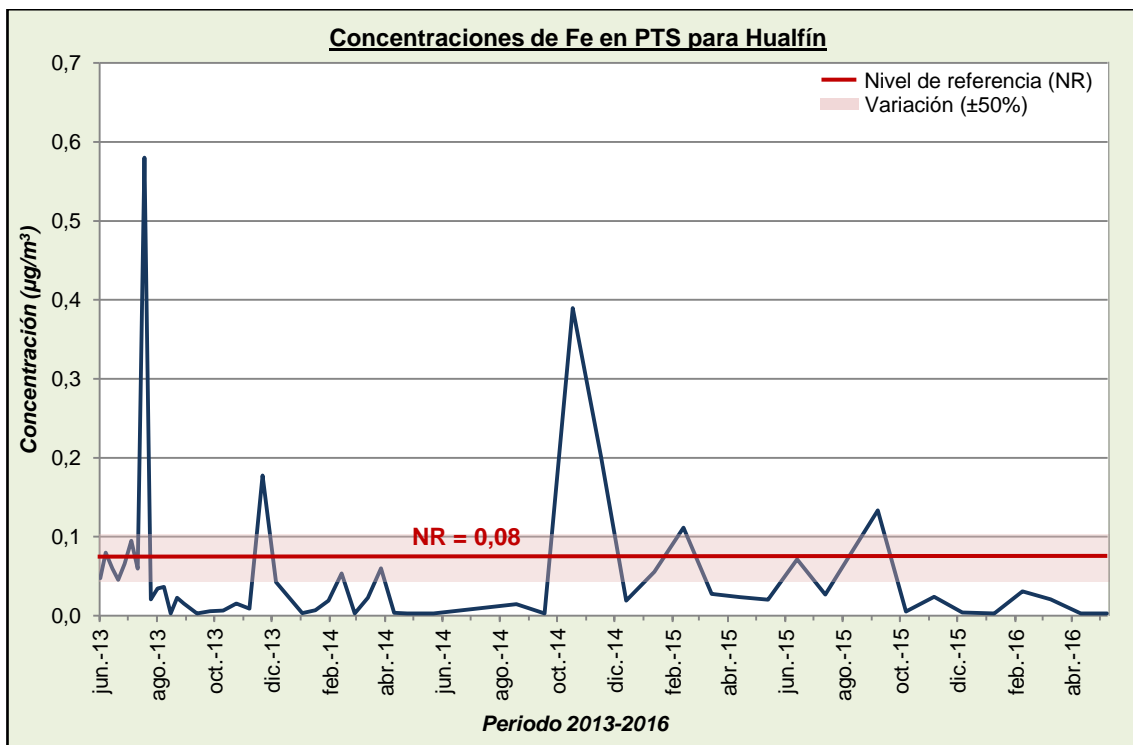


Figura 25: Concentraciones de Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016.

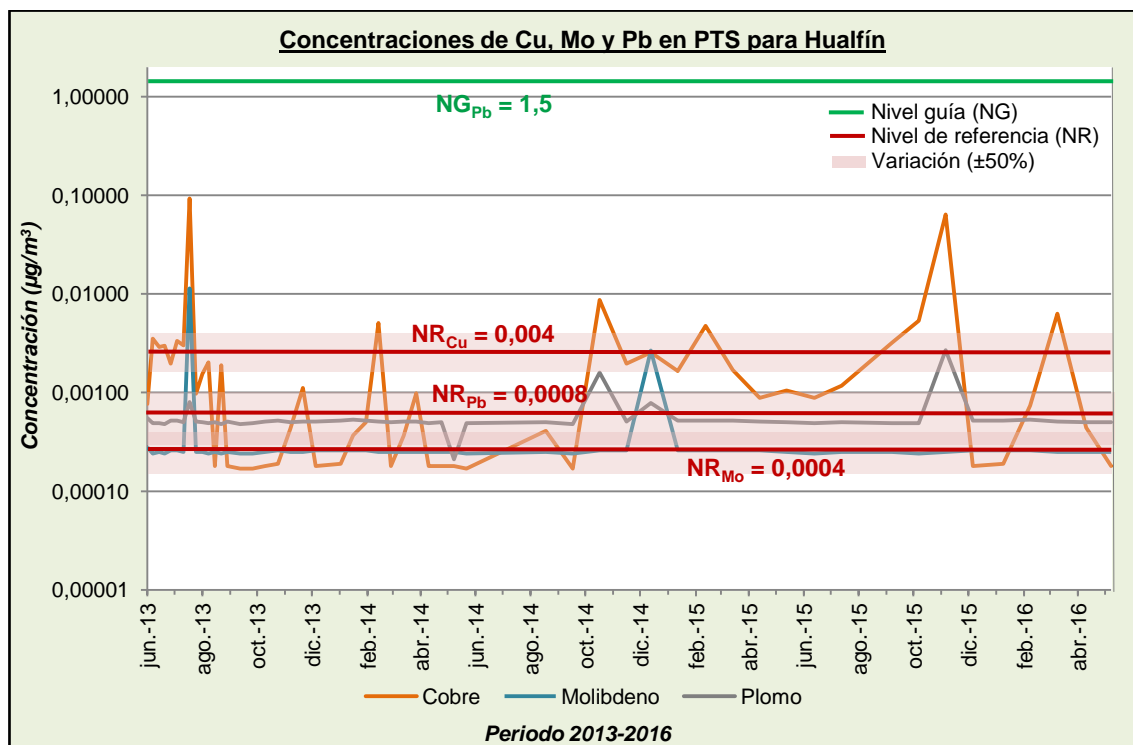


Figura 26: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

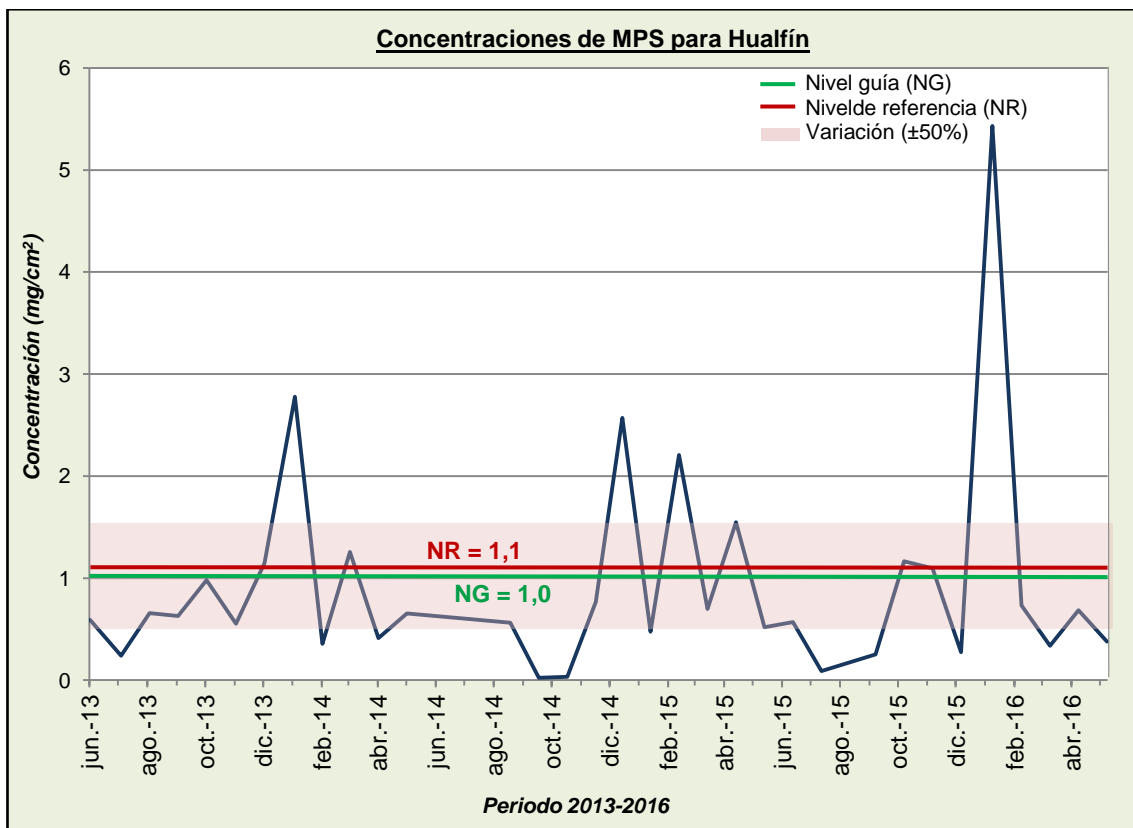


Figura 27: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

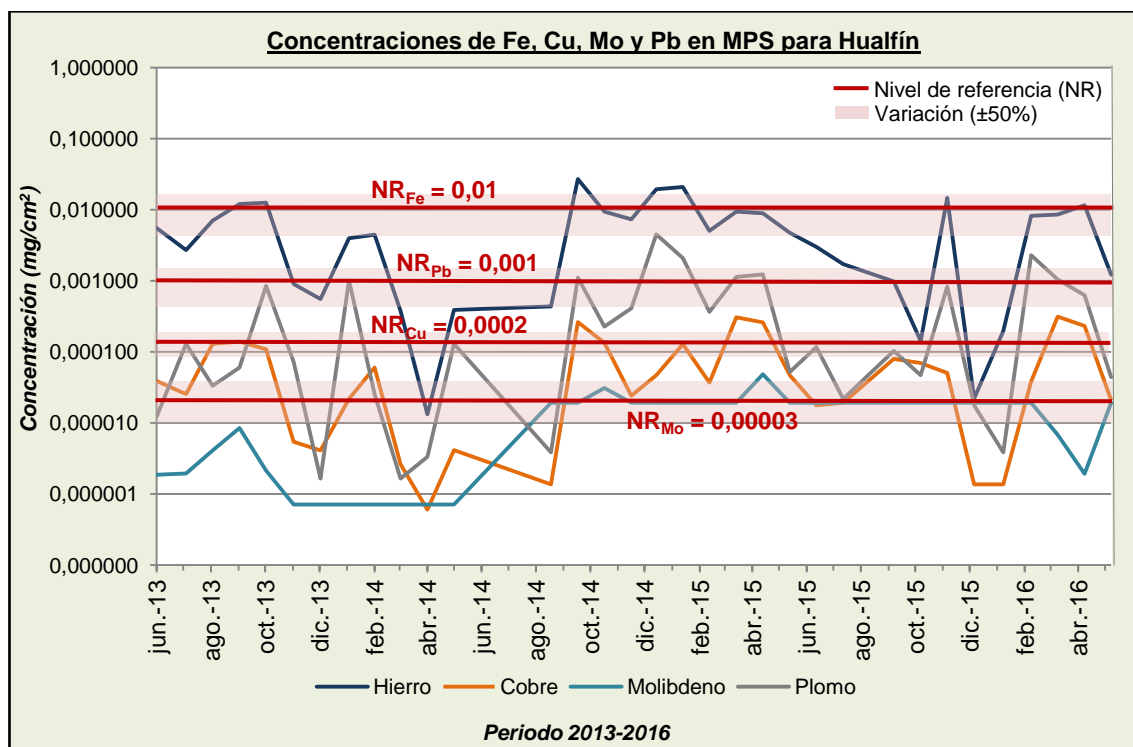


Figura 28: Concentración de Fe, Cu, Mo y Pb en MPS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

b. Estación de monitoreo de Los Nacimientos

En cuanto a la estación de Los Nacimientos y, teniendo en cuenta la normativa vigente, se observó que el NR calculado para el parámetro MP_{10} , supera el valor guía establecido (NG).

En la observación del comportamiento temporal de las concentraciones en los parámetros medidos, se encontró que existen valores máximos de concentraciones que superan el NR calculado; además, la ocurrencia de estos valores, en todo el periodo de estudio considerado (2013-2016), fue mucho mayor a la de la estación de Hualfín.

Se encontró también, que en MP_{10} y Cu y Mo medidos en PTS, los valores máximos coincidieron con la estación de invierno de 2013 (julio/agosto). Mientras que, para PTS, Fe en ese parámetro y MPS, los valores máximos se presentaron, en la estación de verano de 2016. Esto no ocurrió con los metales medidos en MPS, cuyos valores máximos se presentaron recién durante el mes de abril de 2016 (otoño).

De los metales medidos tanto en PTS como MPS, se observó que el Fe y Cu (en PTS) y Fe y Pb (en MPS), fueron los que presentaron mayores concentraciones respecto a los demás metales.

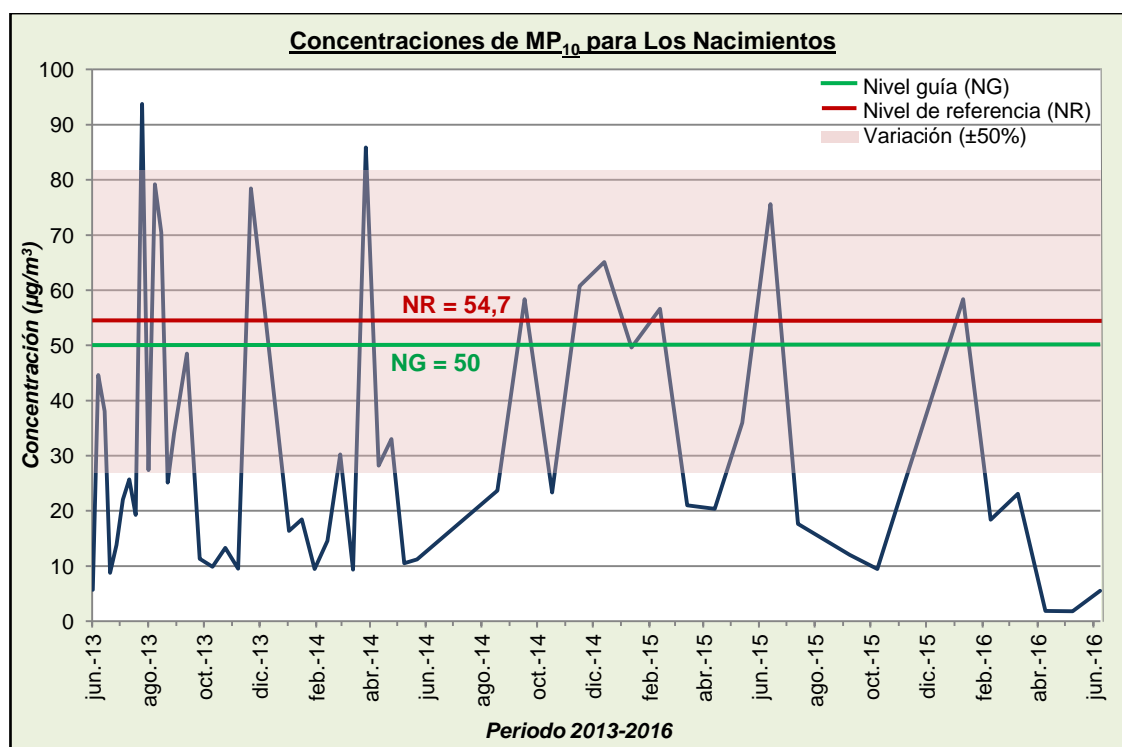


Figura 29: Concentraciones de MP_{10} , NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

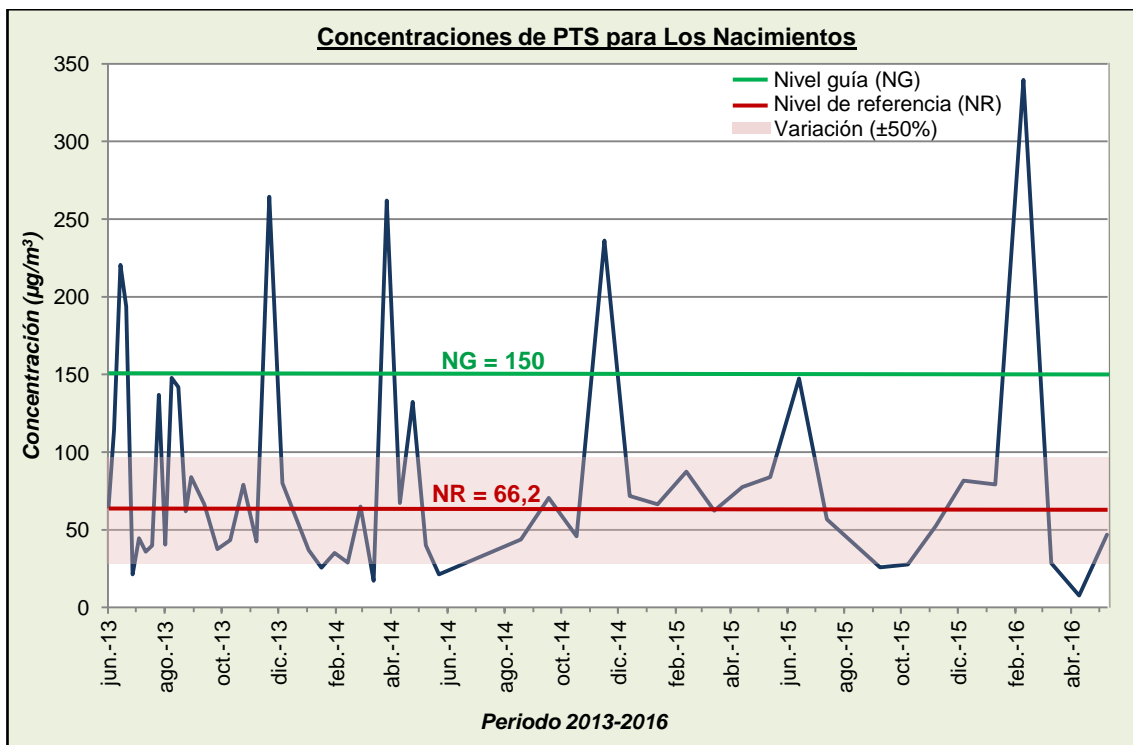


Figura 30: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

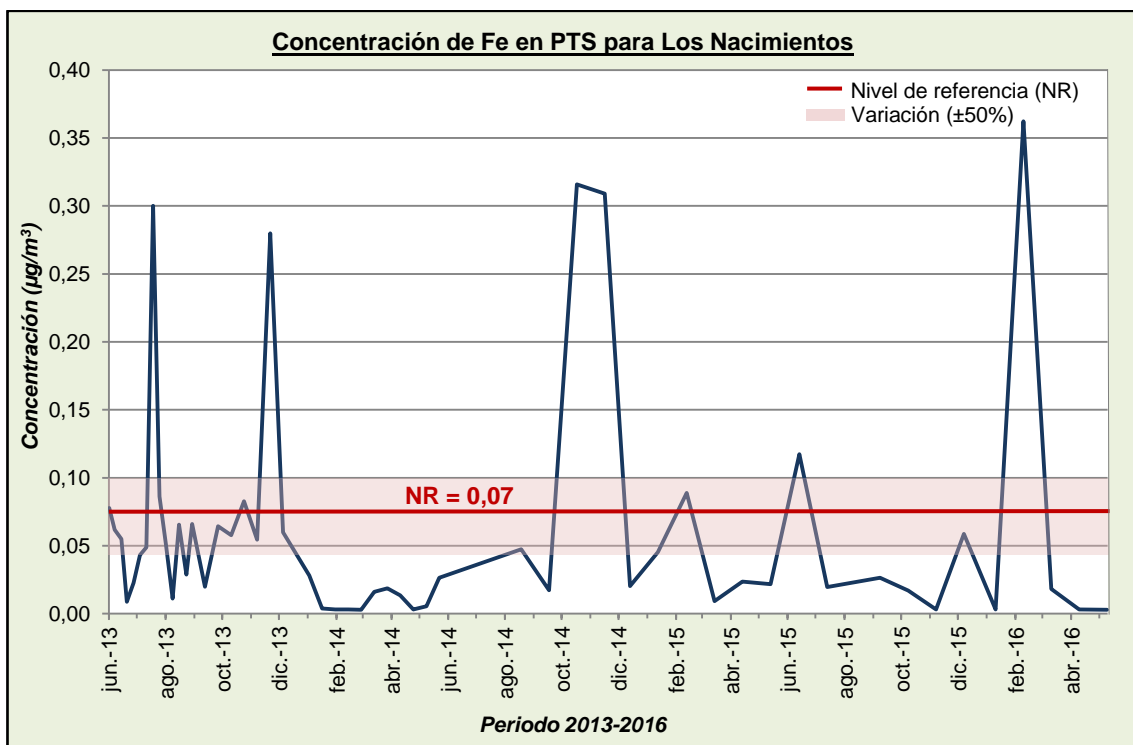


Figura 31: Concentraciones Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016.

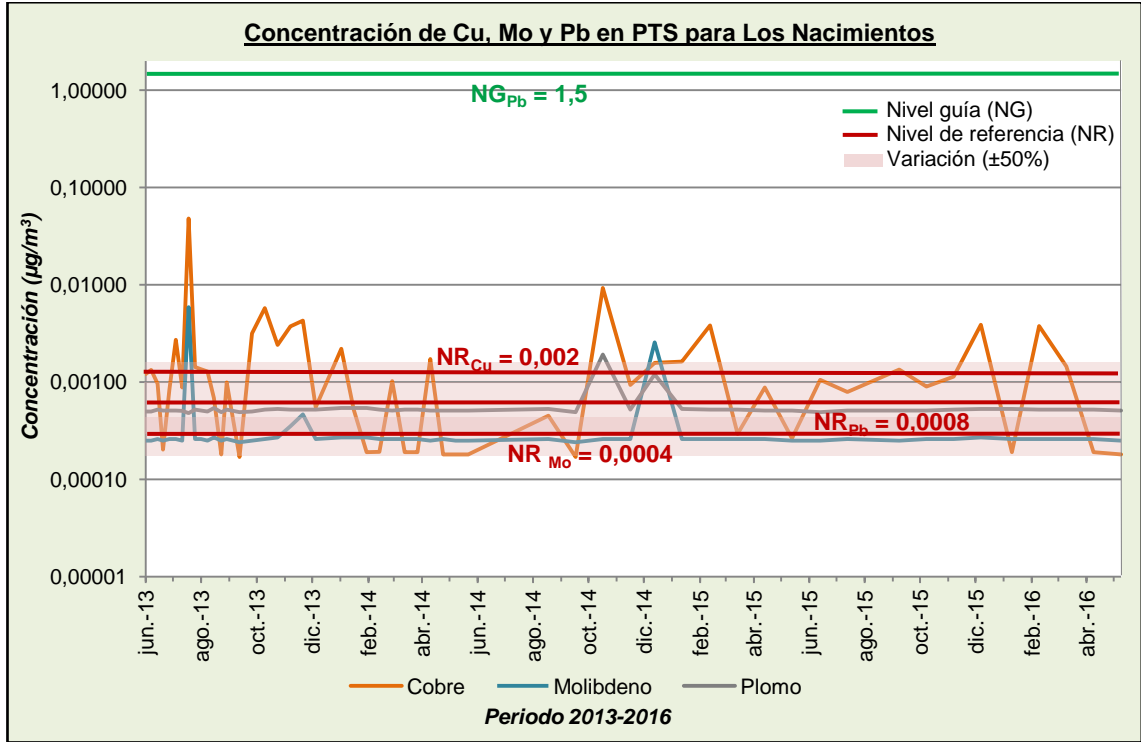


Figura 32: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

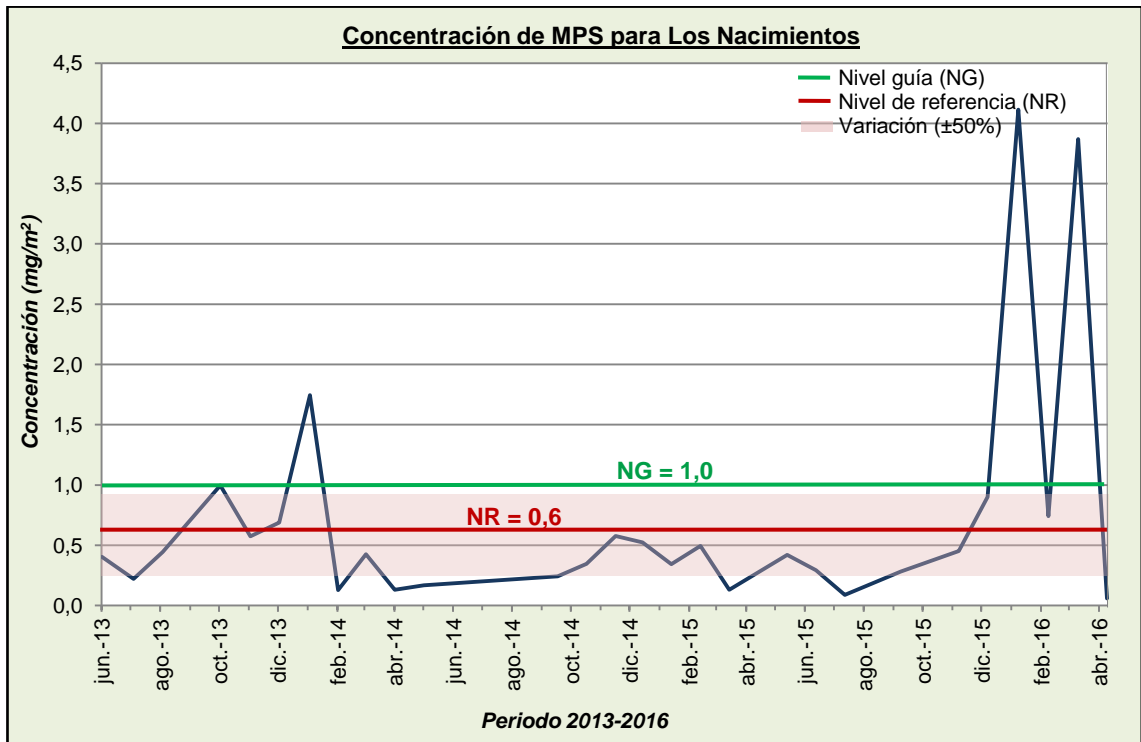


Figura 33: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

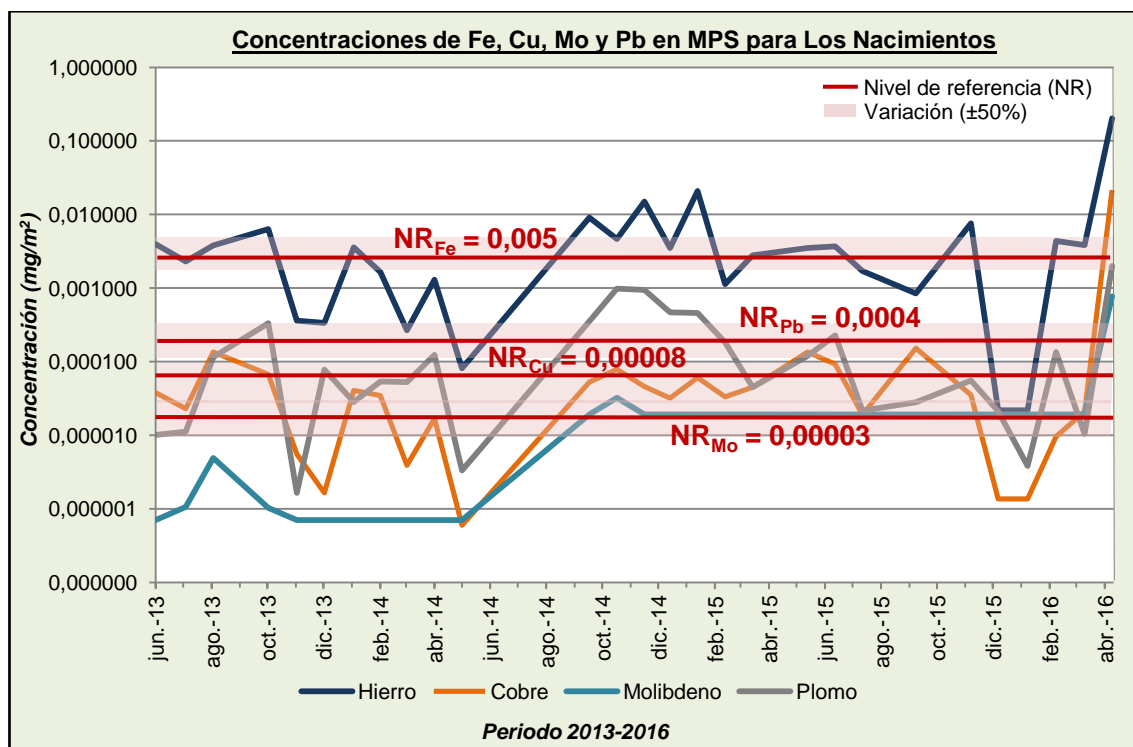


Figura 34: Concentraciones de Fe, Cu, Mo y Pb en MPS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

c. Estación de monitoreo de Amanao

Para la estación de Amanao y, teniendo en cuenta la normativa vigente, se observó que el NR calculado para MPS, supera el valor estándar establecido (NG).

Cuando se observó el comportamiento temporal de las concentraciones en los parámetros medidos, se encontró que existen valores máximos de concentraciones que superan el NR calculado; además, de las tres estaciones de monitoreo estudiadas, la ocurrencia de estos valores, en todo el periodo de estudio considerado (2013-2016), fue menor en esta estación.

Se advirtió que, en MP₁₀ y PTS y sus metales (Fe, Cu, Mo y Pb), los valores máximos de concentraciones coinciden en los meses julio/agosto de 2013 (estación de invierno). Mientras que en MPS y sus metales, esto no sucede. Se infiere que, al ser MP₁₀ y PTS mediciones puntuales (una vez por mes), dependen de las condiciones atmosféricas reinantes en el día del monitoreo, en cuanto que, para MPS, el monitoreo se realizó durante todo el mes.

Además, de los metales medidos en PTS, se observó que el Fe y Cu fueron los que presentaron mayores concentraciones respecto a los demás metales. Mientras que, en los metales medidos en MPS, los mayoritarios fueron Fe y Pb.

Tanto, los valores de concentraciones máximas en MPS como en sus metales, coinciden solamente con los meses de primavera-verano, a lo largo de todo el periodo de estudio considerado.

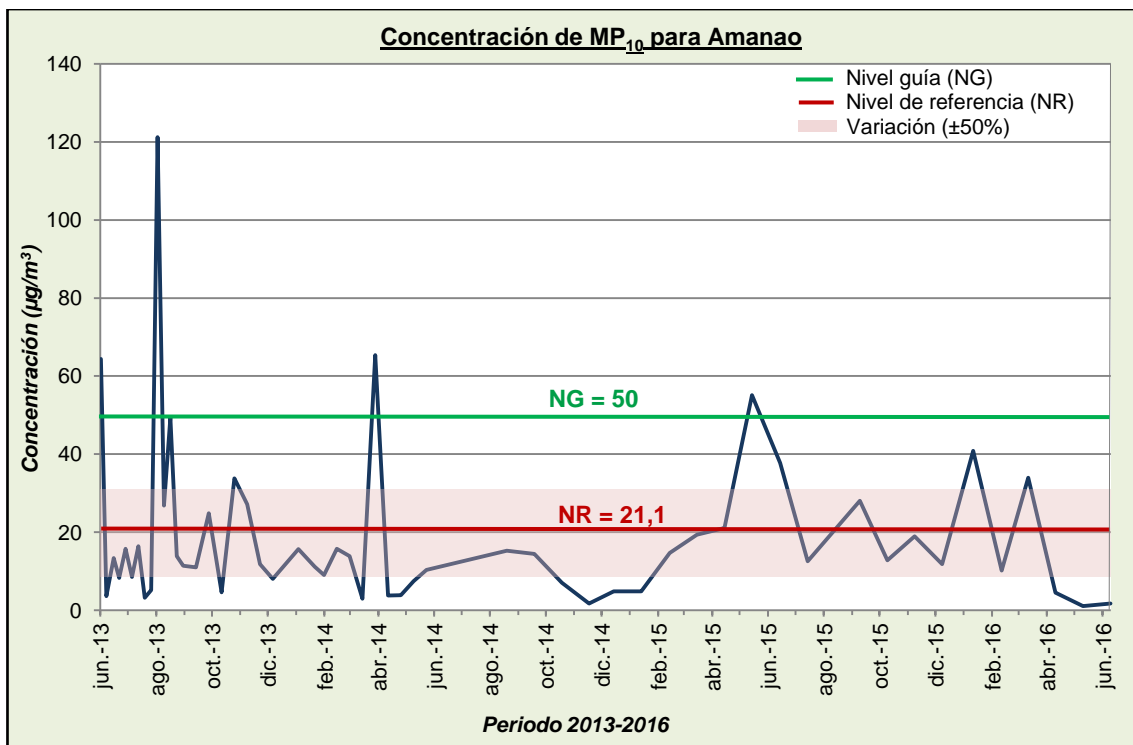


Figura 35: Concentraciones de MP₁₀, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

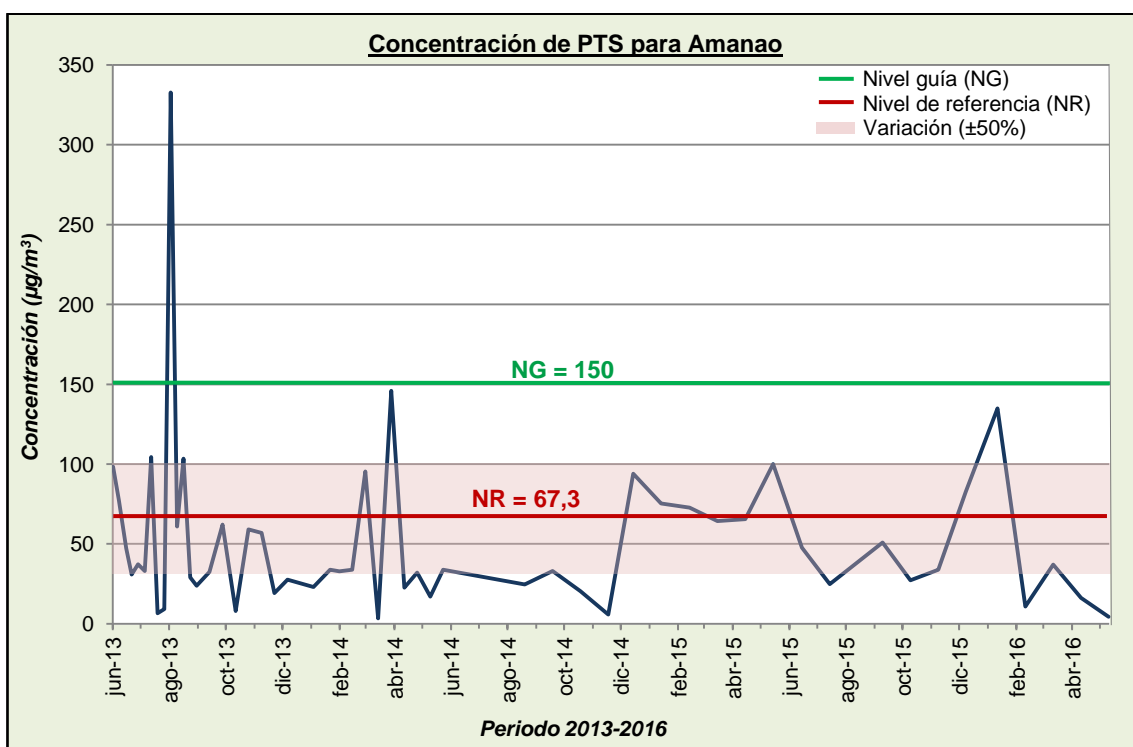


Figura 36: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

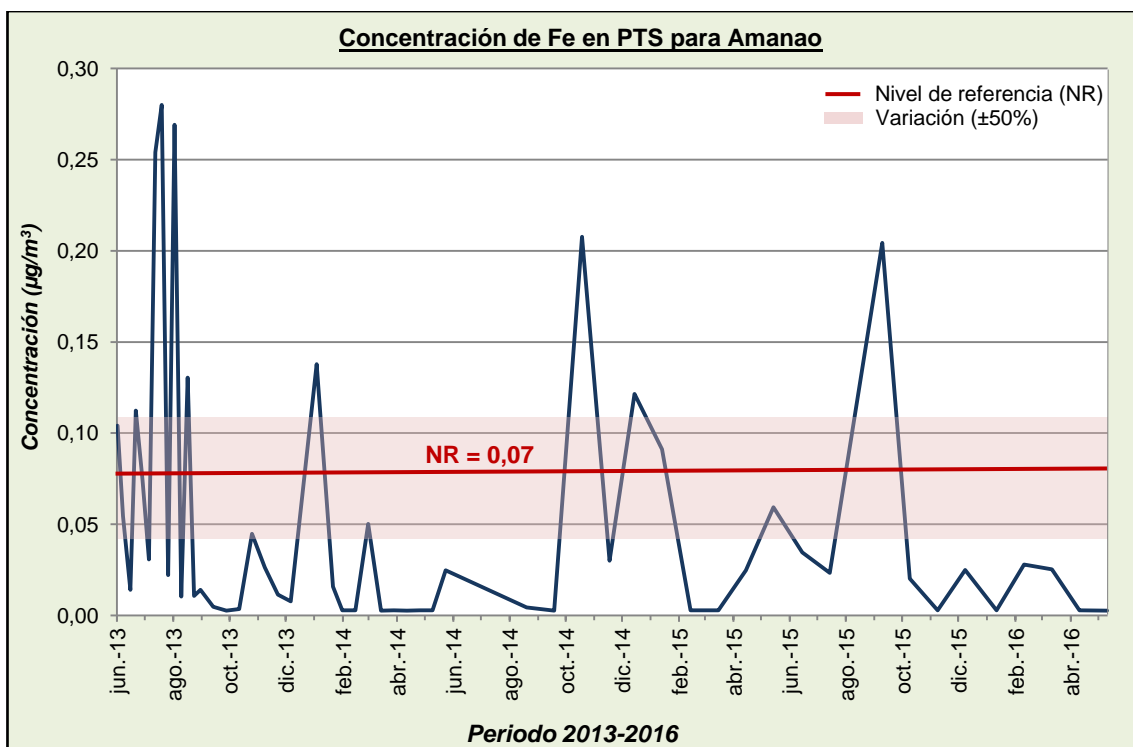


Figura 37: Concentraciones de Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016.

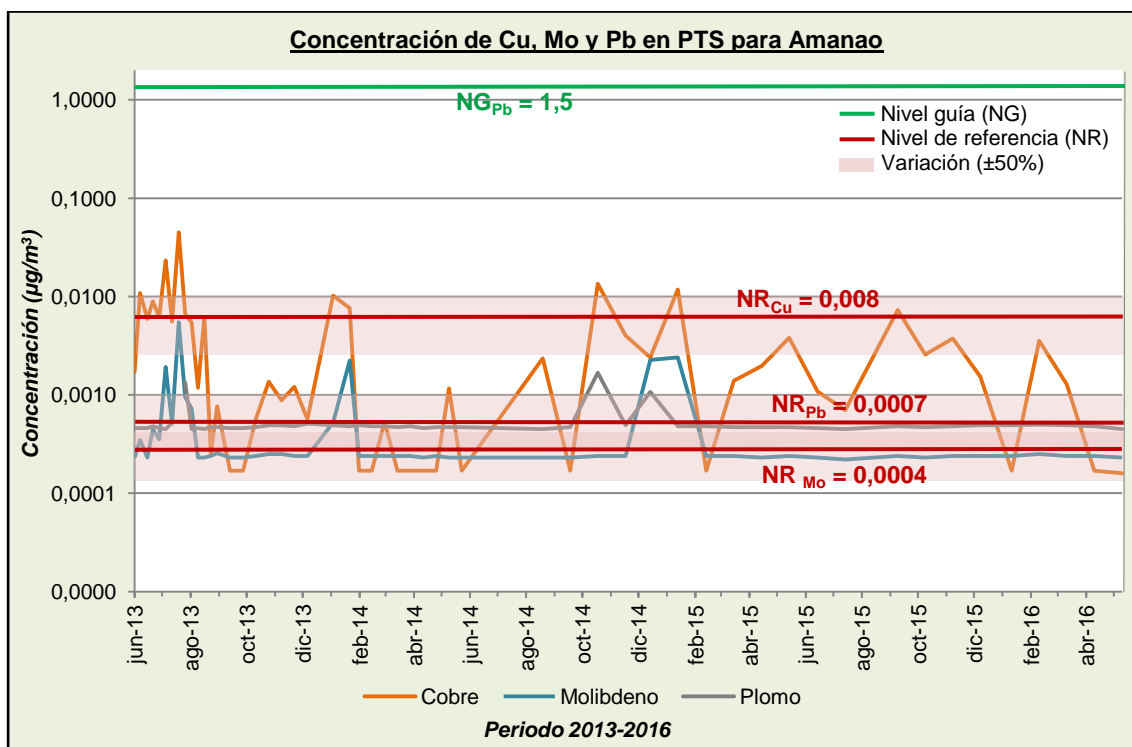


Figura 38: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

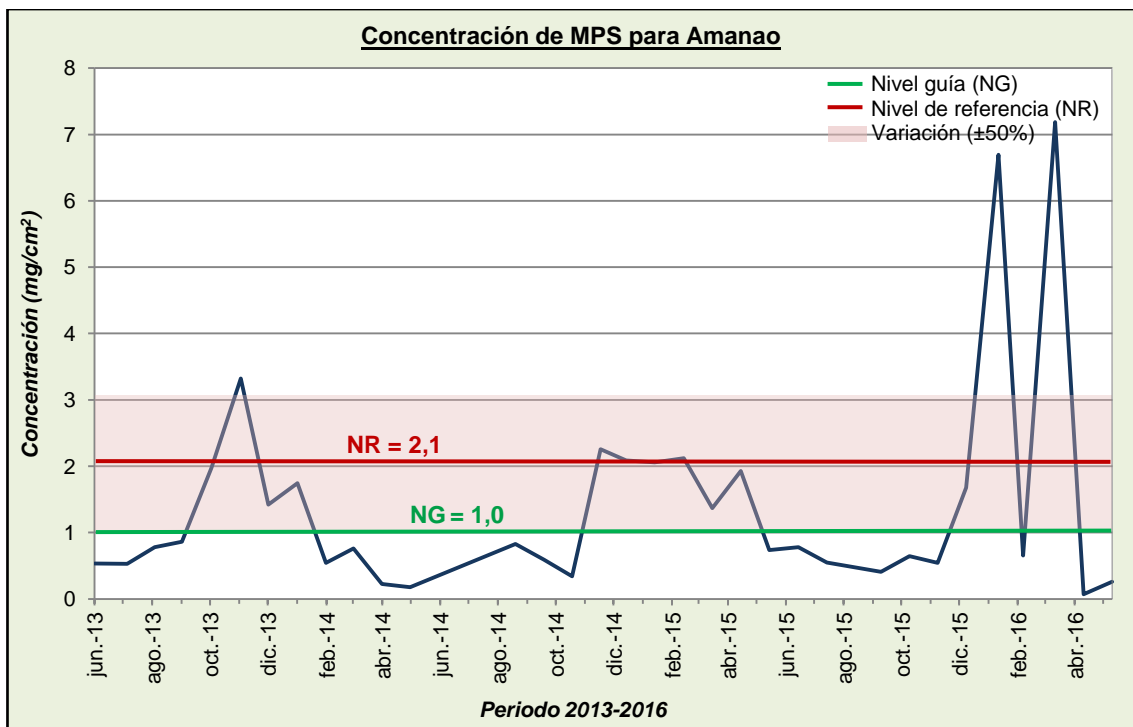


Figura 39: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.

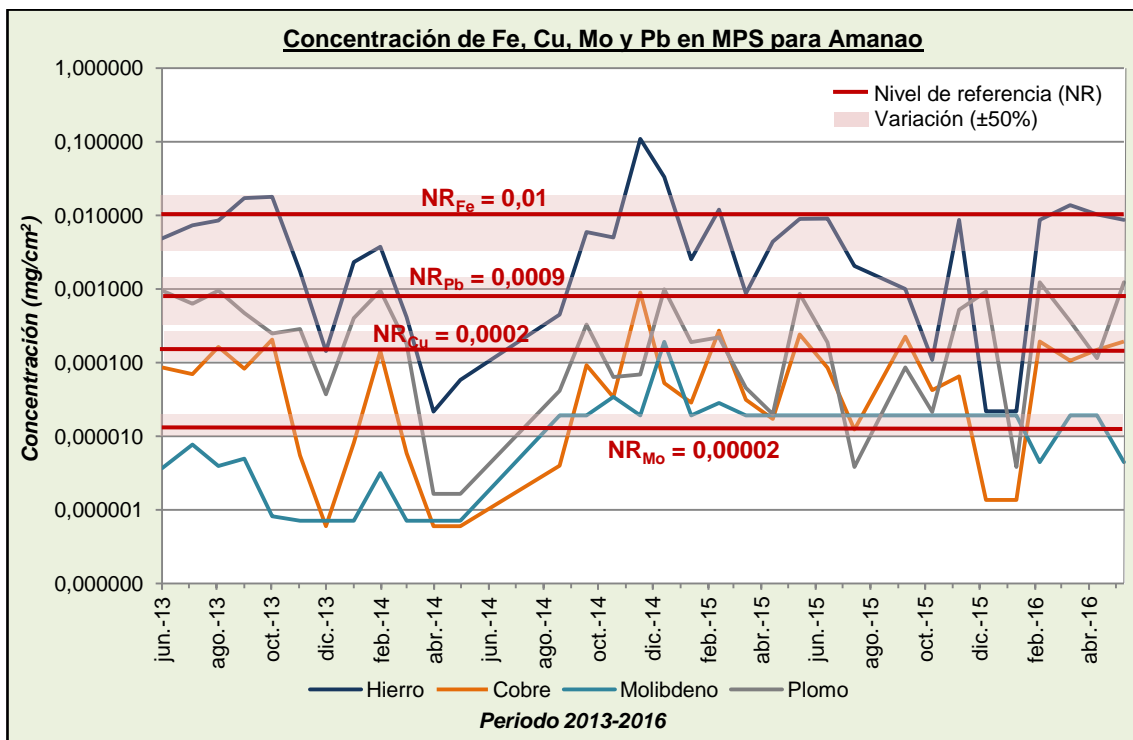


Figura 40: Concentraciones de Fe, Cu, Mo y Pb en PTS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).

7.1.2 Sedimentos

Los valores promedios obtenidos de las cuatro campañas para sedimentos en cada estación de monitoreo se muestran en la Tabla 10. Mientras que, en la Figura 41 y Figura 42, se graficaron estas concentraciones para poder comparar los valores obtenidos entre estaciones. Para la representación de las concentraciones, se separó el metal Fe en un gráfico individual, debido a que sus concentraciones son más elevadas que la de los demás metales perdiendo dimensión.

Metales (mg/Kg MS)		Cu	Pb	Mn	Sr	As	Zn	Fe
LC*		0,27	3,9	0,7	0,032	0,06	2,3	0,23
Amanao		28,89	7,59	494,10	115,78	3,57	68,55	20273,90
Los Nacimientos		21,18	6,08	397,06	84,82	4,39	46,17	18354,12
Hualfín		16,29	4,42	347,43	95,26	3,30	40,76	17170,04
Nivel guía**	Agrícola	150	375	No legislado	No legislado	20	600	No legislado
	Industrial	500	1000			50	1500	

Tabla 10: Valores promedios obtenidos en el periodo 2013-2014 con sus NG según Ley 24.585.

*LC: límite cuantificable. ** Normativa complementaria de la Ley 24.585 (Anexo IV) - Protección ambiental para la Actividad Minera.

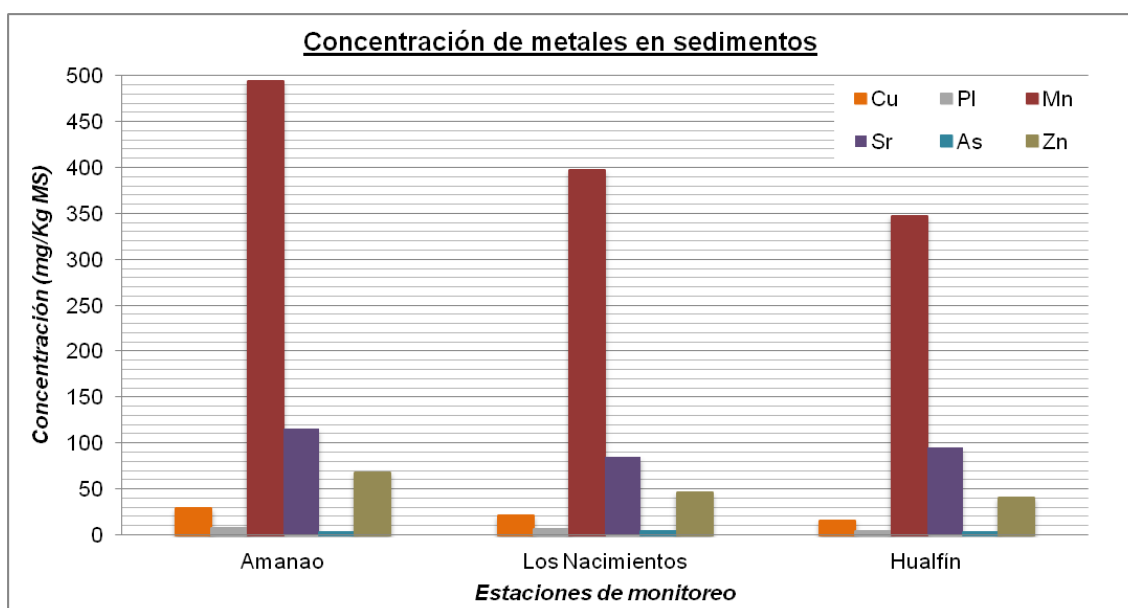


Figura 41: Promedios de la concentración de metales en sedimentos para el periodo 2013-2014.

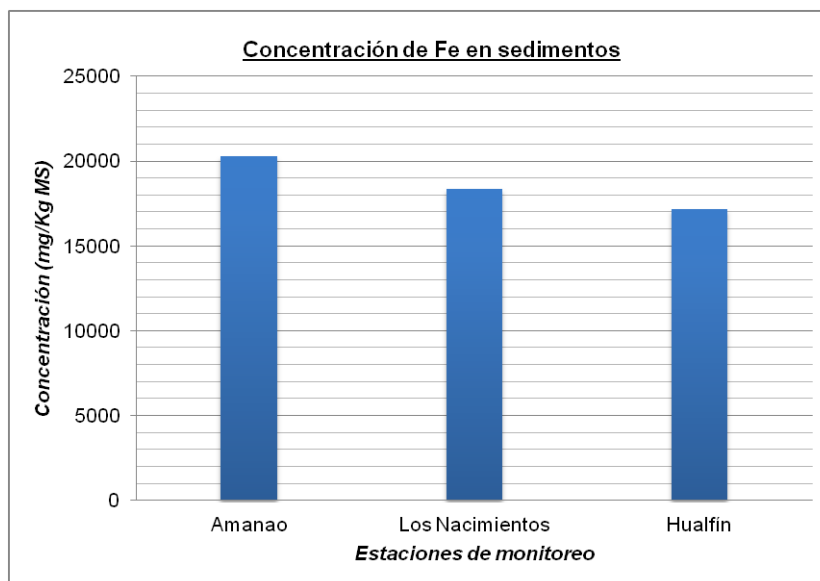


Figura 42: Promedio de la concentración de hierro en sedimentos para el periodo 2013-2014.

Se observa que valores promedios obtenidos para los sitios de monitoreo de las tres estaciones se encuentran por debajo de los niveles guías para suelos de uso agrícola e industrial establecido por la Normativa complementaria de la Ley 24.585 en su Anexo IV.

7.1.3 Datos meteorológicos

a. Precipitación

Los histogramas de precipitación obtenidos para las dos estaciones de MAA en el periodo de estudio considerado, fueron:

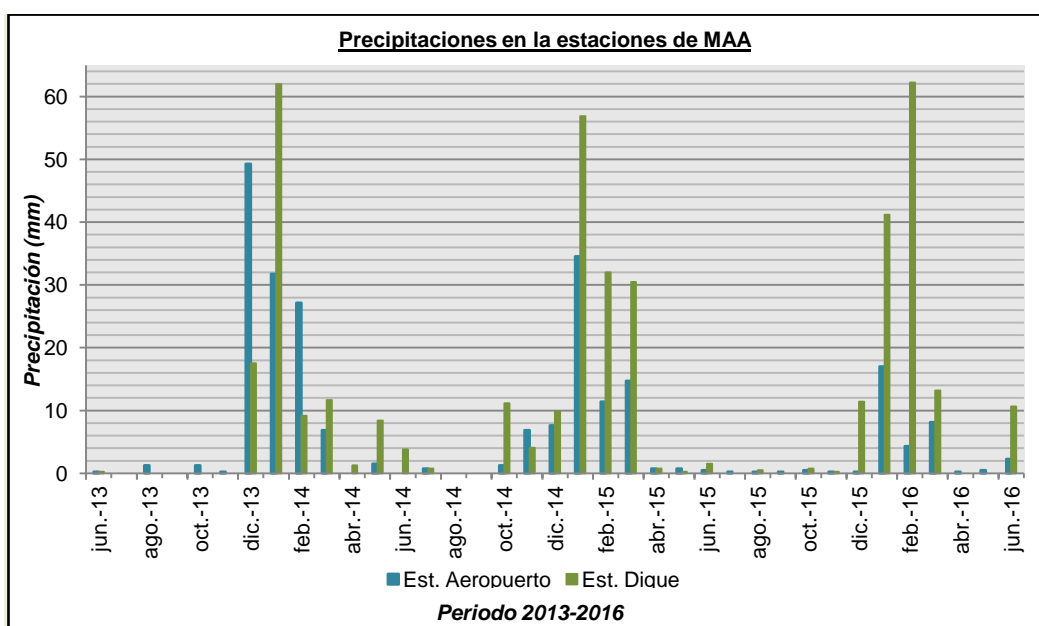


Figura 43: Histograma de precipitaciones mensuales para las estaciones de MAA, en el periodo 2013-2016.

b. Humedad del ambiente

Los porcentajes mensuales de humedades relativas obtenidos para el periodo de estudio se muestran en la Figura 44. Se observa que los periodos de mayor humedad se presentan en época estival, de enero a abril, y que durante el 2016 se extendió hasta junio inclusive.

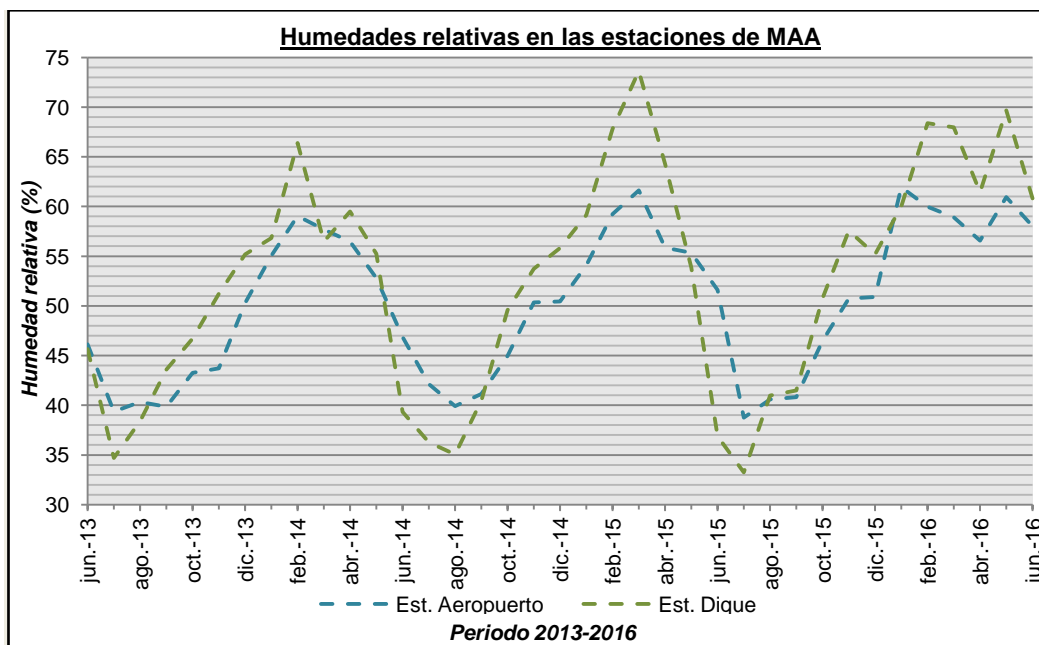


Figura 44: Porcentaje mensual de humedades relativas para el periodo 2013-2016.

*Obs.: Para la estación Aeropuerto, en los meses de enero y febrero de 2016 solo hay datos de 5 días.

c. Vientos

Las rosas de vientos obtenidas a partir del software WRPlot, mostraron la frecuencia con la que ocurren las direcciones y velocidades principales de los vientos en cada estación meteorológica.

Para la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de MAA (Figura 45), se observó que los vientos con mayor porcentaje de frecuencia fueron los que presentaron velocidades mayores a 11,1 m/s (color celeste), y dirección predominante SO.

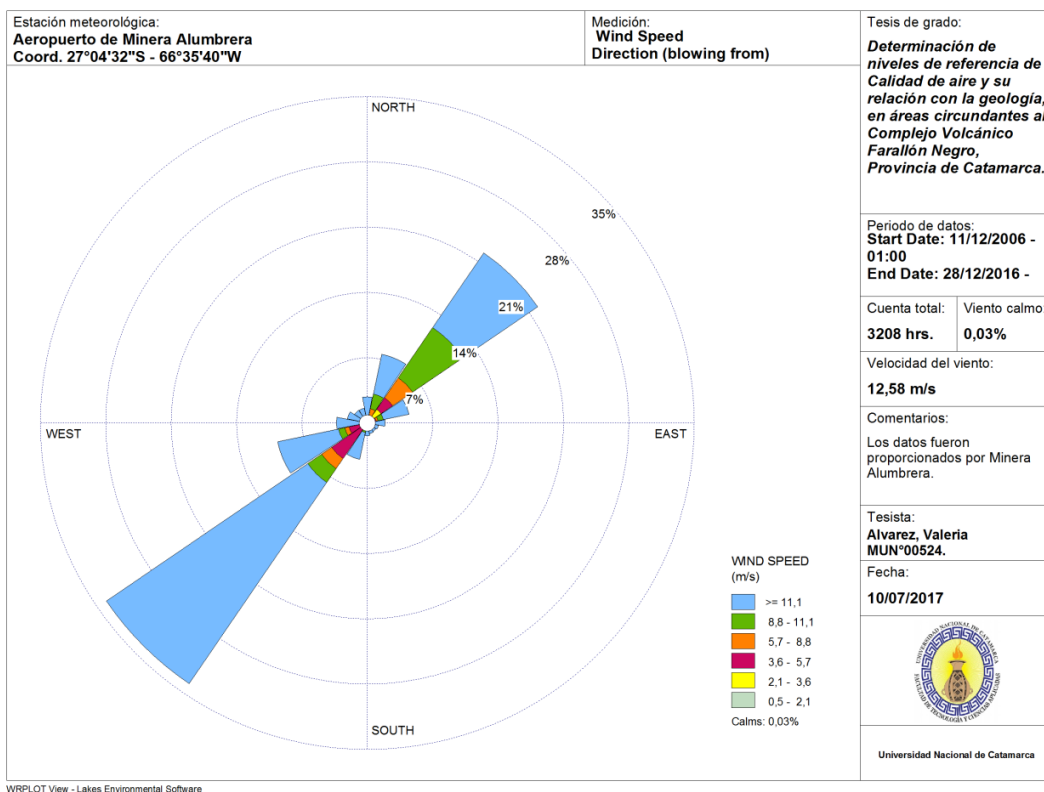


Figura 45: Rosa de vientos para la estación meteorológica Aeropuerto de MAA.

La rosa de vientos de la estación meteorológica ubicada en el Dique de MAA (Figura 46), mostró que los vientos con mayor porcentaje de frecuencia fueron aquellos cuyas velocidades eran mayores a 11,1 m/s (color celeste), y de dirección predominante SE.

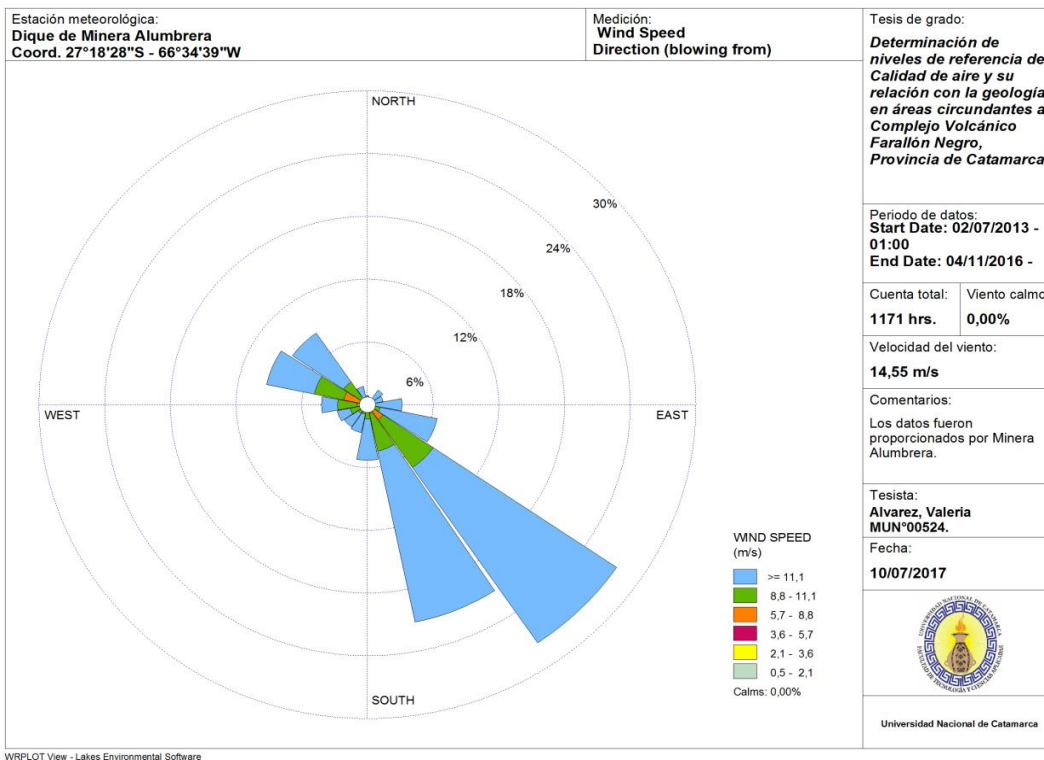


Figura 46: Rosa de vientos para la estación meteorológica Dique de MAA.

En la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Andalgalá (Figura 47), los vientos con mayor porcentaje de frecuencia fueron los que presentaron velocidades entre 2,1-3,6 m/s (color amarillo), y dirección predominante NNE.

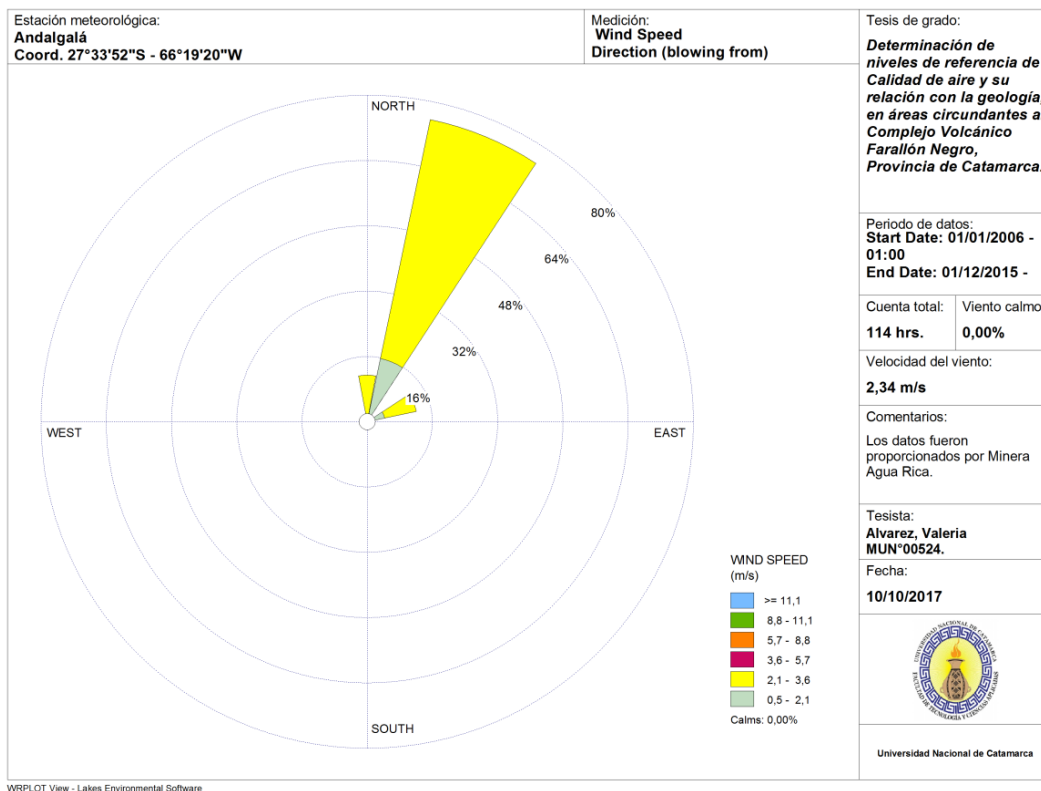


Figura 47: Rosa de vientos para la estación meteorológica de Agua Rica en Andalgalá.

Para la estación meteorológica ubicada en YMAD – Farallón Negro (Figura 48), la rosa mostró que los vientos con mayor porcentaje de frecuencia fueron los que se presentaron calmos (menores a 0,5 m/s) y no se graficaron por su baja velocidad. La dirección predominante de estos es SSE.

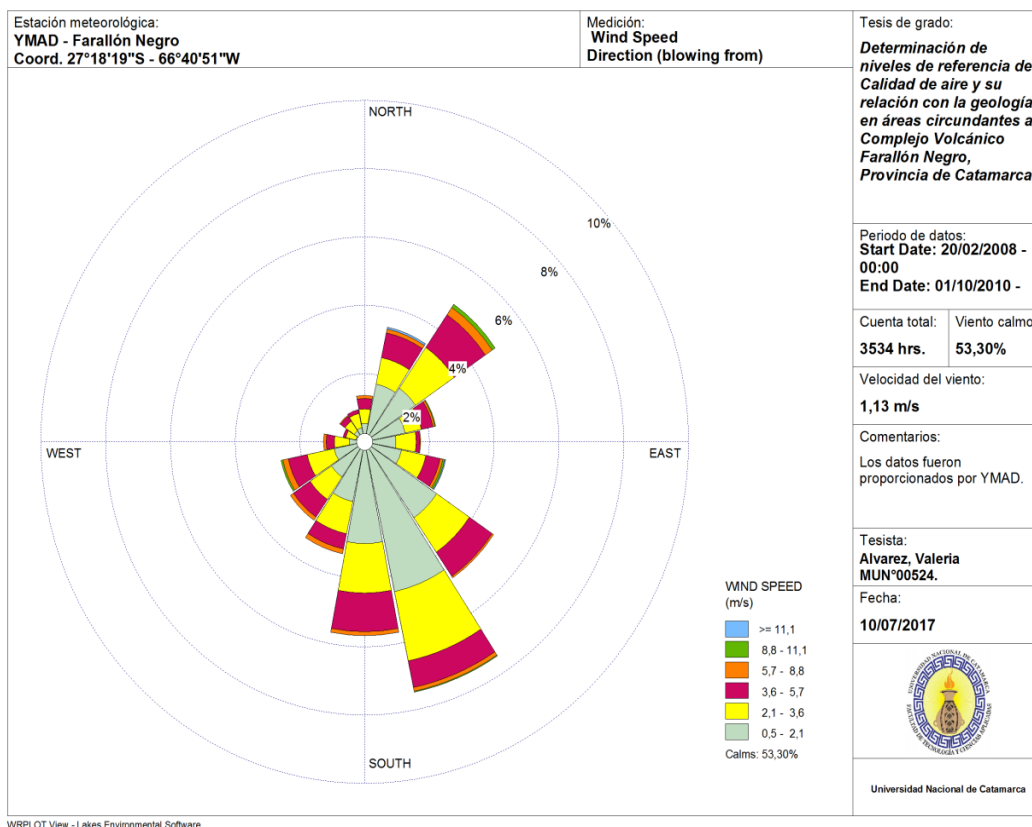


Figura 48: Rosa de vientos para la estación meteorológica en YMAD – Farallón Negro.

En la estación meteorológica ubicada en Minera Agua Rica (Figura 49), los vientos con mayor porcentaje de frecuencia fueron los que se presentaron en velocidades entre 0,5 – 2,1 m/s (color verde claro), con dirección predominante SSE.

En cuanto a la representación de la relación geología y dirección/intensidad de vientos (Anexo cartográfico 8), se observó que los materiales poco erosionables (granitos y metamorfitas) abarcan la mayor parte del área de estudio, seguidos por los materiales medianamente erosionables y, por último, los erosionables. En la predominancia de vientos, se distinguió que la estación Dique de MAA y la estación Aeropuerto de MAA presentaron las mayores intensidades de vientos, los cuales tienen una dirección predominante en sentido NW-ESE y SW; condicionada por el factor orográfico reinante en el área.

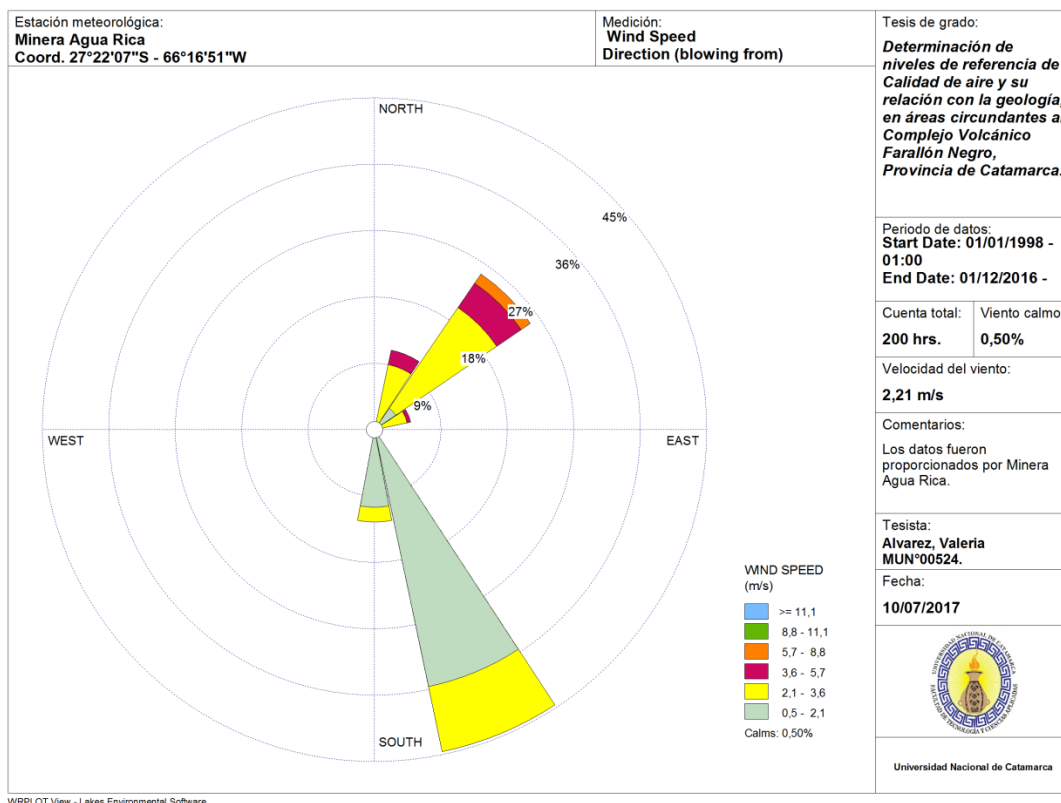


Figura 49: Rosa de vientos para la estación meteorológica en Minera Agua Rica.

7.2 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como primer análisis general que se pudo establecer a partir de resultados obtenidos fue, que la erosionabilidad de las diferentes litologías, la dirección e intensidad de los vientos predominantes y las actividades productivas que se realizan en el área de estudio, contribuirían al aumento y la detección de las concentraciones de algunos parámetros medidos en el aire. Otro factor que influye en la dispersión de partículas, es el orográfico; para las localidades de Hualfín y Los Nacimientos, por presencia de barreras naturales de menor altura (NW desde la estación Dique de MAA), y para la localidad de Amanao, con barreras de mayor altura que provocan el encauzamiento del viento en el sentido de la quebrada de Vis-Vis - Amanao (SE desde la estación Dique de MAA).

Para las tres estaciones de monitoreo, se observó que el material de aporte, de acuerdo a las direcciones predominantes de los vientos, proviene principalmente del Complejo Volcánico Farallón Negro, caracterizado por incluir: calcopirita (CuFeS_2), calcosina (CuS_2), molibdenita (MoS_2), hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4) y galena (PbS), como parte de su mineralogía (Angera, 1999); esto permitiría explicar la abundancia del metal Fe respecto a los demás metales considerados en este estudio.

Lo anteriormente descrito, coincide con los valores de metales en sedimentos, medidos en las tres estaciones de monitoreo, en donde se observa la abundancia del Fe respecto a los demás metales.

Dentro de las variables meteorológicas analizadas, los histogramas de precipitación mostraron que los periodos de lluvia se encuentran en descenso desde 2013, principalmente en la estación Aeropuerto de MAA. Sin embargo, para poder observar en detalle si existe relación entre los valores de concentraciones de los parámetros medidos en las estaciones de monitoreo y las variables meteorológicas, se elaboraron gráficos combinados; en donde se representaron los parámetros característicos de la calidad del aire del área de estudio (MP_{10} y MPS; el primero por presentar NR cercanos al NG establecido en la Normativa complementaria de la Ley 24.585 en su Anexo IV y, el segundo, por ser una medición mensual), junto con las condiciones meteorológicas medidas en la estación de MAA más cercana. No se consideraron las concentraciones de Pb en PTS, que también se encuentran reguladas, por estar por debajo del NG establecido, en todas las estaciones.

De los gráficos combinados obtenidos (Figura 50 a 55), se pudo observar que la relación precipitación-humedad del ambiente en cada estación de MAA es muy buena, coincidiendo en los aumentos y disminuciones. Mientras que, las tres estaciones de monitoreo, muestran que, de los parámetros considerados, las concentraciones de MPS son las que mejor responden a las variaciones climáticas estacionales relacionadas con precipitaciones y humedades; principalmente, durante los meses de septiembre a febrero (primavera-verano) cuando las concentraciones para este parámetro son mayores respecto a los otros meses, y las precipitaciones, humedades relativas, son también mayores. Esto no sucede en la relación de este parámetro, con las intensidades de vientos; si bien se observó que algunos aumentos en las concentraciones de PTS coinciden con mayores intensidades de vientos, esto no se mantiene a lo largo de todo el periodo de estudio considerado.

Para MP_{10} , la relación con las condiciones climáticas no es clara, encontrándose casos puntuales en donde los aumentos coinciden, pero sin mostrar una relación con las precipitaciones, humedades relativas e intensidades de vientos, a lo largo de todo el periodo de estudio; hay que considerar también, que los valores de este parámetro se miden de manera puntual (un día al mes), mientras que las condiciones climáticas en esas estaciones se miden diariamente.

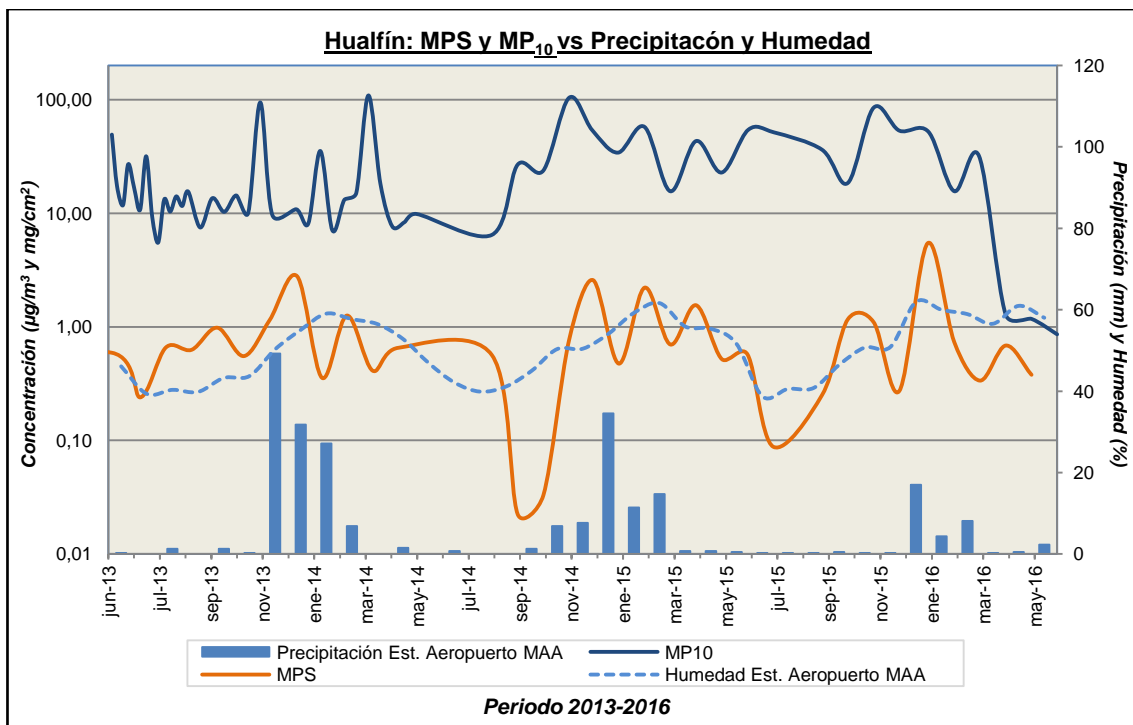


Figura 50: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Hualfín.

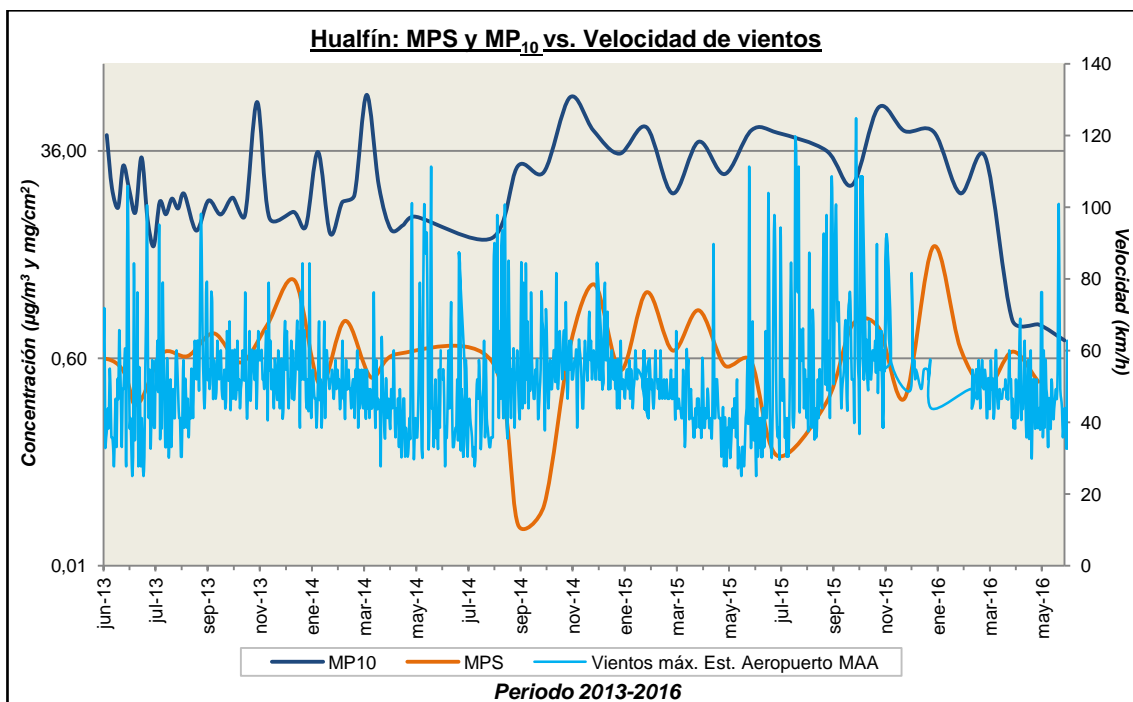


Figura 51: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Hualfín.

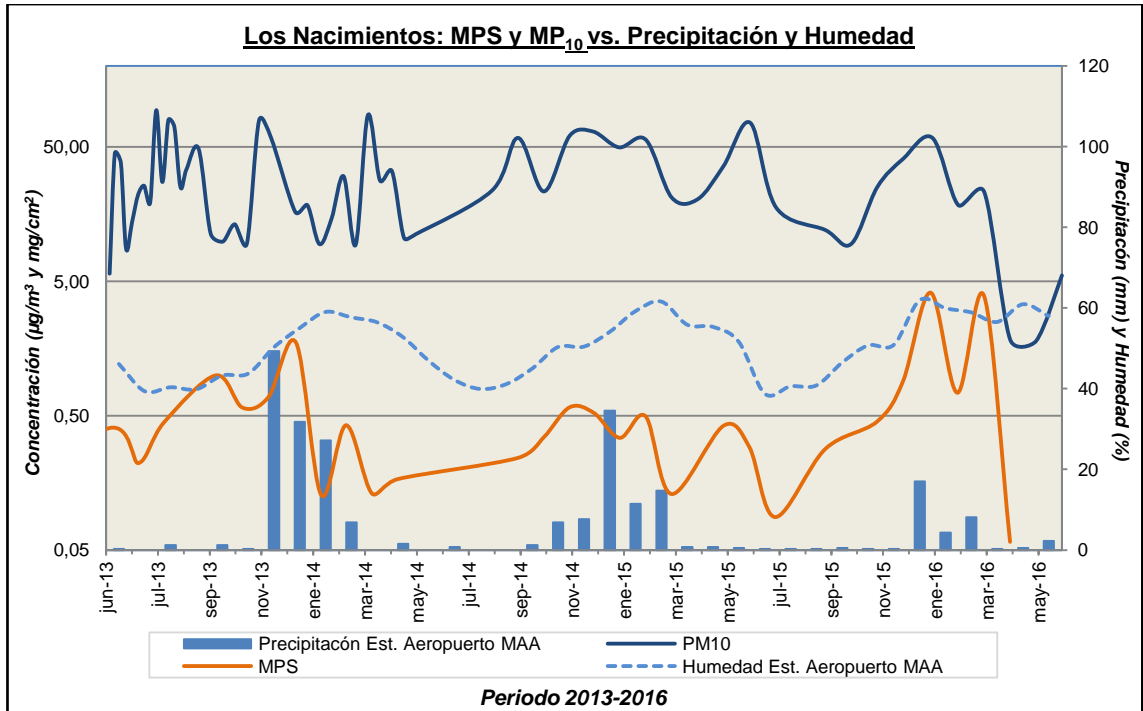


Figura 52: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Los Nacimientos.

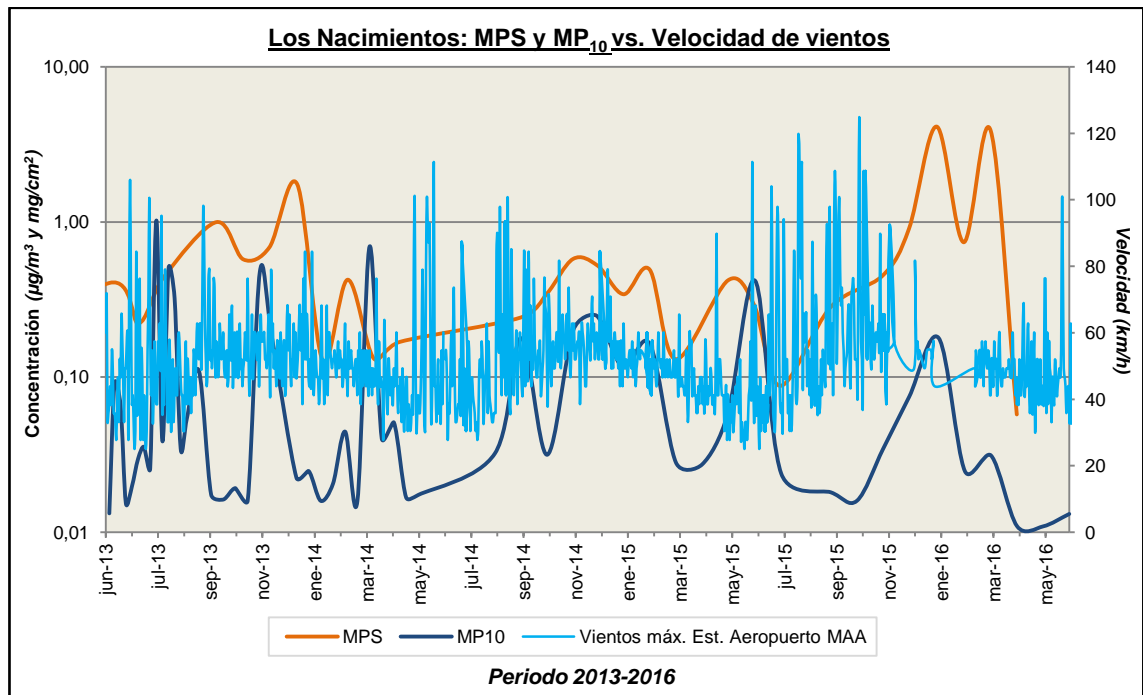


Figura 53: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Los Nacimientos.

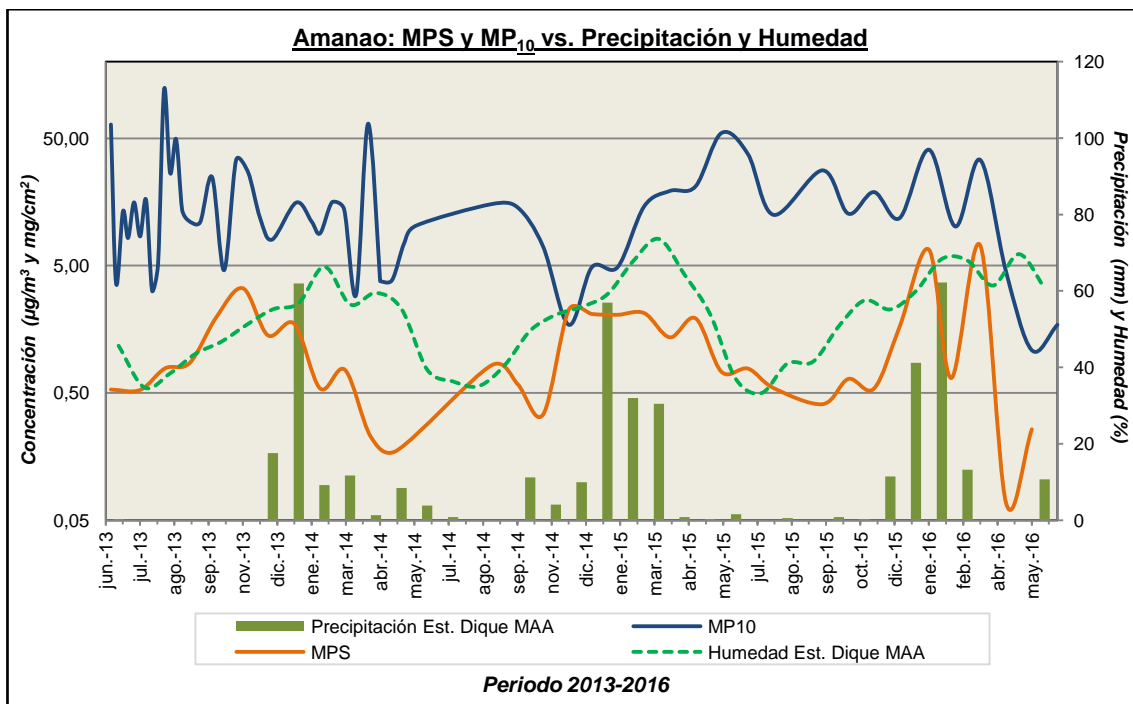


Figura 54: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Amanao.

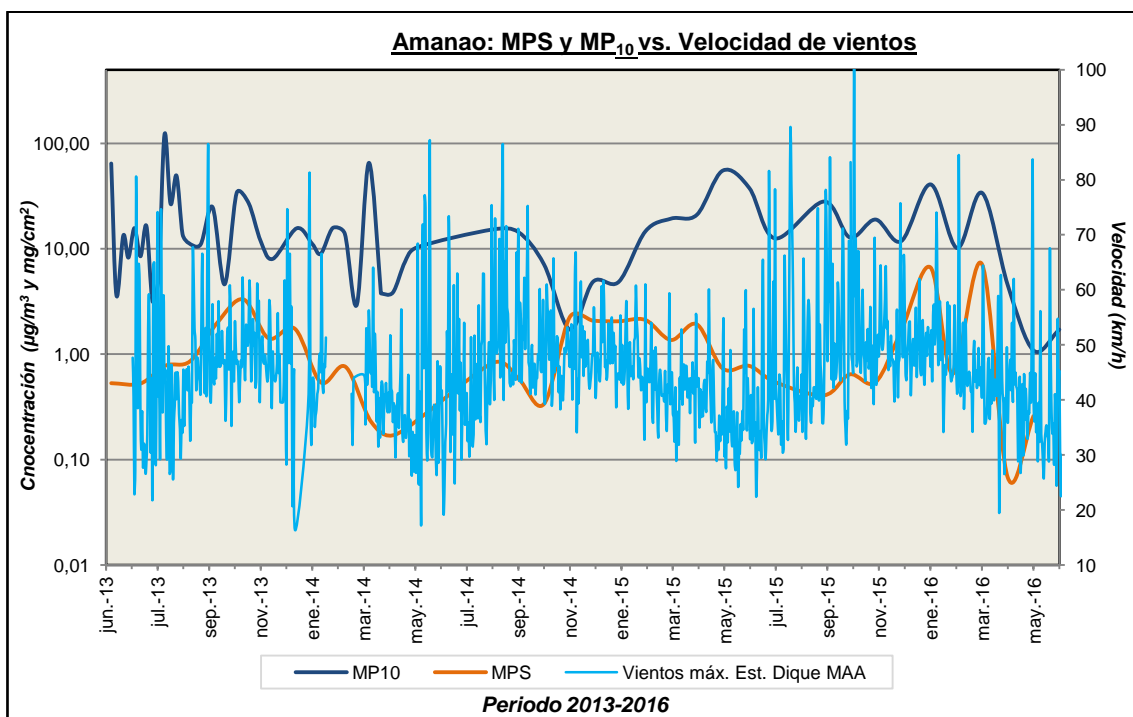


Figura 55: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Amanao.

Se realizaron rosas de vientos comparando las velocidades y direcciones de vientos de un día de monitoreo (Figura 56 a 58), medidas en las estaciones meteorológicas de MAA y las estaciones donde se realizan los monitoreos de calidad de aire, a fin de observar cómo es el comportamiento de los vientos en ambas estaciones y si contribuyen al aumento y detección de las concentraciones de algunos parámetros medidos en el aire. Para ello, se

seleccionó un día específico de invierno (rosa izquierda de las figuras), y primavera (rosa derecha de las figuras), por considerarse estaciones con contrastes muy marcados. Los días seleccionados fueron:

- 19 de agosto de 2013 y 16 de febrero de 2015, para las estaciones de Hualfín, Los Nacimientos y Aeropuerto de MAA.
- 22 de agosto de 2013 y 19 de febrero de 2015, para las estaciones de Amanao y Dique de MAA.

Como primera observación, se advirtió que las intensidades y direcciones de los vientos que se miden localmente (estaciones de monitoreo) son diferentes a las medidas en las estaciones meteorológicas de MAA. Además, se observó que en todas las estaciones, excepto la de Dique, los vientos tienen mayores intensidades en invierno mientras que en la estación de Dique, las mayores intensidades ocurren en verano.

Para la estación de Aeropuerto en invierno y en verano, el comportamiento de los vientos es similar, coincidiendo en que tienen mayor intensidad en sentido NE hacia la estación, y menor intensidad (solo en invierno) en sentido SW hacia la estación; coincidiendo esta dirección con la del río Nacimientos. Para Hualfín y Los Nacimientos, cercanas a la estación de Aeropuerto, el comportamiento es muy diferente entre estaciones climáticas; en verano, la estación de Hualfín presenta mayor ocurrencia de vientos en sentido NW hacia la estación, provenientes del Complejo Volcánico Farallón Negro, y la estación de Los Nacimientos, en dirección S hacia la estación. En verano, las direcciones cambian totalmente, siendo en sentido E hacia Hualfín, y NE hacia Los Nacimientos.

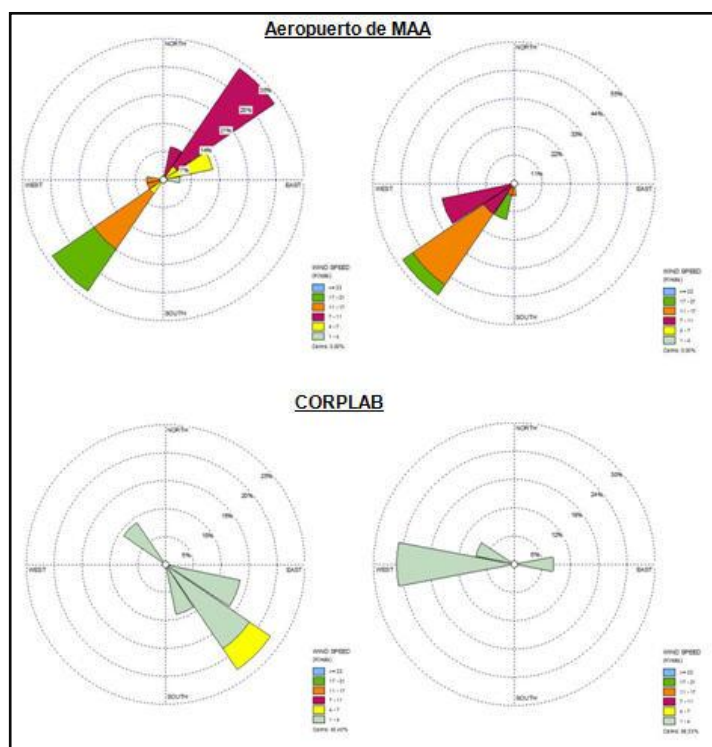


Figura 56: Rosas de vientos de la estaciones de Hualfín y Aeropuerto de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano.

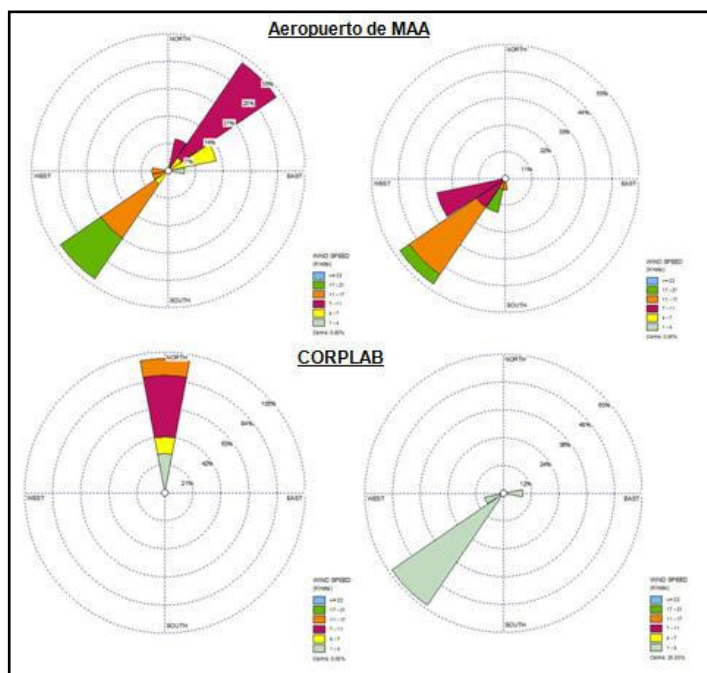


Figura 57: Rosas de vientos de las estaciones de Los Nacimientos y Aeropuerto de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano.

En la estación Dique y Hualfín, ocurre lo mismo que en las estaciones anteriormente descritas, el comportamiento es muy diferente entre periodos; en la de Dique, en invierno, las intensidades predominantes son en dirección NW hacia la estación, coincidente con el sentido de la quebrada de Vis-Vis, mientras que en verano, las intensidades son en sentido S hacia la estación. Para Amanao, la dirección en invierno es S hacia la estación (sentido quebrada de Amanao-Vis-Vis), y NNW hacia la estación, en verano.

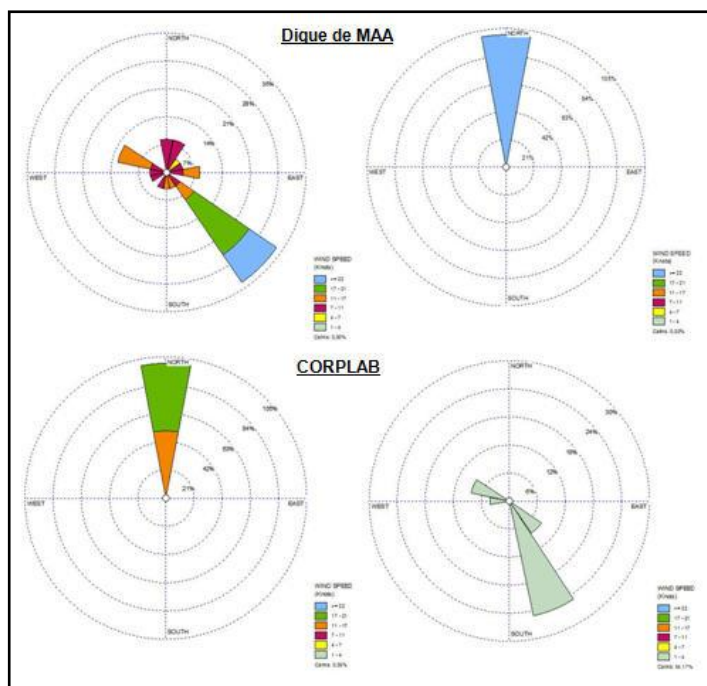


Figura 58: Rosas de vientos de las estaciones de Amanao y Dique de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano.

En cuanto a los NR obtenidos para MP_{10} a pesar de que son difícilmente comparables con valores de concentraciones obtenidos en otros estudios, por ser valores puntuales y por ser la primera vez que se calculan NR en el área; al correlacionarlos con los valores promedios anuales de concentración obtenidos en esta área por el SEGEMAR en 2006-2007 (Figura 59), se observó que los periodos donde se presentan las mayores concentraciones de este parámetro se desplazaron (de invierno-primavera a primavera-verano); esto podría estar relacionado con el descenso en las precipitaciones anuales que se mencionó anteriormente. Además, se compararon los valores obtenidos por SEGEMAR para MP_{10} en un año, en las localidades de Los Nacimientos y Amanao (Hualfín no se midió), y se observó que el NR calculado en este trabajo (en un periodo de 3 años) para la primera localidad, corresponde al mismo valor; mientras que, para Amanao, el NR calculado es la mitad del valor obtenido en 2006-2007. En el informe del SEGEMAR, el alto valor de concentración (superior al NG de la estipulado en Normativa complementaria de la Ley 24.585-Anexo IV), medido en la localidad de Los Nacimientos, es interpretado como proveniente del tránsito observado en la RN40 (en ese momento sin pavimentar) durante las campañas de muestreo; eso no coincide con lo observado en este trabajo, en donde las áreas principales de aporte de material parecen ser otras.

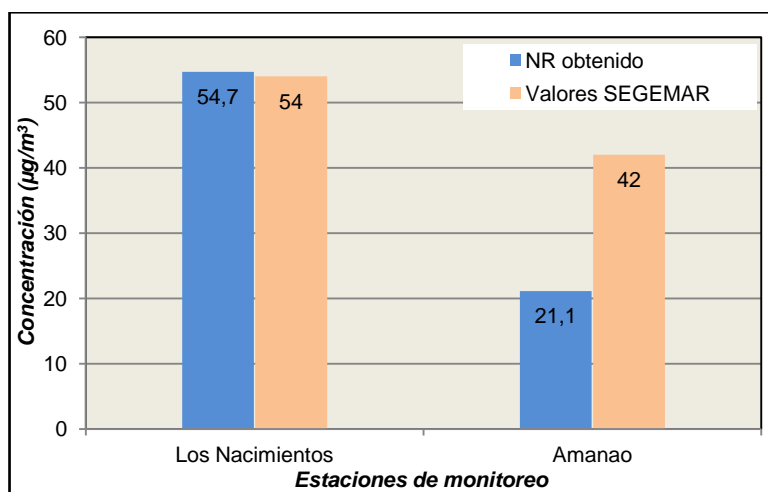


Figura 59: Comparación entre valores obtenidos por SEGEMAR y NR calculados para las MP_{10} .

En cuanto a la metodología empleada para la determinación de los NR, se observó que, al no contemplar a los parámetros/elementos con concentraciones en los que exista poca variabilidad y, que además, presenten una distribución no normal, constituye una desventaja en su aplicabilidad. De todas maneras, se considera que la metodología aplicada en este estudio para esos casos, respondió favorablemente.

En cuanto a las ventajas de la metodología, se encontró destacable la practicidad en su uso, debido a la utilización de parámetros estadísticos sencillos, con un alto grado de confianza considerando la gran variabilidad y el tipo de distribución que presentaban los datos.

8. CONCLUSIONES

- Los niveles de referencia calculados, con sus correspondientes variabilidades ($\pm 50\%$), para el periodo 2013-2016 en cada estación de monitoreo, fueron:

Estación	Hualfín		Los Nacimientos		Amanao	
Parámetro	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%	NR	-50% 50%
MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37,9	19,0 56,9	54,7	27,4 82,1	21,1	10,5 31,6
PTS	74,1	37,0 111,1	66,2	33,1 99,3	67,3	33,6 100,9
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,08	0,04 0,1	0,07	0,04 0,1	0,07	0,04 0,11
Cobre	0,004	0,002 0,005	0,002	0,001 0,003	0,008	0,004 0,01
Molibdeno	0,0004	0,0002 0,0006	0,0004	0,0002 0,0006	0,0004	0,0002 0,0006
Plomo	0,0008	0,0004 0,001	0,0008	0,0004 0,001	0,0007	0,0004 0,001
MPS	1,1	0,5 1,6	0,6	0,3 0,9	2,1	1,0 3,1
MPS (mg/cm^2)	0,01	0,006 0,02	0,005	0,003 0,008	0,01	0,006 0,02
Cobre	0,0002	0,00008 0,0003	0,00008	0,00004 0,0001	0,0002	0,0001 0,0003
Molibdeno	0,00003	0,0001 0,00004	0,00003	0,00001 0,00004	0,00002	0,00001 0,00003
Plomo	0,001	0,0006 0,002	0,0004	0,0002 0,0006	0,0009	0,0004 0,001

Tabla 11: Niveles de referencia obtenidos para cada estación de monitoreo.

Se encontró que estos niveles de referencia están relacionados con la mineralogía de los terrenos del Complejo Volcánico Farallón Negro, actuando como zona de emisión del material que se mide en las estaciones de monitoreo; lo que le confiere validez y confiabilidad a los alcances del programa de control ambiental, presentado por la empresa y aprobado por la SEM.

- En el análisis de los datos meteorológicos, particularmente en los de velocidades y direcciones de vientos, se advirtió que en la medición de estos, la cercanía a las estaciones de monitoreo influye de manera importante, debido a que los valores

tomados localmente (en las estaciones de monitoreo) no tienen concordancia con los medidos en las estaciones meteorológicas de MAA. Esto podría estar influenciado por el factor orográfico u otras variables que no se hayan tenido en cuenta en este estudio, que contribuyen al cambio en el sentido de los vientos.

- De todos los datos meteorológicos procesados, se identificó que las estaciones meteorológicas que registran mayores intensidades de vientos son las del Dique y Aeropuerto de MAA, con dirección predominante NW-ESE y, en menor medida, SW. Además, se observó que los periodos de lluvia se encuentran en descenso desde 2013, principalmente en la estación Aeropuerto de MAA.
- De los parámetros analizados, el Material Particulado Sedimentable (MPS) es el que mostró una mejor relación entre sus concentraciones con las precipitaciones y humedades relativas medidas en las estaciones meteorológicas de MAA, interpretándose que el aumento en sus concentraciones inicia en los meses de primavera, llegando hasta los inicios del verano; cuando las precipitaciones y humedades relativas, incrementan. Mientras que, no fue posible establecer comparación entre éste parámetro y las intensidades de los vientos. En las demás variables no se observó una tendencia visible en ascenso o descenso a lo largo del tiempo, que pudiera relacionarse con las condiciones meteorológicas medidas.
- En cuanto al análisis de los metales en sedimentos medidos en cada estación de monitoreo en el periodo 2013-2014 surgió que, las concentraciones promedios obtenidas de los metales que se encuentran legislados, son inferiores a los niveles establecidos para uso agrícola e industrial en la Normativa complementaria de la Ley 24.585 en su Anexo IV, a pesar de no ser comparables por ser un muestreo superficial. También, se observó relación entre los metales medidos en sedimentos y los medidos en parámetros de calidad de aire, siendo el metal Fe el más abundante respecto a los demás metales, en ambos.
- El muestreo realizado en sedimentos en las estaciones de monitoreo es apto para la comparación con el parámetro MPS. Sin embargo, es poco representativo de las características edafológicas de la unidad.
- Por último, considerando la legislación vigente, los niveles de referencia obtenidos para material particulado respirable (MP_{10}), en la estación de Los Nacimientos, y material particulado sedimentable (MPS), en las estaciones de Hualfín y Amanao, se encuentran superando los estándares establecidos en la Normativa complementaria de la Ley 24.585-Anexo IV para la Protección Ambiental para la Actividad Minera, y la Ley 20.284-Anexo II de Contaminación atmosférica.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones anteriores, se considera recomendable para futuros estudios en el área:

- Evaluar las concentraciones de los parámetros de calidad de aire con las variables meteorológicas medidas localmente, en los días en los cuales se realiza el monitoreo, a fin de determinar fehacientemente la influencia de las condiciones climáticas en el monitoreo; debido a la gran variación observada en estas áreas, en donde el relieve orográfico es un factor dominante.
- Colocar estaciones meteorológicas permanentes en las áreas de monitoreo, a fin de obtener datos constantes y añadir otros, como los de precipitación y humedad del ambiente; que puedan aportar en la comparación y determinación del comportamiento temporal de las concentraciones medidas en los parámetros monitoreados.
- De implementarse monitoreos de suelo, se debería considerar realizarlos a mayor profundidad o en sitios alejados de la estación de muestreo y fuera de los aluviones de río, de manera que puedan ser comparables con los medidos por Herrero y Ferpozzi en 2007, ya que representan el único antecedente de medición en el área.
- Se sugiere implementar en forma directa o indirecta niveles referencia de calidad de aire, para los elementos Fe, Co y Mo, medidos en las estaciones de monitoreo.

9. REFERENCIAS

- Boamponsem L.K., Adam J.I., Dampre S.B., Nyarko B.JB. and Essumang D.K., 2010. Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268, 1492- 1501.
- Bossi, G.E.; Palma, R., 1982. Reconsideración de la estratigrafía del Valle de Santa María, Provincia de Catamarca, Argentina. *In Congreso Latinoamericano de Geología*, No. 5, Actas 1: 155-172. Buenos Aires.
- Bossi, G.E., Muruaga, C., Gavriloff J. J.C., 1999. Ciclo Andino. Neógeno-Pleistoceno. Sedimentación (González Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J., editores). *In Congreso Geológico Argentino*, No. 14, Relatorio 1: 329-360. Salta.
- Bossi, G.E.; Muruaga, C., 2009. Estratigrafía e inversión tectónica del 'rift' neógeno en el Campo del Arenal, Catamarca, NO Argentina. *Revista Geológica de Chile. Andean Geology* 36 (2): 311-341.
- Bossi, G.E.; Georgieff, S.; Gavriloff, I.; Ibáñez, L.; Muruaga, C., 2001. Cenozoic evolution of the intramontane Santa María Basin, Pampean Ranges, northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 725-734.
- Cowle, J.W., Bassett, M.G., 1989. Global Stratigraphic Chartj With geochronometric and magneto stratigraphic calibration. *International Union of Geological Science, Episodes (supplement)* 12 (2).
- González Bonorino, F., 1950. Geología y Petrografía de las hojas 12d-Capillitas y 13d-Andalgalá. Dirección de Geología-Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
- Informe del estado del Ambiente (IEA), 2016. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.
- Morello, J., La provincia fitogeográfica del Monte, Opera Lilloana 2, 1958, p. 155.
- Moretton J., Guaschino H., Amicone C., Beletzky V., Sánchez M., Santoro V. y Noto B., 1996. Contaminación del aire en Argentina: aspectos generales, legislación y situación en Capital Federal y provincia de Buenos Aires, Ediciones Universo, Buenos Aires.
- Muruaga, C.M., 1998. Estratigrafía y Sedimentología del Terciario Superior de la Sierra de Hualfín, entre las localidades de Villavil y San Fernando, Provincia de Catamarca. Tesis Doctoral (Inédito), Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lulo: 270 p.
- Muruaga, C.M., 2001a. Estratigrafía del Miembro El Jarillal (Formación Chiquimil, Mioceno superior), de la Sierra de Hualfín, Catamarca. *Acta Geológica Lilloana* 18 (2): 265-280.
- Muruaga, C.M., 2001 b. Estratigrafía y desarrollo tectosedimentario de sedimentos terciarios en los alrededores de la Sierra de Hualfín, borde suroriental de la Puna, Catamarca, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 8 (1): 27-50.

- Penck, W., 1920. Der Südrand der Puna de Atacama (NW Argentinien). Ab Handlungen Mathematisch-Physikalische Klasse der Sachsischen Akademie der Wissenschaften 37: 1-420. Leipzig, Alemania.
- Reich, S., 2007. Modelización de la difusión de contaminantes atmosféricos. Bloque 3: Dispersión de contaminantes atmosféricos, pág. 5.
- Rueda Saa G., Rodríguez V.J.A. y Madriñán Molina R., 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia.
- Sasso, A. 1997. Geological Evolution and metallogenic relationships of the Farallon Negro Volcanic Complex, NW Argentina. Ph.D. Thesis (Unpublished), Queens University: 268 p. Kingston, Ontario, Canada.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Allende, D., 2015. ALS Corplab. Calidad Del Aire En La Mina La Alumbraera: Modelado De Dispersión Periodo analizado Agosto 2014- Julio 2015.
- Angera, J.A., 1999. Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR.
- Argerich, F.R., 1976. Fisiografía de la Provincia de Catamarca. Dirección Provincial de Cultura.
- ASTM, 2004. Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter) Designation: D 1739 – 98 (Reapproved 2004).
- Brandan, M. y Brandan, E., 2010. Carta topográfica Hoja N°2766-III Andalgala. Confeccionada por EB Cartografía.
- Brizuela J., Jimenez Y., 2012. Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. Artículo científico Avances en Química, 7(2), 101-109.
- Cañas, M.S., Hernández, J.M. y Rasjido, M., 2016. Apuntes de curso de Química Ambiental. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
- Cheremisinoff, N.P., 2002. Handbook of air pollution prevention and control. Elsevier Science (USA). ISBN 0-7506-7499-7.
- De la Orden, E.A., Contaminación; Área Ecología. Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca. ISSN: 1852-3013.
- ENEL spA, 2004. Metodologías para líneas base & monitoreo. Taller Internacional: Proyectos de generación eléctrica bajo el mecanismo de desarrollo limpio. Guayaquil, Ecuador. Septiembre 28 y 29.
- EPA, 2007. Method 6010C (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 3.
- Gallina, S.H. y Tapia Juárez, N., 2015. Apuntes para escribir Tesis o Trabajo Final, Proyectos de investigación, Artículos científicos. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
- Gutiérrez, A.A., Chong D.G. y Espinoza R.S, 2006. Niveles de exposición de yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina, v.61 n.2 Buenos Aires abr./jun. ISSN 1851-8249.
- Herrero J.C. y Ferpozzi L.H., 2008. Informe Técnico Pericial-Estudio ambiental de aguas, sedimentos fluviales, suelo y polvo atmosférico realizado en el marco de la pericia efectuada en la Cuenca del Rio Vis Vis y en el Complejo Minero Bajo de la Alumbraera.
- Herrero J.C., 2008. Convenio YMAD- SEGEMAR- EMPREMIN. Proyecto Geoambiental del Complejo Volcánico Farallón Negro. Proyecto geoambiental del Complejo volcánico Farallón Negro-Estudio de la Calidad del Aire Ambiental, Anexo III. Referido al Polvo Atmosférico Respirable MP₁₀.

- Jacobson, M.Z., 2002. Atmospheric Pollution. History, science and regulation. Cambridge University Press, New York.
- Ley 20.284 de Contaminación Ambiental-Anexo II.
- Normativa complementaria de la Ley 24.585 de Protección Ambiental para la Actividad Minera-Anexo IV.
- Morlans, M.C., 1995. Regiones naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas, Revista de Ciencia y Técnica UNCa 2(2), 1-42.
- Plan Nacional de Calidad del Aire, 2010. Ministerio del Ambiente República del Ecuador Quito.
- Pol, R.G., Camín, S.R. y Astié, A.A. Situación ambiental en la ecorregión del Monte.
- Rodríguez, J.A., 2010. Estudio Hidrogeológico del Campo del Arenal, Provincia de Catamarca. Convenio de colaboración técnica reciproca, Gobierno de Catamarca-Instituto Nacional del agua, Acta complementaria N° 2.
- SEMARNAT, 2010. Guía para definir la línea base Ambiental previo al inicio de las Actividades Petroleras.
- Viglian, V., 2014. ALS Corplab. Evaluación Ambiental de la Calidad de Aire. Informe Anual, Junio 2013-Mayo 2014. Programa de Calidad del Aire Ambiente Exterior.
- Viglian, V., 2015. ALS Corplab. Evaluación Ambiental de la Calidad de Aire. Informe Anual, Agosto 2014-Julio 2015. Programa de Calidad del Aire Ambiente Exterior.
- Viglian, V., 2015. ALS Corplab. Evaluación Ambiental de la Calidad de Aire. Informe Anual, Septiembre 2015-Agosto 2016. Programa de Calidad del Aire Ambiente Exterior.

PAGINAS CONSULTADAS

- <https://geografadidctica.wordpress.com/category/ecorregiones-de-la-argentina/>
- <http://www.losquesevan.com/ecorregiones-de-la-argentina-viii-la-prepuna-o-ecorregion-del-cardonal.849c>
- https://issuu.com/dajuliani/docs/regionalizaci_n_socio_productiva
- <http://www.atlas.catamarca.gov.ar/>
- <http://www.acampante.com/ficha-localidad/hualfin/catamarca>
- <http://naturalezaypaisajesdecataamarca.blogspot.com.ar/2015/10/Los-Nacimientos-departamento-Belen.html>
- http://www.oma-malaga.com/agenda21/subidas/archivos/arc_101.pdf
- <http://caminandosenderosycascadas.blogspot.com.ar/2015/11/termas-los-nacimientos-catamarca.html>
- <http://manuelgalan.blogspot.com.ar/p/guia-metodologica-para-investigacion.html>
- <http://www.mapaconflictominero.org.ar/provincias/proyectos/mineros/Catamarca>
- <http://inta.gob.ar/documentos/caracteristicas-suelos-de-catamarca>
- <http://www.argentinaturismo.com.ar/andalgala/comollegar.php>
- <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3065>
- <http://www.who.int/es/>

- <http://www.labte.es/index.php/es/2013-11-03-19-54-23/ensayos-mediante-tecnica-icp-aes>
- Estadística descriptiva. Tema 2. Curso online.
- <https://rafalafena.files.wordpress.com/2010/11/significacion-estadistica.doc>

I. DEFINICIONES/GLOSARIO

- **MP₁₀**: pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es menor que 10 µm. su concentración se mide en µg/m³.
- **PTS**: partículas totales en suspensión generadas a partir de alguna actividad antropogénica o natural. Se mide en µg/m³.
- **MPS**: material particulado sedimentable presente en la atmosfera ambiental, causado a partir de actividades antropogénicas o naturales. Se mide en mg/cm².
- **ASTM (American Society for Testing and Materials)**: es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. **ASTM 1739**: establece utilizar bomba de alto caudal (16 l/seg) y realizar muestreos de 24hs.
- **EPA o USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)**: agencia reguladora encargada de escribir normas y reglamentos que explican los detalles técnicos, operacionales y legales necesarios para implementar las leyes. Los reglamentos son requisitos obligatorios que se pueden aplicar a individuos, negocios, gobiernos estatales y locales, instituciones sin fines de lucro, entre otros.
- **ICP-AES (Técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción)**: se basa en la radiación emitida cuando un átomo o ión excitado por absorción de energía de una fuente caliente, se relaja a su estado fundamental. La cantidad de energía emitida dependerá de la cantidad de átomos presentes del metal correspondiente.
- **Moda**: valor de datos más común, o sea el que ocurre con mayor frecuencia en un población.

II. SOFTWARE EMPLEADOS

Características de los programas utilizados para la representación gráfica tanto de los resultados como de la geología de las zonas y de las variables climáticas:

- **SPSS statistics 21**: es un software estadístico integrado que se centra en el completo proceso analítico, desde la planificación a la colección de datos y al análisis, “reporting” y despliegue.
- **WRPLOT View**: es un programa de libre distribución para Windows que representa rosas de vientos. Reconoce algunos de los formatos de archivos de datos meteorológicos más populares e incluye también una función para importar datos directamente desde Excel.
- **ArcGIS**: es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Entre sus herramientas, permite crear una amplia variedad de mapas, entre ellos, mapas Web accesibles en navegadores y dispositivos móviles, diseños de mapa impresos de gran formato, mapas incluidos en informes y presentaciones, libros de mapa, atlas, mapas

integrados en aplicaciones, etc. Independientemente de cómo se publica, un mapa de ArcGIS es un mapa inteligente que muestra, integra y sintetiza completas capas de información geográfica y descriptiva de diversas fuentes.

III. PLANILLAS DE DATOS Y VARIABLES CALCULADAS

A continuación se presentan los valores depurados de concentración para cada parámetro/elemento medido en cada estación de monitoreo de MAA, y variables calculadas a partir de ellos, que permitieron obtener los niveles de referencia de calidad del aire.

III.1 Concentraciones de MP₁₀, MPS y PTS

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de muestreo	MP ₁₀ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Hierro (µg/m ³)	Cobre (µg/m ³)	Molibdeno (µg/m ³)	Plomo (µg/m ³)	Arsénico (µg/m ³)	Manganeso (µg/m ³)	Estroncio (µg/m ³)	Zinc (µg/m ³)	Cadmio (µg/m ³)
07-jun-13	64,40	98,49	0,10414	0,00172	0,00023	0,00046	0,00153	0,00341	0,00063	0,00048	0,00011
13-jun-13	3,64	77,64	0,05445	0,01081	0,00035	0,00046	0,00156	0,00195	0,00038	0,00059	0,00012
21-jun-13	13,34	47,30	0,01402	0,00593	0,00023	0,00046	0,00153	0,00670	0,00010	0,00015	0,00011
27-jun-13	8,25	30,76	0,11231	0,00895	0,00045	0,00048	0,00160	0,00321	0,00066	0,00054	0,00012
04-jul-13	15,74	37,29	0,07420	0,00617	0,00035	0,00046	0,00153	0,00228	0,00052	0,00059	0,00011
11-jul-13	8,49	32,98	0,03073	0,02334	0,00192	0,00045	0,00152	0,00094	0,00021	0,00069	0,00011
18-jul-13	16,41	104,51	0,25406	0,00557	0,00051	0,00052	0,00152	0,00735	0,00201	0,00112	0,00011
25-jul-13	3,18	6,62	0,28000	0,04500	0,00550	V/E	0,00152	0,00800	0,00200	0,00190	0,00011
01-ago-13	5,19	9,15	0,02211	0,00667	0,00095	0,00133	0,00152	0,00076	0,00027	0,00029	0,00015
08-ago-13	121,21	332,77	0,26915	0,00543	0,00073	0,00045	0,00151	0,00855	0,00214	0,00122	0,00011
15-ago-13	26,85	60,86	0,01030	0,00118	0,00023	0,00046	0,00156	0,00032	0,00006	0,00022	0,00012
22-ago-13	49,36	103,37	0,13037	0,00621	0,00023	0,00045	0,00151	0,00467	0,00103	0,00079	0,00011
29-ago-13	13,82	29,00	0,01060	0,00025	0,00024	0,00047	0,00159	0,00005	0,00015	0,00015	0,00012
05-sep-13	11,38	23,83	0,01409	0,00077	0,00026	0,00047	0,00158	0,00022	0,00018	0,00015	0,00012
19-sep-13	10,96	32,35	0,00479	0,00017	0,00023	0,00046	0,00156	0,00025	0,00004	0,00015	0,00012
03-oct-13	24,86	62,15	0,00264	0,00017	0,00023	0,00046	0,00155	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
17-oct-13	4,61	8,06	0,00348	0,00057	0,00024	0,00047	0,00159	0,00016	0,00004	0,00015	0,00012
31-oct-13	33,80	59,05	0,04482	0,00136	0,00025	0,00049	0,00165	0,00121	0,00030	0,00016	0,00012
14-nov-13	27,12	56,99	0,02629	0,00088	0,00025	0,00049	0,00166	0,00073	0,00017	0,00039	0,00012
28-nov-13	11,84	19,13	0,01137	0,00121	0,00024	0,00048	0,00162	0,00041	0,00010	0,00015	0,00012
12-dic-13	8,02	27,63	0,00767	0,00057	0,00024	0,00051	0,00171	0,00027	0,00004	0,00015	0,00012
09-ene-14	15,66	22,98	0,13786	0,01020	0,00052	0,00049	0,00164	0,00150	0,00032	0,00028	0,00012
27-ene-14	11,14	33,89	0,01572	0,00764	0,00224	0,00048	0,00163	0,00046	0,00004	0,00301	0,00012
06-feb-14	8,98	32,92	0,00278	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
20-feb-14	15,78	33,94	0,00273	0,00017	0,00024	0,00048	0,00161	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
06-mar-14	13,89	95,37	0,05019	0,00054	0,00024	0,00048	0,00162	0,00183	0,00039	0,00015	0,00012
20-mar-14	2,96	3,43	0,00269	0,00017	0,00024	0,00047	0,00158	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
03-abr-14	65,37	145,83	0,00272	0,00017	0,00024	0,00048	0,00160	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
17-abr-14	3,78	22,67	0,00265	0,00017	0,00023	0,00046	0,00156	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
01-may-14	3,86	32,14	0,00271	0,00017	0,00024	0,00047	0,00159	0,00002	0,00004	0,00022	0,00012
15-may-14	7,50	16,94	0,00277	0,00116	0,00023	0,00047	0,00157	0,00008	0,00004	0,00015	0,00012
29-may-14	10,32	33,84	0,02469	0,00017	0,00023	0,00047	0,00157	0,00006	0,00007	0,00015	0,00012
25-ago-14	15,25	24,59	0,00429	0,00236	0,00023	0,00045	0,00151	0,00016	0,00010	0,00014	0,00011
24-sep-14	14,43	33,10	0,00266	0,00017	0,00023	0,00047	0,00156	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
24-oct-14	7,09	20,33	0,20775	0,01350	0,00024	0,00168	0,00176	0,00507	0,00168	0,00379	0,00042
23-nov-14	1,72	5,72	0,03000	0,00400	0,00024	0,00049	0,00164	0,00100	0,00008	0,00016	0,00012
20-dic-14	4,87	93,89	0,12145	0,00241	0,00227	0,00107	0,00162	0,00371	0,00200	0,00016	0,00020
19-ene-15	4,87	75,38	0,09101	0,01182	0,00240	0,00048	0,00162	0,00214	0,00055	0,00052	0,00012
19-feb-15	14,65	72,66	0,00274	0,00017	0,00024	0,00048	0,00161	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
21-mar-15	19,35	64,22	0,00270	0,00140	0,00024	0,00047	0,00159	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
20-abr-15	21,05	65,46	0,02477	0,00196	0,00023	0,00047	0,00157	0,00065	0,00008	0,00015	0,00012
20-may-15	55,11	99,95	0,05938	0,00379	0,00024	0,00047	0,00159	0,00154	0,00004	0,00015	0,00012
20-jun-15	37,69	47,74	0,03453	0,00108	0,00023	0,00046	0,00153	0,00112	0,00028	0,00015	0,00011
20-jul-15	12,54	24,91	0,02339	0,00070	0,00022	0,00045	0,00150	0,00076	0,00004	0,00014	0,00011
15-sep-15	28,08	50,81	0,20435	0,00727	0,00024	0,00048	0,00161	0,00423	0,00100	0,00145	0,00012
15-oct-15	12,83	27,27	0,02019	0,00256	0,00023	0,00047	0,00157	0,00023	0,00008	0,00015	0,00012
14-nov-15	18,95	33,89	0,00281	0,00375	0,00024	0,00048	0,00161	0,00099	0,00014	0,00015	0,00012
14-dic-15	11,84	82,85	0,02491	0,00154	0,00024	0,00049	0,00164	0,00016	0,00005	0,00016	0,00012
17-ene-16	40,83	134,88	0,00279	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
17-feb-16	10,16	10,88	0,02791	0,00354	0,00025	0,00050	0,00166	0,00041	0,00005	0,00016	0,00012
17-mar-16	33,93	37,07	0,02528	0,00128	0,00024	0,00049	0,00163	0,00068	0,00009	0,00031	0,00012
16-abr-16	4,50	16,13	0,00273	0,00017	0,00024	0,00048	0,00161	0,00002	0,00004	0,00015	0,00012
16-may-16	1,09	4,31	0,00260	0,00016	0,00023	0,00045	0,00153	0,00002	0,00004	0,00015	0,00011
15-jun-16	1,72										S/D

Planilla 1: Concentraciones de MP₁₀ y PTS (son sus correspondientes metales) para Amanao.

*S/D: sin datos – V/E: valores eliminados por errores en el tipeo.

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de inicio del muestreo	MPS (mg/cm ²)	Sulfatos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Nitratos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Hierro Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cobre Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Molibdeno Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Plomo Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Arsénico Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Manganeso Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Estroncio Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Zinc Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cadmio Fracción Insoluble (mg/cm ²)
07-jun-13	0,53	<0,01350	<0,00300	0,00487431	0,00008580	0,00000369	0,00094513	0,00000521	0,00013034	0,00002870	0,00023569	0,00000038
11-jul-13	0,53	<0,01350	<0,00027	0,00730336	0,00006970	0,00000769	0,00063225	0,00000521	0,00020551	0,00004136	0,00009717	0,00000038
09-ago-13	0,78	<0,01350	<0,00027	0,00846595	0,00016318	0,00000394	0,00094865	0,00000521	0,00027913	0,00005594	0,00022055	0,00000038
07-sep-13	0,86	<0,01350	<0,00191	0,01705218	0,00008245	0,00000498	0,00047061	0,00000521	0,00049448	0,00011723	0,00010681	0,00000038
08-oct-13	1,97	<0,01350	<0,00732	0,01784897	0,00020460	0,00000082	0,00024908	0,00000521	0,00040160	0,00011239	0,00076837	0,00000038
08-nov-13	3,32	<0,01350	<0,00687	0,00173358	0,00000547	0,00000071	0,00028619	0,00000521	0,00004219	0,00001185	0,00003298	0,00000038
07-dic-13	1,42	<0,01350	<0,00027	0,00014382	0,00000060	0,00000071	0,00003698	0,00000521	0,00000310	0,00000040	0,00000331	0,00000038
07-ene-14	1,75	<0,01350	<0,00113	0,00230274	0,00000809	0,00000071	0,00040069	0,00000521	0,00006091	0,00001005	0,00005093	0,00000038
06-feb-14	0,54	<0,01350	<0,00242	0,00375138	0,00014324	0,00000317	0,00095107	0,00000521	0,00012272	0,00001943	0,00018754	0,00000038
07-mar-14	0,76	<0,01350	<0,00133	0,00041320	0,00000588	0,00000071	0,00017814	0,00000521	0,00001212	0,00000214	0,00000992	0,00000038
06-abr-14	0,23	<0,01350	<0,00027	0,00002167	0,00000060	0,00000071	0,00000165	0,00000521	0,00000063	0,00000014	0,00000049	0,00000038
06-may-14	0,18	<0,01350	<0,00027	0,00005839	0,00000060	0,00000071	0,00000165	0,00000521	0,00000457	0,00000014	0,00000049	0,00000038
25-ago-14	0,83	<0,04050	<0,00081	0,00044699	0,00000400	0,00001920	0,00004142	0,00001289	0,00001565	0,00000260	0,00000485	0,00000096
24-sep-14	0,59	<0,04050	<0,00081	0,00590219	0,00009260	0,00001920	0,00032786	0,00005002	0,00011962	0,00007082	0,00004503	0,00004687
24-oct-14	0,34	<0,04050	<0,00081	0,00498690	0,00003391	0,00003443	0,00006344	0,00004375	0,00011914	0,00011253	0,00004327	0,00002960
23-nov-14	2,26	<0,04050	<0,00081	0,10885864	0,00089467	0,00001920	0,00006887	0,00001289	0,00108300	0,00024946	0,00080723	0,00000096
20-dic-14	2,09	<0,04050	<0,00477	0,03307885	0,00005287	0,00019200	0,00098792	0,00001289	0,00048387	0,00018810	0,00022359	0,00001542
19-ene-15	2,06	<0,04050	<0,00081	0,00252367	0,00002869	0,00001920	0,00018875	0,00001289	0,00004429	0,00000915	0,00007440	0,00000096
19-feb-15	2,12	<0,04050	<0,00081	0,01191916	0,00027278	0,00002834	0,00021984	0,00003095	0,00027273	0,00005789	0,00085867	0,00002696
21-mar-15	1,37	<0,04050	<0,00081	0,00086583	0,00003139	0,00001920	0,00004532	0,00004758	0,00002688	0,00001589	0,00005487	0,00002206
20-abr-15	1,93	<0,04050	<0,00081	0,00440137	0,00001717	0,00001920	0,00001988	0,00001289	0,00008573	0,00001835	0,00006306	0,00000096
20-may-15	0,73	<0,04050	<0,00081	0,00896755	0,00024069	0,00001920	0,00086161	0,00004669	0,00016726	0,00001820	0,00023835	0,00000096
20-jun-15	0,78	<0,04050	<0,00081	0,00902474	0,00008552	0,00001920	0,00018758	0,00001289	0,00018396	0,00008717	0,00008904	0,00000096
20-jul-15	0,55	<0,04050	<0,00081	0,00205115	0,00001240	0,00001920	0,00000384	0,00001289	0,00030879	0,00005541	0,00001995	0,00000096
15-sep-15	0,41	<0,04050	<0,00081	0,00099606	0,00022538	0,00001920	0,00008623	0,00001289	0,00024004	0,00003592	0,00009880	0,00000096
15-oct-15	0,65	<0,04050	<0,00081	0,00010892	0,00004236	0,00001920	0,00002151	0,00001289	0,00002931	0,00007033	0,00005654	0,00000096
14-nov-15	0,54	<0,04050	<0,00081	0,00871271	0,00006477	0,00001920	0,00052023	0,00001289	0,00011928	0,00003664	0,00007399	0,00000096
14-dic-15	1,67	<0,00125	<0,00013	0,00002194	0,00000137	0,00001920	0,00092086	0,00001289	0,00000016	0,00001342	0,00000123	0,00000096
17-ene-16	6,70	<19,82000	<6,09000	0,00002194	0,00000137	0,00001920	0,00000384	0,00001289	0,00000016	0,00000036	0,00000125	0,00000096
12-feb-16	0,65	<12,65000	<1,85000	0,00870666	0,00019435	0,00000446	0,00123649	0,00001289	0,00024797	0,00003464	0,00012942	0,00000096
17-mar-16	7,19	<9,09000	<1,37000	0,01367981	0,00010625	0,00001920	0,00036189	0,00001289	0,00026199	0,00005780	0,00014182	0,00000096
16-abr-16	0,07	<24,19000	<1,37000	0,01032092	0,00014945	0,00001920	0,00011499	0,00001289	0,00192640	0,00003915	0,00019540	0,00000096
16-may-16	0,26	<12,65000	<1,85000	0,00870666	0,00019435	0,00000446	0,00123649	0,00001289	0,00024797	0,00003464	0,00012942	0,00000096

Planilla 2: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Amanao.

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN
ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de muestreo	MP ₁₀ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Hierro (µg/m ³)	Cobre (µg/m ³)	Molibdeno (µg/m ³)	Plomo (µg/m ³)	Arsénico (µg/m ³)	Manganeso (µg/m ³)	Estroncio (µg/m ³)	Zinc (µg/m ³)	Cadmio (µg/m ³)
5-jun-13	5,69	64,73	0,07767	0,00121	0,00025	0,00050	0,00167	0,00339	0,00052	0,00060	0,00012
11-jun-13	44,65	114,19	0,06171	0,00133	0,00025	0,00050	0,00168	0,00311	0,00037	0,00084	0,00012
18-jun-13	38,07	220,50	0,05489	0,00096	0,00026	0,00052	0,00175	0,00241	0,00046	0,00069	0,00013
24-jun-13	8,75	193,82	0,00863	0,00020	0,00025	0,00051	0,00170	0,00030	0,00005	0,00030	0,00013
1-jul-13	13,81	21,26	0,02272	0,00084	0,00026	0,00051	0,00172	0,00076	0,00016	0,00034	0,00013
8-jul-13	22,06	44,62	0,04318	0,00272	0,00026	0,00051	0,00172	0,00150	0,00026	0,00091	0,00013
15-jul-13	25,69	35,82	0,04884	0,00088	0,00025	0,00051	0,00170	0,00218	0,00031	0,00081	0,00013
22-jul-13	19,28	39,88	0,30000	0,04800	0,00590	0,00048	0,00162	0,00860	0,00220	0,00210	0,00012
29-jul-13	93,74	136,92	0,08618	0,00142	0,00026	0,00052	0,00173	0,00380	0,00059	0,00130	0,00017
5-ago-13	27,41	40,41	0,05121	0,00136	0,00026	0,00051	0,00173	0,00253	0,00043	0,00078	0,00013
12-ago-13	79,20	147,74	0,01116	0,00128	0,00025	0,00050	0,00168	0,00035	0,00007	0,00024	0,00013
19-ago-13	70,41	141,83	0,06555	0,00068	0,00027	0,00054	0,00182	0,00262	0,00056	0,00084	0,00014
26-ago-13	25,14	61,97	0,02870	0,00018	0,00025	0,00049	0,00165	0,00107	0,00031	0,00030	0,00012
2-sep-13	34,09	84,00	0,06601	0,00099	0,00026	0,00052	0,00174	0,00245	0,00067	0,00080	0,00013
16-sep-13	48,50	66,51	0,01973	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00091	0,00013	0,00077	0,00013
30-sep-13	11,31	37,66	0,06429	0,00317	0,00025	0,00050	0,00168	0,00245	0,00038	0,00023	0,00013
14-oct-13	9,85	43,34	0,05762	0,00578	0,00026	0,00052	0,00174	0,00218	0,00031	0,00043	0,00013
28-oct-13	13,27	78,93	0,08268	0,00241	0,00027	0,00053	0,00178	0,00273	0,00052	0,00058	0,00013
11-nov-13	9,54	42,60	0,05448	0,00375	0,00035	0,00052	0,00174	0,00177	0,00038	0,00017	0,00013
25-nov-13	78,44	264,47	0,27977	0,00430	0,00047	0,00052	0,00175	0,00856	0,00197	0,00017	0,00013
9-dic-13	58,41	79,98	0,05981	0,00055	0,00026	0,00052	0,00176	0,00204	0,00039	0,00017	0,00013
6-ene-14	16,39	36,86	0,02815	0,00220	0,00027	0,00054	0,00181	0,00133	0,00020	0,00036	0,00013
20-ene-14	18,43	25,68	0,00386	0,00052	0,00027	0,00054	0,00181	0,00009	0,00005	0,00086	0,00013
3-feb-14	9,45	35,11	0,00307	0,00019	0,00027	0,00054	0,00118	<0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
17-feb-14	14,59	28,96	0,00296	0,00019	0,00026	0,00052	0,00174	0,00017	0,00005	0,00101	0,00013
3-mar-14	30,25	64,90	0,00293	0,00103	0,00026	0,00051	0,00172	0,00021	0,00005	0,00016	0,00013
17-mar-14	9,34	17,26	0,01598	0,00019	0,00026	0,00052	0,00176	0,00086	0,00015	0,00017	0,00013
31-mar-14	85,88	261,88	0,01868	0,00019	0,00026	0,00052	0,00175	0,00068	0,00014	0,00017	0,00013
14-abr-14	28,23	67,19	0,01339	0,00173	0,00025	0,00051	0,00171	0,00078	0,00009	0,00040	0,00013
28-abr-14	33,01	132,26	0,00305	0,00018	0,00026	0,00051	0,00172	0,00006	0,00005	0,00038	0,00013
12-may-14	10,50	39,98	0,00549	0,00018	0,00025	0,00051	0,00170	0,00028	0,00005	0,00016	0,00013
26-may-14	11,23	21,23	0,02651	0,00018	0,00025	0,00051	0,00170	0,00006	0,00008	0,00016	0,00013
22-ago-14	23,69	43,71	0,04731	0,00045	0,00026	0,00053	0,00178	0,00158	0,00035	0,00026	0,00013
21-sep-14	58,37	70,58	0,01729	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00073	0,00010	0,00016	0,00012
21-oct-14	23,31	45,88	0,31580	0,00927	0,00026	0,00192	0,00176	0,00886	0,00252	0,00543	0,00032
20-nov-14	60,72	236,21	0,30903	0,00093	0,00026	0,00052	0,00175	0,00754	0,00110	0,00091	0,00013
17-dic-14	65,09	71,82	0,02020	0,00157	0,00256	0,00120	0,00171	0,00127	0,00177	0,00016	0,00013
16-ene-15	49,64	66,46	0,04526	0,00163	0,00026	0,00053	0,00178	0,00189	0,00035	0,00076	0,00013
16-feb-15	56,62	87,35	0,08878	0,00381	0,00026	0,00052	0,00175	0,00002	0,00036	0,00017	0,00013
18-mar-15	21,00	62,20	0,00915	0,00029	0,00026	0,00052	0,00175	0,00007	0,00005	0,00017	0,00013
17-abr-15	20,37	77,55	0,02346	0,00088	0,00026	0,00051	0,00172	0,00091	0,00005	0,00016	0,00013
17-may-15	35,97	83,88	0,02179	0,00026	0,00025	0,00051	0,00170	0,00064	0,00005	0,00016	0,00013
17-jun-15	75,61	147,37	0,11723	0,00105	0,00025	0,00049	0,00165	0,00345	0,00069	0,00053	0,00012
17-jul-15	17,67	56,83	0,01951	0,00079	0,00026	0,00051	0,00171	0,00013	0,00005	0,00016	0,00013
12-sep-15	12,02	25,81	0,02632	0,00134	0,00025	0,00051	0,00171	0,00092	0,00025	0,00082	0,00013
12-oct-15	9,48	27,61	0,01700	0,00090	0,00026	0,00051	0,00173	0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
11-nov-15	25,04	52,34	0,00298	0,00113	0,00026	0,00052	0,00175	0,00088	0,00005	0,00043	0,00013
11-dic-15	40,72	81,66	0,05870	0,00387	0,00027	0,00053	0,00179	0,00086	0,00013	0,00017	0,00013
14-ene-16	58,38	79,10	0,00302	0,00019	0,00026	0,00053	0,00177	0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
13-feb-16	18,41	339,75	0,36216	0,00378	0,00026	0,00052	0,00176	0,00975	0,00143	0,00100	0,00013
14-mar-16	23,10	28,47	0,01815	0,00145	0,00026	0,00052	0,00175	0,00032	0,00018	0,00021	0,00013
13-abr-16	1,84	7,67	0,00299	0,00019	0,00026	0,00052	0,00175	0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
13-may-16	1,79	46,88	0,00291	0,00018	0,00025	0,00051	0,00171	0,00002	0,00005	0,00016	0,00013
12-jun-16	5,52										

S/D

Planilla 3: Concentraciones de MP₁₀ y PTS (son sus correspondientes metales) para Los Nacimientos.

*S/D: sin datos.

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de inicio del muestreo	MPS (mg/cm ²)	Sulfatos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Nitratos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Hierro Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cobre Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Molibdeno Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Plomo Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Arsénico Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Manganeso Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Estroncio Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Zinc Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cadmio Fracción Insoluble (mg/cm ²)
5-jun-13	0,40	0,01350	0,00205	0,00396213	0,00003795	0,00000071	0,00001014	0,00000521	0,00012255	0,00002409	0,00011048	0,00000038
8-jul-13	0,22	0,01350	0,00027	0,00231549	0,00002304	0,00000107	0,00001119	0,00000521	0,00007542	0,00001234	0,00009214	0,00000038
7-ago-13	0,44	0,01350	0,00027	0,00378934	0,00013630	0,00000494	0,00011559	0,00000521	0,00013517	0,00002136	0,00006362	0,00000038
6-oct-13	1,00	0,01350	0,00327	0,00633664	0,00006758	0,00000104	0,00033344	0,00000521	0,00017084	0,00003280	0,00008618	0,00000038
6-nov-13	0,57	0,01350	0,00168	0,00036281	0,00000555	0,00000071	0,00000165	0,00000521	0,00000834	0,00000188	0,00003657	0,00000038
6-dic-13	0,69	0,10802	0,00372	0,00033896	0,00000166	0,00000071	0,00007832	0,00000521	0,00000840	0,00000163	0,00000740	0,00000038
7-ene-14	1,75	0,01350	0,00229	0,00356753	0,00004067	0,00000071	0,00002840	0,00000521	0,00013172	0,00004434	0,00030756	0,00000038
5-feb-14	0,13	0,01350	0,00027	0,00165105	0,00003491	0,00000071	0,00005420	0,00000521	0,00002608	0,00000332	0,00002993	0,00000038
6-mar-14	0,42	0,01350	0,00115	0,00026719	0,00000394	0,00000071	0,00005306	0,00000521	0,00000766	0,00000134	0,00000712	0,00000038
5-abr-14	0,13	0,01350	0,00027	0,00130178	0,00001697	0,00000071	0,00012431	0,00000521	0,00003205	0,00000495	0,00007731	0,00000038
5-may-14	0,17	0,01350	0,00057	0,00008122	0,00000060	0,00000071	0,00000334	0,00000521	0,00001070	0,00000065	0,00000127	0,00000038
21-sep-14	0,24	0,04050	0,00081	0,00906195	0,00005321	0,00001920	0,00035333	0,00008516	0,00026700	0,00011734	0,00008091	0,00004688
21-oct-14	0,35	0,04050	0,00081	0,00462871	0,00007896	0,00003240	0,00098805	0,00004027	0,00010491	0,00008767	0,00006711	0,00004302
20-nov-14	0,58	0,04050	0,00081	0,01495425	0,00004580	0,00001920	0,00094632	0,00005026	0,00013097	0,00005401	0,00026559	0,00000096
18-dic-14	0,52	0,04050	0,00081	0,00350155	0,00003203	0,00001920	0,00046961	0,00003110	0,00005386	0,00003946	0,00016161	0,00002009
17-ene-15	0,34	0,04050	0,00081	0,02086326	0,00006065	0,00001920	0,00045827	0,00004391	0,00015031	0,00003862	0,00516092	0,00000096
16-feb-15	0,49	0,04050	0,00081	0,00113249	0,00003334	0,00001920	0,00018288	0,00004529	0,00003542	0,00000638	0,00004028	0,00002978
18-mar-15	0,13	0,04050	0,00081	0,00279503	0,00004518	0,00001920	0,00004515	0,00004842	0,00008180	0,00005308	0,00016974	0,00002767
17-may-15	0,42	0,04050	0,00081	0,00350312	0,00013511	0,00001920	0,00012037	0,00001289	0,00004395	0,00000036	0,00015959	0,00000096
16-jun-15	0,29	0,04050	0,00081	0,00367992	0,00009307	0,00001920	0,00022938	0,00006153	0,00007020	0,00005276	0,00003833	0,00000096
16-jul-15	0,09	0,04050	0,00081	0,00171346	0,00001911	0,00001920	0,00002169	0,00001681	0,00005011	0,00002490	0,00002163	0,00000096
12-sep-15	0,28	0,04050	0,00081	0,00084359	0,00015234	0,00001920	0,00002809	0,00001289	0,00018914	0,00002814	0,00017236	0,00000096
11-nov-15	0,45	0,04050	0,00081	0,00758373	0,00003548	0,00001920	0,00005553	0,00001289	0,00000613	0,00003270	0,00041751	0,00000096
11-dic-15	0,90	0,00125	0,00013	0,00002194	0,00000137	0,00001920	0,00002139	0,00001289	0,00000016	0,00003674	0,00000123	0,00000096
12-ene-16	4,11	83,01000	3,02000	0,00002194	0,00000137	0,00001920	0,00000384	0,00001289	0,00000582	0,00000036	0,00003067	0,00000096
12-feb-16	0,74	7,82000	3,02000	0,00437865	0,00000968	0,00001920	0,00013629	0,00001289	0,00001788	0,00000129	0,00001471	0,00000096
14-mar-16	3,87	2,74000	1,37000	0,00384546	0,00002113	0,00001920	0,00001044	0,00001289	0,00006779	0,00001820	0,00017901	0,00000096
13-abr-16	0,06	119,31000	1,37000	0,20332154	0,02150713	0,00077566	0,00201083	0,00005539	0,00428872	0,00059154	0,00099579	0,00000975

Planilla 4: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Los Nacimientos.

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN
ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de muestreo	MP ₁₀ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Hierro (µg/m ³)	Cobre (µg/m ³)	Molibdeno (µg/m ³)	Plomo (µg/m ³)	Arsénico (µg/m ³)	Manganeso (µg/m ³)	Estroncio (µg/m ³)	Zinc (µg/m ³)	Cadmio (µg/m ³)
5-jun-13	49,26	59,12	0,04734	0,00077	0,00028	0,00055	0,00186	0,00190	0,00034	0,00037	0,00014
11-jun-13	17,32	59,17	0,07973	0,00352	0,00024	0,00049	0,00163	0,00326	0,00051	0,00066	0,00012
18-jun-13	11,78	166,35	0,05943	0,00290	0,00025	0,00049	0,00166	0,00208	0,00048	0,00071	0,00012
24-jun-13	26,99	174,28	0,04544	0,00299	0,00024	0,00048	0,00161	0,00506	0,00033	0,00040	0,00012
1-jul-13	16,65	32,78	0,06560	0,00196	0,00026	0,00052	0,00175	0,00202	0,00057	0,00054	0,00013
8-jul-13	10,74	106,34	0,09498	0,00334	0,00026	0,00052	0,00173	0,00289	0,00092	0,00084	0,00013
15-jul-13	31,74	47,68	0,05974	0,00301	0,00025	0,00050	0,00167	0,00209	0,00049	0,00081	0,00012
22-jul-13	9,32	29,76	0,58000	0,09300	0,01140	0,00080	0,00160	0,01700	0,00410	0,00405	0,00012
29-jul-13	5,51	19,76	0,02071	0,00097	0,00025	0,00051	0,00171	0,00077	0,00019	0,00043	0,00016
5-ago-13	13,19	23,29	0,03445	0,00155	0,00025	0,00050	0,00168	0,00114	0,00036	0,00040	0,00013
12-ago-13	10,33	29,01	0,03665	0,00203	0,00024	0,00049	0,00164	0,00127	0,00025	0,00039	0,00012
19-ago-13	14,06	40,47	0,00287	0,00018	0,00025	0,00050	0,00169	0,00006	0,00006	0,00060	0,00013
26-ago-13	11,58	33,37	0,02293	0,00189	0,00024	0,00048	0,00161	0,00062	0,00027	0,00015	0,00012
2-sep-13	15,48	44,55	0,01545	0,00018	0,00025	0,00051	0,00170	0,00026	0,00023	0,00016	0,00013
16-sep-13	7,48	21,49	0,00275	0,00017	0,00024	0,00048	0,00161	0,00006	0,00004	0,00015	0,00012
30-sep-13	13,54	44,66	0,00582	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00028	0,00005	0,00016	0,00012
14-oct-13	10,28	47,63	0,00650	0,00018	0,00025	0,00051	0,00170	0,00025	0,00005	0,00016	0,00013
28-oct-13	14,34	29,87	0,01526	0,00019	0,00026	0,00052	0,00175	0,00048	0,00015	0,00017	0,00013
11-nov-13	10,10	29,28	0,00892	0,00043	0,00025	0,00050	0,00169	0,00026	0,00006	0,00016	0,00013
25-nov-13	94,65	176,65	0,17773	0,00111	0,00025	0,00051	0,00171	0,00536	0,00119	0,00016	0,00013
9-dic-13	9,67	52,39	0,04248	0,00018	0,00026	0,00051	0,00171	0,00148	0,00028	0,00016	0,00013
6-ene-14	10,83	64,96	0,00318	0,00019	0,00026	0,00052	0,00175	0,00020	0,00005	0,00017	0,00013
20-ene-14	8,12	21,28	0,00690	0,00037	0,00026	0,00053	0,00177	0,00018	0,00005	0,00108	0,00013
3-feb-14	35,35	54,45	0,01909	0,00050	0,00026	0,00052	0,00176	0,00064	0,00014	0,00017	0,00013
17-feb-14	7,08	19,57	0,05366	0,00506	0,00025	0,00051	0,00170	0,00168	0,00046	0,00083	0,00013
3-mar-14	13,11	82,16	0,00285	0,00018	0,00025	0,00050	0,00167	0,00006	0,00005	0,00016	0,00012
17-mar-14	15,11	20,24	0,02290	0,00037	0,00025	0,00051	0,00171	0,00094	0,00021	0,00016	0,00013
31-mar-14	108,94	255,18	0,05984	0,00098	0,00025	0,00051	0,00170	0,00197	0,00039	0,00016	0,00013
14-abr-14	18,27	83,86	0,00374	0,00018	0,00025	0,00049	0,00166	0,00030	0,00005	0,00016	0,00012
28-abr-14	7,63	76,27	0,00285	0,00018	0,00025	0,00050	0,00168	0,00002	0,00005	0,00035	0,00012
12-may-14	8,33	25,62	0,00285	0,00018	0,00025	0,00021	0,00167	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
26-may-14	9,85	26,13	0,00279	0,00017	0,00024	0,00049	0,00164	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
22-ago-14	6,44	57,43	0,01479	0,00041	0,00025	0,00050	0,00168	0,00047	0,00018	0,00016	0,00013
21-sep-14	26,72	116,00	0,00275	0,00017	0,00024	0,00048	0,00161	0,00008	0,00004	0,00015	0,00012
21-oct-14	23,76	66,65	0,38962	0,00870	0,00026	0,00159	0,00174	0,00979	0,00317	0,00583	0,00033
20-nov-14	103,84	155,04	0,20226	0,00196	0,00026	0,00051	0,00171	0,00476	0,00067	0,00046	0,00013
17-dic-14	53,89	63,30	0,01918	0,00256	0,00267	0,00078	0,00170	0,00108	0,00151	0,00016	0,00013
16-ene-15	34,16	62,50	0,05576	0,00166	0,00026	0,00052	0,00175	0,00137	0,00023	0,00017	0,00013
16-feb-15	57,55	155,08	0,11154	0,00474	0,00026	0,00052	0,00173	0,00002	0,00040	0,00017	0,00013
18-mar-15	15,60	62,70	0,02747	0,00169	0,00026	0,00052	0,00173	0,00018	0,00019	0,00017	0,00013
17-abr-15	43,21	77,55	0,02346	0,00088	0,00026	0,00051	0,00172	0,00091	0,00005	0,00016	0,00013
17-may-15	22,82	48,45	0,02020	0,00105	0,00025	0,00050	0,00168	0,00053	0,00005	0,00016	0,00012
17-jun-15	54,36	83,91	0,07127	0,00088	0,00024	0,00049	0,00164	0,00189	0,00062	0,00016	0,00012
17-jul-15	51,51	145,00	0,02667	0,00117	0,00025	0,00050	0,00168	0,00082	0,00009	0,00045	0,00012
11-sep-15	36,22	62,99	0,13350	0,00320	0,00025	0,00049	0,00165	0,00309	0,00078	0,00091	0,00012
11-oct-15	18,47	31,65	0,00537	0,00534	0,00024	0,00049	0,00163	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
10-nov-15	84,86	136,19	0,02383	0,06389	0,00025	0,00269	0,00173	0,06361	0,01086	0,01461	0,00054
10-dic-15	53,38	58,42	0,00390	0,00018	0,00026	0,00052	0,00173	0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
13-ene-16	52,10	83,16	0,00296	0,00019	0,00026	0,00052	0,00174	0,00002	0,00005	0,00017	0,00013
12-feb-16	15,63	52,37	0,03068	0,00074	0,00026	0,00053	0,00176	0,00080	0,00030	0,00017	0,00013
12-mar-16	31,82	36,30	0,02062	0,00632	0,00025	0,00051	0,00017	0,00030	0,00005	0,00016	0,00013
12-abr-16	1,28	47,24	0,00285	0,00044	0,00025	0,00050	0,00017	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
12-may-16	1,17	50,31	0,00283	0,00018	0,00025	0,00050	0,00017	0,00002	0,00005	0,00016	0,00012
11-jun-16	0,86										

S/D

Planilla 5: Concentraciones de MP₁₀ y PTS (son sus correspondientes metales) para Hualfín.

*S/D: sin datos.

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA, EN ÁREAS CIRCUNDANTES AL COMPLEJO VOLCÁNICO FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Fecha de inicio del muestreo	MPS (mg/cm ²)	Sulfatos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Nitratos Fracción Soluble (mg/cm ²)	Hierro Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cobre Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Molibdeno Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Plomo Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Arsénico Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Manganeso Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Estroncio Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Zinc Fracción Insoluble (mg/cm ²)	Cadmio Fracción Insoluble (mg/cm ²)
5-jun-13	0,59	<0,01350	<0,00140	0,00551117	0,00003886	0,00000186	0,00001216	0,00000521	0,00014565	0,00004592	0,00028219	0,00000038
8-jul-13	0,24	<0,01350	<0,00027	0,00271322	0,00002545	0,00000195	0,00012933	0,00000521	0,00006574	0,00001464	0,00010032	0,00000038
7-ago-13	0,66	<0,01350	<0,00027	0,00704100	0,00012911	0,00000409	0,00003313	0,00000521	0,00020080	0,00005268	0,00020066	0,00000038
6-sep-13	0,63	<0,01350	<0,00384	0,01200693	0,00013890	0,00000846	0,00006008	0,00000521	0,00034928	0,00009223	0,00040891	0,00000038
6-oct-13	0,98	<0,01350	<0,00552	0,01253951	0,00010861	0,00000213	0,00084511	0,00003826	0,00034056	0,00011250	0,00015233	0,00000038
6-nov-13	0,55	<0,01350	<0,00432	0,00089508	0,00000539	0,00000071	0,00007240	0,00000521	0,00002063	0,00000570	0,00004130	0,00000038
6-dic-13	1,14	<0,01350	<0,00027	0,00055222	0,00000410	0,00000071	0,00000165	0,00000521	0,00001456	0,00000417	0,00005152	0,00000038
7-ene-14	2,78	<0,01350	<0,00073	0,00394173	0,00002174	0,00000071	0,00101101	0,00000521	0,00013665	0,00003090	0,00017285	0,00000038
5-feb-14	0,36	<0,01350	<0,00096	0,00441933	0,00006025	0,00000071	0,00002547	0,00000521	0,00011643	0,00003490	0,00032191	0,00000038
6-mar-14	1,25	<0,01350	<0,00097	0,00037476	0,00000261	0,00000071	0,00000165	0,00000521	0,00001210	0,00000264	0,00002263	0,00000038
5-abr-14	0,41	<0,01350	<0,00027	0,00001324	0,00000060	0,00000071	0,00000332	0,00000521	0,00000058	0,00000014	0,00000146	0,00000038
5-may-14	0,65	<0,01350	<0,00124	0,00038912	0,00000413	0,00000071	0,00012893	0,00000521	0,00005832	0,00000291	0,00000797	0,00000038
22-ago-14	0,56	<0,04050	<0,00081	0,00043423	0,00000137	0,00001920	0,00000384	0,00001289	0,00001621	0,00000505	0,00002974	0,00000096
21-sep-14	0,02	<0,04050	<0,00081	0,02685971	0,00026235	0,00001920	0,00111014	0,00002438	0,00040841	0,00009801	0,00021104	0,00003161
21-oct-14	0,03	<0,04050	<0,00081	0,00934945	0,00013300	0,00003089	0,00022697	0,00004480	0,00020607	0,00017330	0,00052138	0,00003077
20-nov-14	0,77	<0,04050	<0,00101	0,00728843	0,00002418	0,00001920	0,00040845	0,00001559	0,00012351	0,00008786	0,00039849	0,00000096
18-dic-14	2,57	<0,04050	<0,00727	0,01945682	0,00004684	0,00001920	0,00447735	0,00002177	0,00028093	0,00011954	0,00127831	0,00001542
17-ene-15	0,47	<0,04050	<0,00081	0,02073213	0,00012798	0,00001920	0,00208828	0,00001289	0,00050621	0,00011008	0,00104333	0,00000096
16-feb-15	2,21	<0,04050	<0,00081	0,00502145	0,00003695	0,00001920	0,00036648	0,00004000	0,00010689	0,00003098	0,00011078	0,00003800
18-mar-15	0,70	<0,04050	<0,00096	0,00938665	0,000030670	0,00001920	0,00113142	0,00002903	0,00019850	0,00004156	0,00054063	0,00002573
17-abr-15	1,55	<0,04050	<0,00088	0,00890908	0,00025980	0,00004832	0,00122286	0,00009291	0,00017546	0,00003425	0,00029356	0,00093886
17-may-15	0,52	<0,04050	<0,00081	0,00473639	0,00004684	0,00001920	0,00005211	0,00001289	0,00007404	0,00000209	0,00020751	0,00000096
16-jun-15	0,57	<0,04050	<0,00081	0,00298343	0,00001766	0,00001920	0,00011683	0,00001289	0,00005361	0,00007501	0,00001751	0,00000096
16-jul-15	0,09	<0,04050	<0,00081	0,00171346	0,00001911	0,00001920	0,00002169	0,00001681	0,00005011	0,00002490	0,00002163	0,00000096
11-sep-15	0,25	<0,04050	<0,00081	0,00097840	0,00007971	0,00001920	0,00010337	0,00001289	0,00022042	0,00004285	0,00018517	0,00000096
11-oct-15	1,16	<0,04050	<0,00081	0,00014210	0,00006970	0,00001920	0,00004707	0,00001289	0,00002930	0,00007173	0,00005943	0,00000096
10-nov-15	1,10	<0,04050	<0,00081	0,01469212	0,00005017	0,00001920	0,00082913	0,00001289	0,00025700	0,00007410	0,00012578	0,00000096
10-dic-15	0,27	<0,00125	<0,00013	0,00002194	0,00000137	0,00001920	0,00001758	0,00001289	0,00000016	0,00001342	0,00000123	0,00000096
12-ene-16	5,43	<4,00000	<2,77000	0,00019529	0,00000137	0,00001920	0,00000384	0,00001289	0,00002208	0,00000036	0,00006838	0,00000096
12-feb-16	0,73	<8,48000	<2,77000	0,00821071	0,00003816	0,00001920	0,00228943	0,00001289	0,00023443	0,00004463	0,00023818	0,00000096
13-mar-16	0,34	<4,23000	<1,37000	0,00853246	0,00031090	0,00000678	0,00103515	0,00001289	0,00014335	0,00002507	0,00010977	0,00000096
12-abr-16	0,68	<2,74000	<1,37000	0,01155872	0,00023042	0,00000192	0,00062684	0,00001289	0,00022199	0,00004678	0,00040292	0,00000096
12-may-16	0,38	<0,00270	<0,00130	0,00120940	0,00002084	0,00001920	0,00004388	0,00001289	0,00003014	0,00000765	0,00000123	0,00000096

Planilla 6: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Hualfín.

III.2 Promedios y desviaciones estándar (DE)

Parámetro	Promedio y DE		
	Amanao	Los Nacimientos	Hualfín
Concentración MP ₁₀ (µg/m ³)	18,5±20,7	31,7±24,1	26,6±25,8
Concentración PTS	52,1±51,9	83,6±71,3	68,9±50,2
PTS (µg/m ³)	Fe	0,05±0,07	0,06±0,09
	Cu	0,004±0,007	0,0023±0,007
	Mo	0,0005±0,001	0,0004±0,0008
	Pb	0,0005±0,0002	0,0006±0,0002
Concentración MPS	1,4±1,6	0,6±0,9	0,82±0,94
MPS (mg/cm ²)	Fe	0,009±0,02	0,009±0,03
	Cu	0,0001±0,0002	0,0006±0,003
	Mo	0,00002±0,00003	0,00003±0,0001
	Pb	0,0004±0,0004	0,0003±0,0004

Tabla 12: Valores promedios y de DE calculados, para las tres estaciones de monitoreo.

III.3 Pruebas de normalidad

Parámetro	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov*		
	Amanao	Los Nacimientos	Hualfín
Concentración MP ₁₀ (µg/m ³)	0,00	0,00	0,00
Concentración PTS	0,00	0,00	0,00
PTS (µg/m ³)	Fe	0,00	0,00
	Cu	0,00	0,00
	Mo	0,00	0,00
	Pb	0,00	0,00
Concentración MPS	0,00	0,00	0,00
MPS (mg/cm ²)	Fe	0,00	0,00
	Cu	0,00	0,00
	Mo	0,00	0,00
	Pb	0,01	0,00

Tabla 13: Valores de de significancia (p) para las tres estaciones de monitoreo.

*Corrección de la significancia de Lilliefors.

III.4 Histogramas de frecuencia

a. Amanao

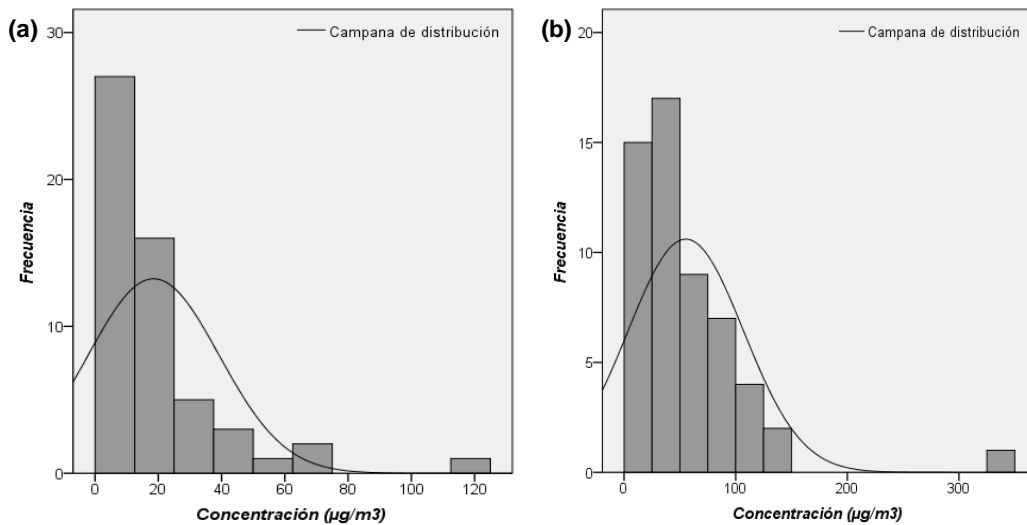


Figura 60: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP₁₀ (a) y PTS (b).

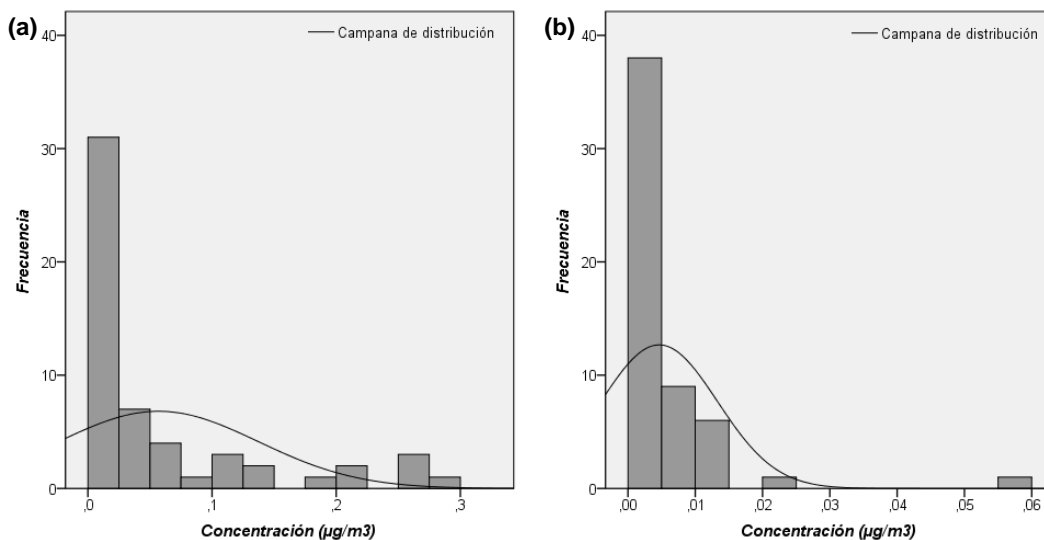


Figura 61: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS.

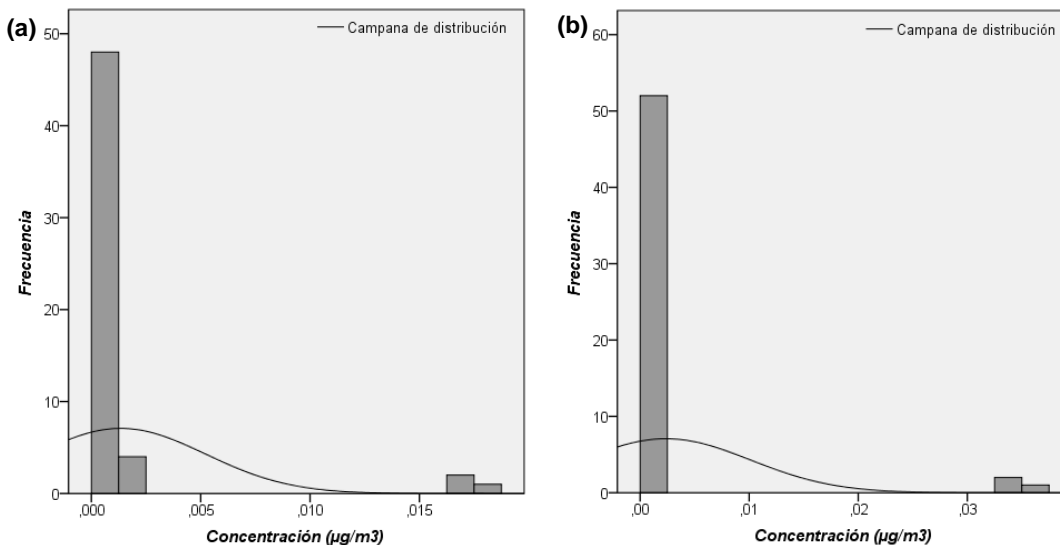


Figura 62: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS.

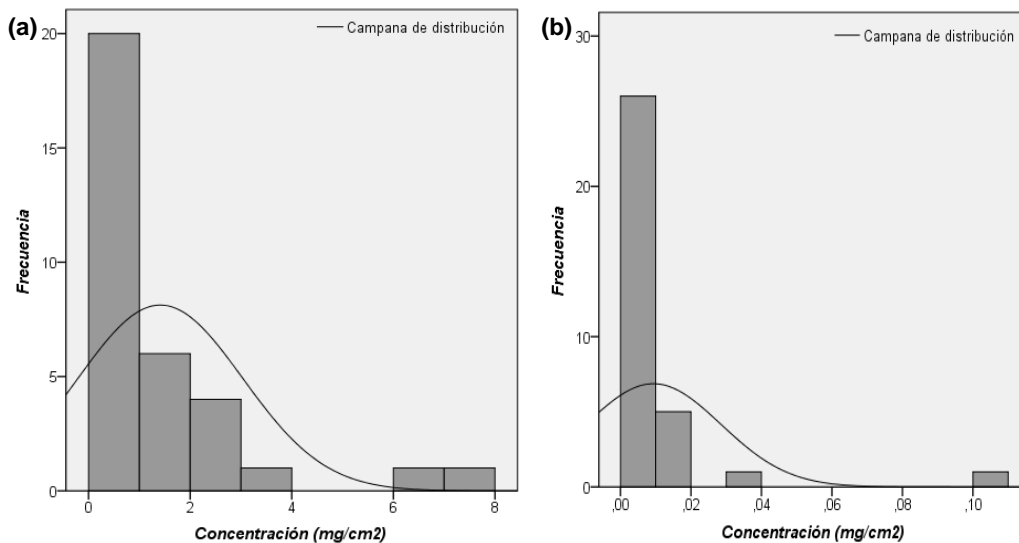


Figura 63: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b).

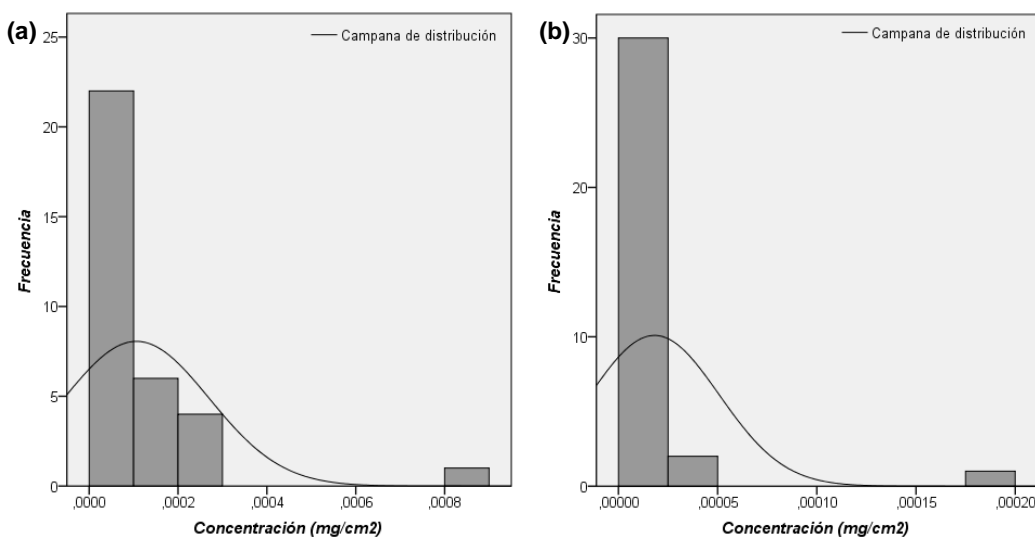


Figura 64: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS.

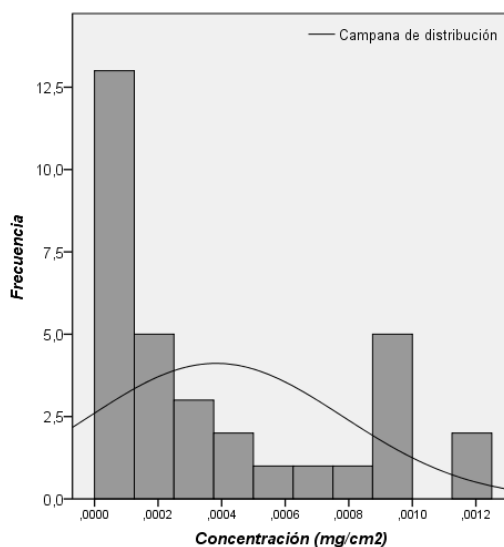


Figura 65: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS.

b. Los Nacimientos

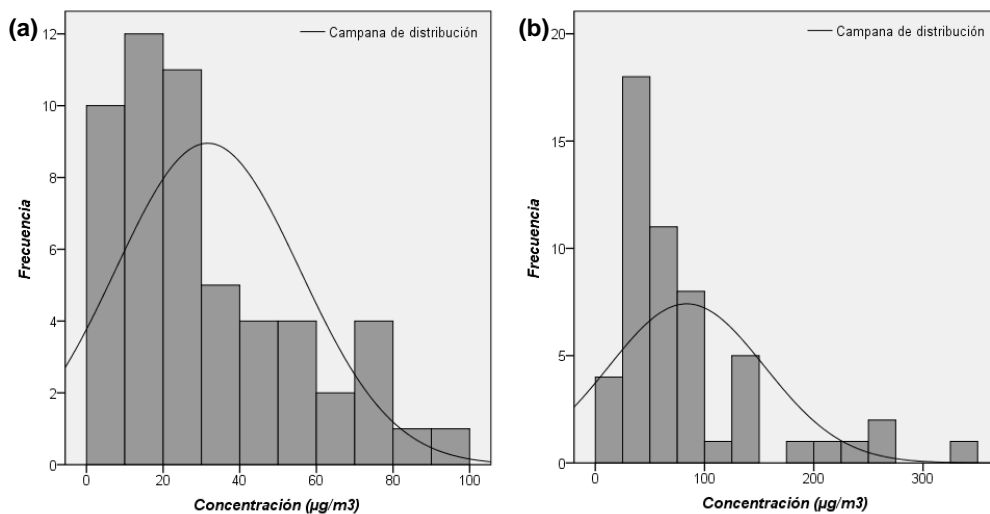


Figura 66: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP₁₀ (a) y PTS (b).

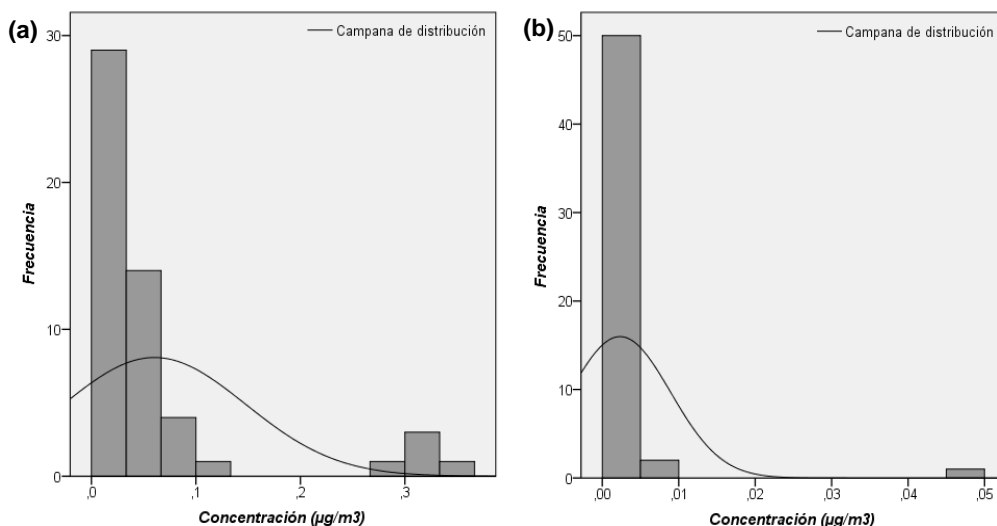


Figura 67: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS.

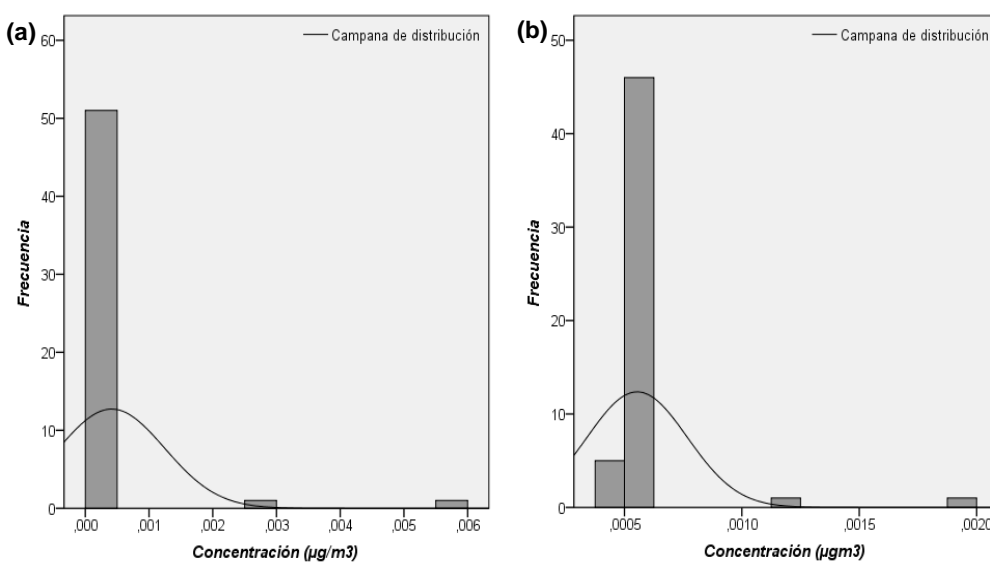


Figura 68: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS.

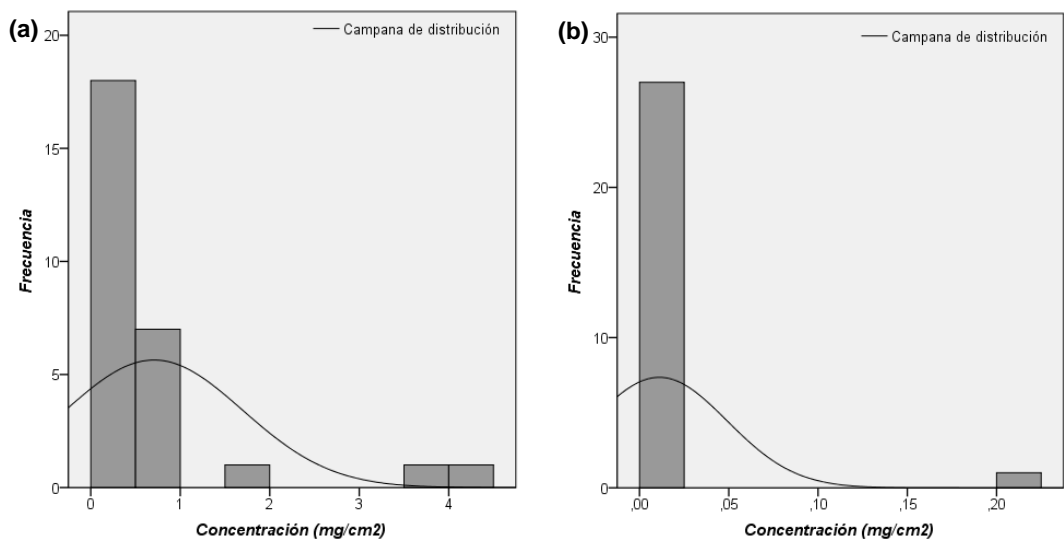


Figura 69: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b).

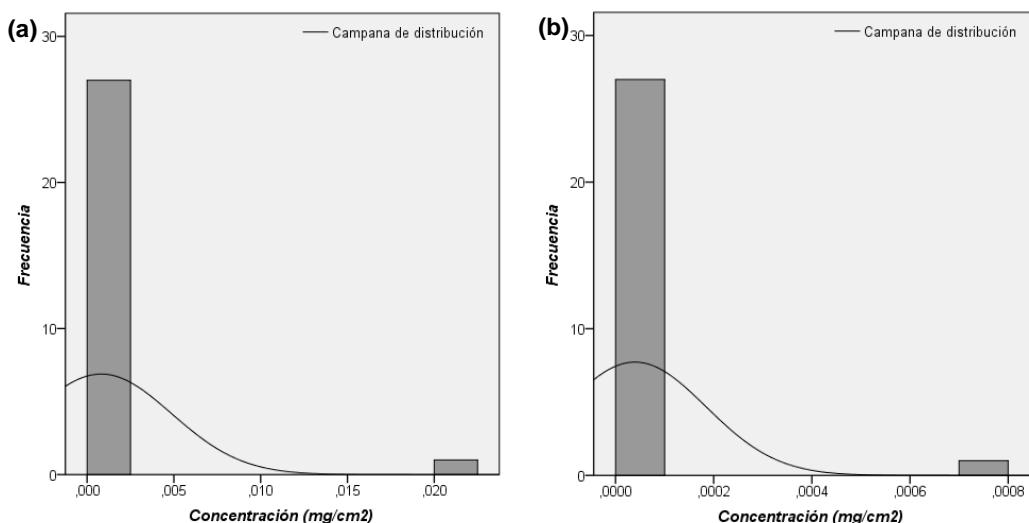


Figura 70: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS.

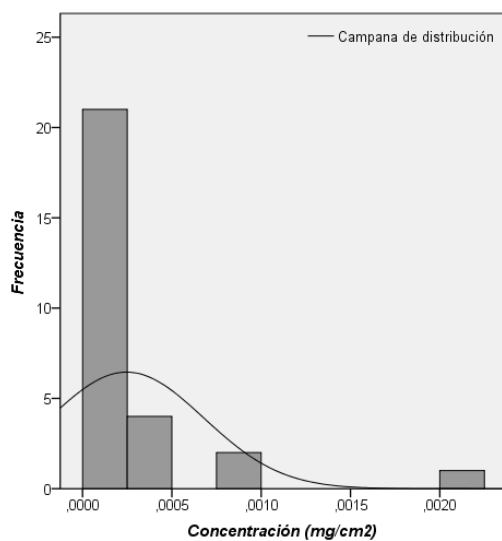


Figura 71: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS.

c. Hualfín

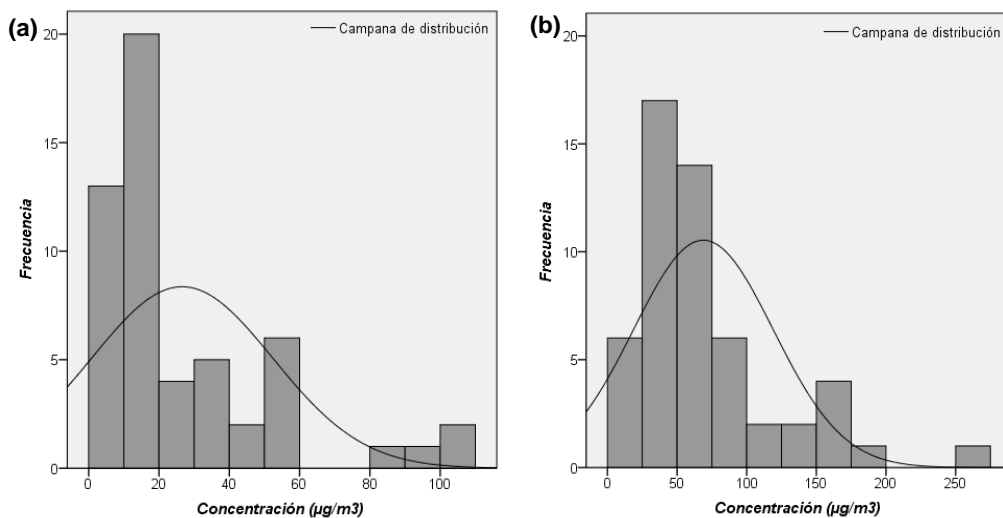


Figura 72: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP₁₀ (a) y PTS (b).

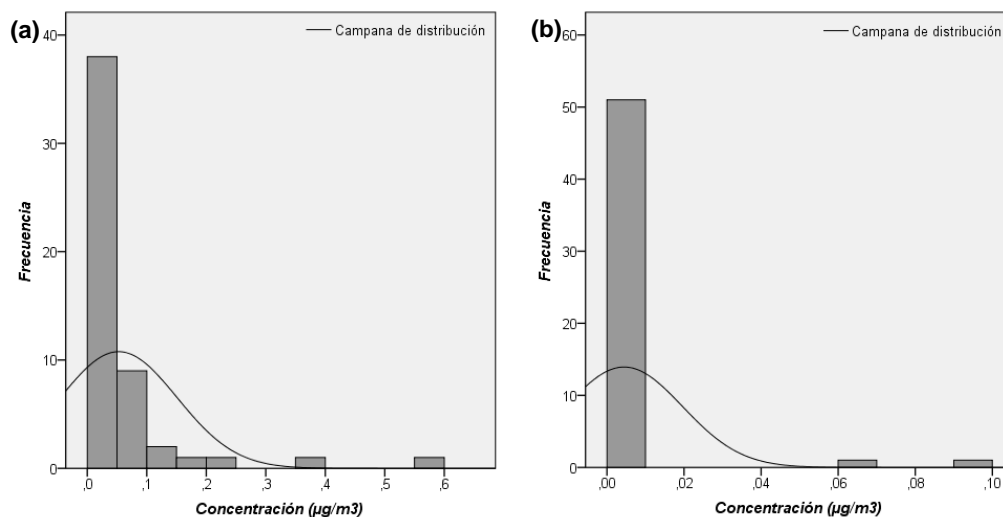


Figura 73: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS.

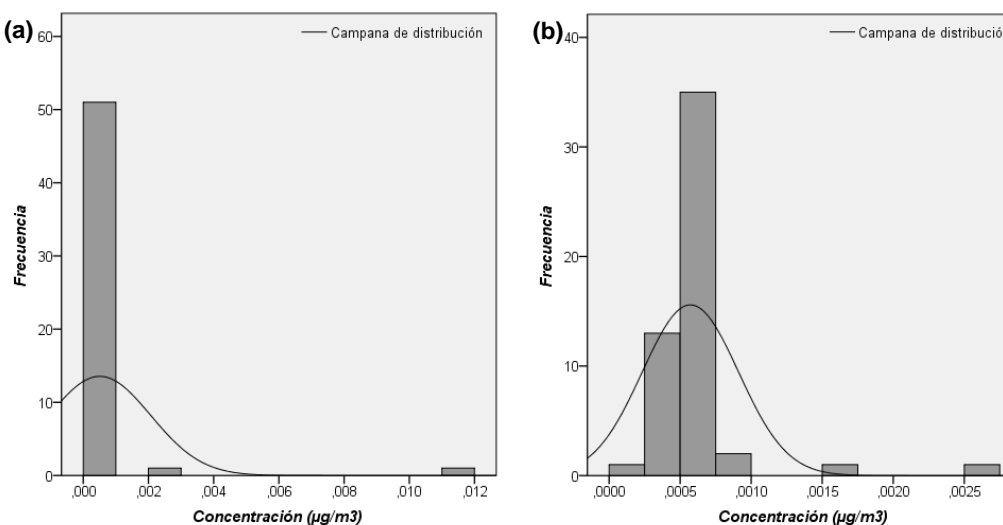


Figura 74: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS.

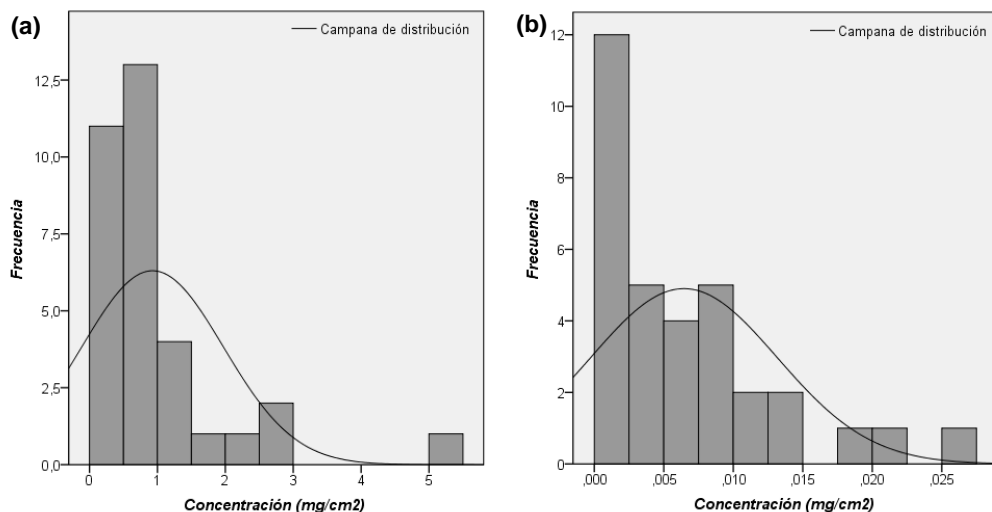


Figura 75: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b).

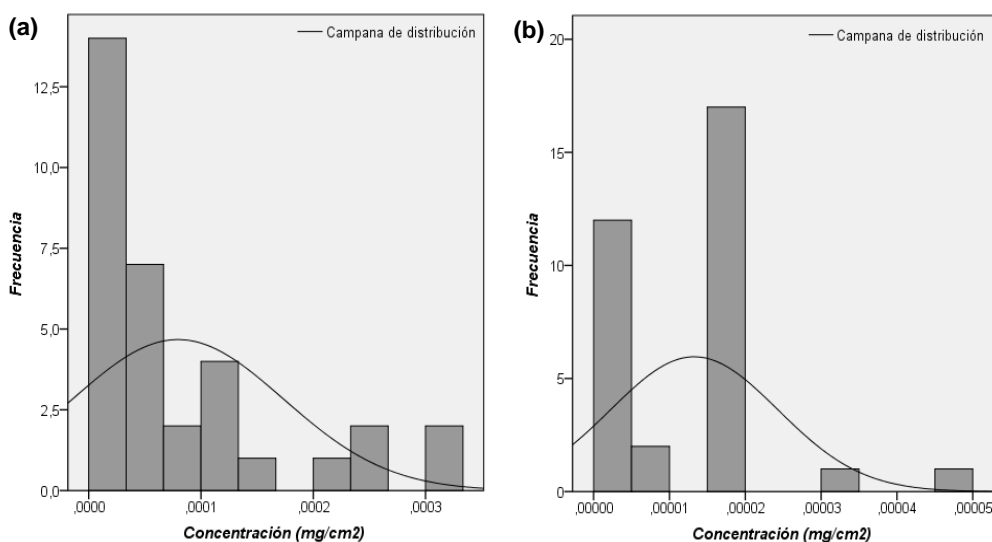


Figura 76: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS.

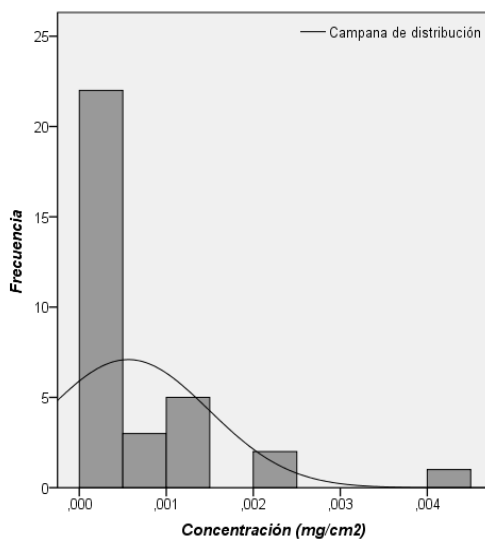


Figura 77: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS.

III.5 Valores de cuartiles – Bisagras de Tukey

a. Amanao

Parámetro	Cuartiles			
	25	50	75	
Concentración MP ₁₀ (µg/m ³)	6,14	12,54	20,2	
Concentración PTS	24,2	33,9	69,1	
PTS (µg/m ³)	Fe	0,0028	0,021	0,052
	Cu	0,00017	0,0013	0,0055
	Mo	0,00023	0,00024	0,00025
	Pb	0,00046	0,00047	0,00049
MPS (mg/cm ²)	Concentración MPS	0,54	0,78	1,9
	Fe	0,0009	0,005	0,009
	Cu	0,000008	0,00006	0,00014
	Mo	0,000004	0,00002	0,00002
	Pb	0,000045	0,0002	0,0006

Tabla 14: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey.

b. Los Nacimientos

Parámetro	Cuartiles			
	25	50	75	
Concentración MP ₁₀ (µg/m ³)	12,02	23,5	48,5	
Concentración PTS	39,9	64,7	84	
PTS (µg/m ³)	Fe	0,01	0,03	0,06
	Cu	0,0002	0,001	0,0003
	Mo	0,00025	0,00026	0,00026
	Pb	0,00051	0,00052	0,00052
MPS (mg/cm ²)	Concentración MPS	0,23	0,42	0,63
	Fe	0,001	0,004	0,005
	Cu	0,00001	0,00004	0,00006
	Mo	0,0000007	0,00002	0,00002
	Pb	0,00002	0,00007	0,0003

Tabla 15: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey.

c. Hualfín

Parámetro	Cuartiles			
	25	50	75	
Concentración MP ₁₀ (µg/m ³)	10,1	15,5	35,3	
Concentración PTS	32,8	54,4	82,2	
PTS (µg/m ³)	Fe	0,005	0,02	0,06
	Cu	0,0002	0,0009	0,003
	Mo	0,00025	0,00025	0,00026
	Pb	0,00049	0,00051	0,00052
MPS (mg/cm ²)	Concentración MPS	0,38	0,63	1,1
	Fe	0,0009	0,005	0,009
	Cu	0,00002	0,00004	0,0001

Mo	0,000002	0,00002	0,00002
Pb	0,00003	0,0001	0,0008

Tabla 16: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey para Hualfín.

III.6 Concentraciones de metales en sedimentos

Fecha de muestreo	Cobre (mg/Kg MS)	Hierro (mg/Kg MS)	Plomo (mg/Kg MS)	Manganeso (mg/Kg MS)	Estroncio (mg/Kg MS)	Arsénico (mg/Kg MS)	Zinc (mg/Kg MS)
05/09/2013	24,11	24814,21	6,3	526,50	127,55	<2,3	69,59
05/09/2013	28,27	24303,4	5,3	496,071	93,76	<2,3	81,54
05/09/2013	42,14	21201,0	6,0	438,76	127,35	<2,3	57,56
27/11/2013	31,43	21503,05	7,81	482,99	139,21	4,25	69,62
27/11/2013	31,25	17869,00	6,97	391,28	86,07	2,66	72,62
27/11/2013	51,51	20729,33	10,29	442,30	150,79	3,79	71,92
20/02/2014	30,18	21393,20	8,10	580,17	154,76	<2.3	64,92
20/02/2014	27,46	22739,90	8,30	526,17	109,57	<2.3	79,91
20/02/2014	20,10	16779,40	5,20	401,50	92,61	<2.3	53,57
15/05/2014	25,37	22565,50	7,40	649,41	130,17	<2.3	69,20
15/05/2014	23,65	20327,50	7,20	544,99	73,49	<2.3	79,70
15/05/2014	23,83	18558,20	7,00	428,07	105,36	<2.3	55,45

Planilla 7: Concentraciones de metales en sedimentos para Amanao.

Fecha de muestreo	Cobre (mg/Kg MS)	Hierro (mg/Kg MS)	Plomo (mg/Kg MS)	Manganeso (mg/Kg MS)	Estroncio (mg/Kg MS)	Arsénico (mg/Kg MS)	Zinc (mg/Kg MS)
02/09/2013	21,85	25291,20	6,10	429,50	89,44	<2,3	54,73
02/09/2013	21,66	27088,30	4,40	437,17	94,31	<2,3	54,64
02/09/2013	21,59	24777,20	5,30	477,39	99,72	<2,3	58,40
26/11/2013	32,23	28461,45	9,96	494,15	99,60	<2.3	65,70
26/11/2013	20,15	18190,46	4,77	308,26	65,82	<2.3	38,88
26/11/2013	28,91	23494,29	8,57	487,00	116,11	4,39	60,84
17/02/2014	20,47	12362,70	6,00	296,17	49,88	<2.3	30,36
17/02/2014	24,14	17655,30	7,00	358,52	117,28	<2.3	41,44
17/02/2014	17,81	15827,70	4,10	391,95	87,35	<2.3	42,15
12/05/2014	14,57	13135,10	5,60	339,94	56,74	<2.3	31,97
12/05/2014	15,26	14962,80	5,00	319,65	68,16	<2.3	34,56
12/05/2014	15,53	17353,10	6,10	425,06	73,38	<2.3	40,35

Planilla 8: Concentraciones de metales en sedimentos para Los Nacimientos.

Fecha de muestreo	Cobre (mg/Kg MS)	Hierro (mg/Kg MS)	Plomo (mg/Kg MS)	Manganeso (mg/Kg MS)	Estroncio (mg/Kg MS)	Arsénico (mg/Kg MS)	Zinc (mg/Kg MS)
02/09/2013	7,33	12769,0	1,2	220,26	60,80	<2,3	30,1
02/09/2013	19,32	22047,40	3,50	374,81	118,50	<2,3	47,88
02/09/2013	15,25	20141,00	3,60	406,35	111,75	<2,3	48,54
26/11/2013	18,30	19412,99	4,89	350,73	110,30	<2.3	45,69
26/11/2013	20,67	17856,93	5,63	321,82	100,09	<2.3	42,81
26/11/2013	28,43	21140,77	7,01	429,08	129,19	3,30	58,52
17/02/2014	13,26	14828,82	3,34	261,94	69,88	<2.3	30,02
17/02/2014	11,52	16156,60	3,20	339,17	93,11	<2.3	35,33
17/02/2014	18,51	15589,20	4,50	398,00	104,74	<2.3	45,17
12/05/2014	7,75	8644,40	2,80	183,51	35,75	<2.3	18,20
12/05/2014	11,59	15001,90	4,60	347,14	85,98	<2.3	32,99
12/05/2014	14,61	18050,40	5,60	409,22	88,58	<2.3	43,20

Planilla 9: Concentraciones de metales en sedimentos para Hualfín.

III.7 Rosas de vientos anuales obtenidas por CorpLab para cada estación de monitoreo

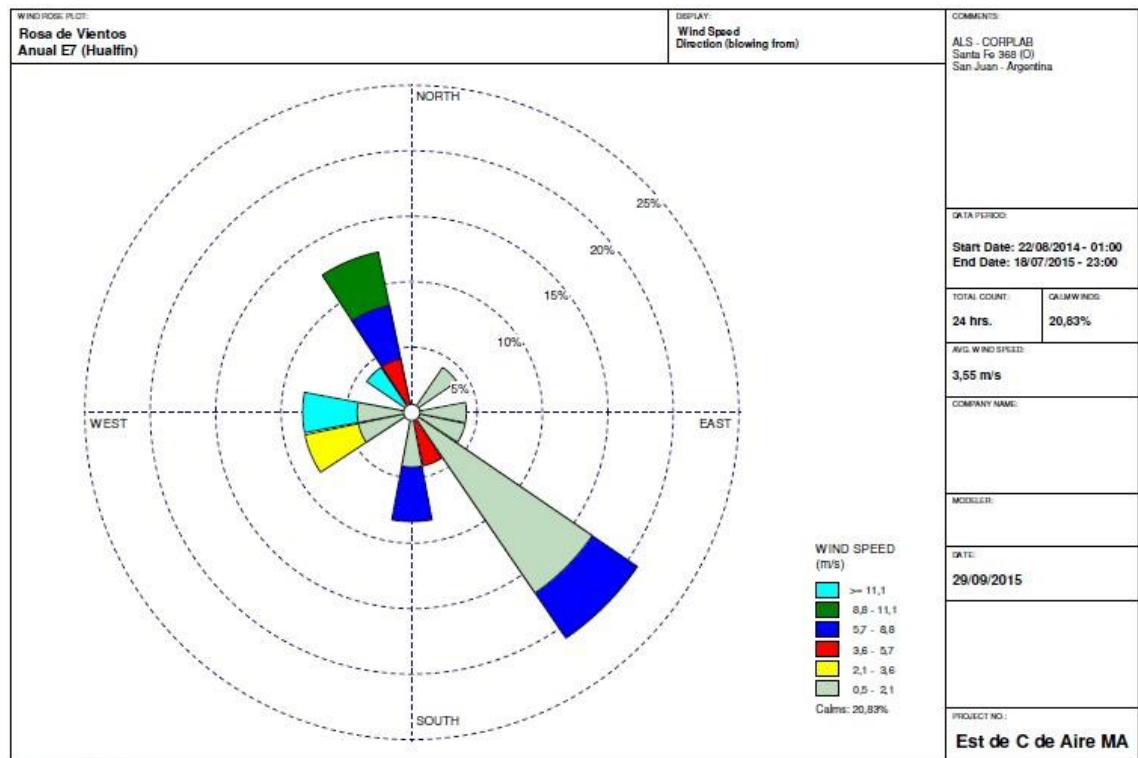


Figura 78: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Hualfín, periodo 2014-2015.

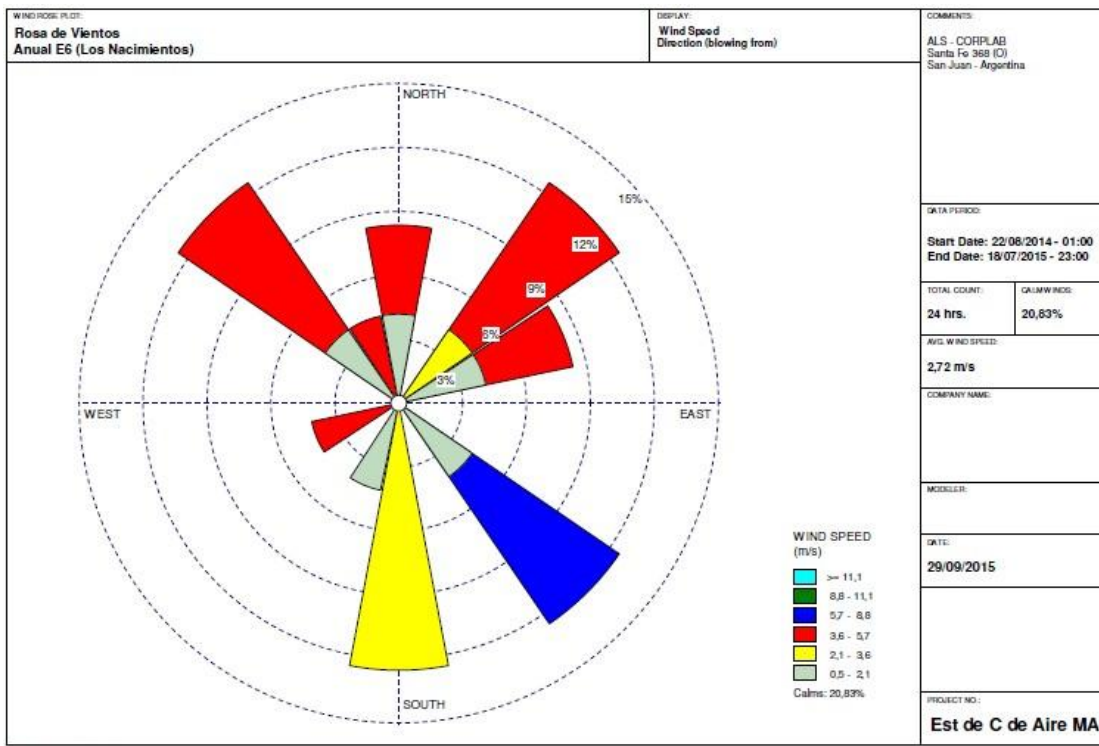


Figura 79: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Los Nacimientos, periodo 2014-2015.

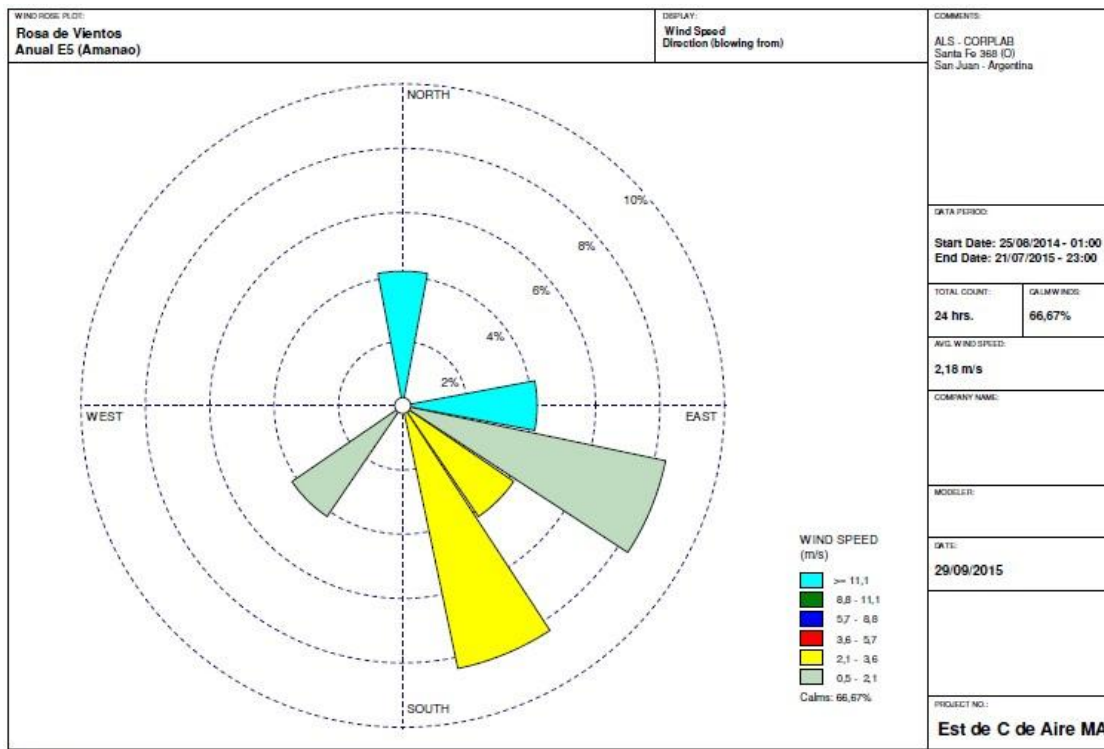


Figura 80: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Amanao, periodo 2014-2015.

III.8 Vectores para vientos

Valores "in" (de rosa de vientos)				Rumbo "out" (±180°)	Valores "in" (de rosa de vientos)				Rumbo "out" (±180°)
Rumbo "in"	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Vector		Rumbo "in"	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Vector	
Estación Dique de MMA					Estación Agua Rica				
N	0,9	11,1	9,99	S	N	11	2,1	23,1	S
NNE	0,6	11,1	6,66	SSO	NNW	75	2,1	157,5	SSO
NE	1,8	11,1	19,98	SO	NE	0	2,1	0	SO
ENE	1,4	11,1	15,54	OSO	ENE	0	2,1	0	OSO
E	3,2	11,1	35,52	O	E	0	2,1	0	O
ESE	6,5	11,1	72,15	ONO	ESE	10	2,1	21	ONO
SE	27	11,1	299,7	NO	SE	0	2,1	0	NO
SSE	21	11,1	233,1	NNO	SSE	0	2,1	0	NNO
S	5,2	11,1	57,72	N	S	0	2,1	0	N
SSO	2,8	11,1	31,08	NNE	SSO	0	2,1	0	NNW
SO	2,7	11,1	29,97	NE	SO	0	2,1	0	NE
OSO	2,9	11,1	32,19	ENE	OSO	0	2,1	0	ENE
O	4,2	11,1	46,62	E	O	0	2,1	0	E
ONO	9,4	11,1	104,34	ESE	ONO	0	2,1	0	ESE
NO	8,3	11,1	92,13	SE	NO	0	2,1	0	SE
NNO	1,9	11,1	21,09	SSE	NNO	0	2,1	0	SSE
Estación Ciudad de Andalgalá					Estación Amanao				
N	11	2,1	23,1	S	N	0	0,5	0	S
NNE	75	2,1	157,5	SSO	NNE	0	0,5	0	SSO
NE	0	2,1	0	SO	NE	0	0,5	0	SO
ENE	13	2,1	27,3	OSO	ENE	0	0,5	0	OSO
E	0	2,1	0	O	E	0	0,5	0	O
ESE	0	2,1	0	ONO	ESE	8,4	0,5	4,2	ONO
SE	0	2,1	0	NO	SE	4,2	2,1	8,82	NO
SSE	0	2,1	0	NNO	SSE	8,2	2,1	17,22	NNO
S	0	2,1	0	N	S	0	0,5	0	N
SSO	0	2,1	0	NNE	SSO	0	0,5	0	NNE
SO	0	2,1	0	NE	SO	4,2	0,5	2,1	NE
OSO	0	2,1	0	ENE	OSO	0	0,5	0	ENE
O	0	2,1	0	E	O	0	0,5	0	E
ONO	0	2,1	0	ESE	ONO	0	0,5	0	ESE
NO	0	2,1	0	SE	NO	0	0,5	0	SE
NNO	0	2,1	0	SSE	NNO	0	0,5	0	SSE
Estación Los Nacimientos					Estación Hualfin				
N	8	3,6	28,8	S	N	0	0,5	0	S
NNE	0	3,6	0	SSO	NNE	0	0,5	0	SSO
NE	12,5	3,6	45	SO	NE	4	0,5	2	SO
ENE	8	3,6	28,8	OSO	ENE	4	0,5	2	OSO
E	0	3,6	0	O	E	4	0,5	2	O
ESE	0	3,6	0	ONO	ESE	4	0,5	2	ONO
SE	0	3,6	0	NO	SE	17	0,5	8,5	NO
SSE	0	3,6	0	NNO	SSE	0	0,5	0	NNO
S	0	3,6	0	N	S	4	0,5	2	N
SSO	0	3,6	0	NNE	SSO	0	0,5	0	NNE
SO	0	3,6	0	NE	SO	0	0,5	0	NE
OSO	4,5	3,6	16,2	ENE	OSO	4	0,5	2	ENE
O	0	3,6	0	E	O	4	0,5	2	E
ONO	0	3,6	0	ESE	ONO	0	0,5	0	ESE
NO	12,5	3,6	45	SE	NO	0	0,5	0	SE
NNO	4,5	3,6	16,2	SSE	NNO	0	0,5	0	SSE

Planilla 10: Cálculo de vectores mediante velocidades y frecuencias principales de vientos, para cada estación meteorológica.

Valores "in" (de rosa de vientos)				Rumbo "out" (±180°)	Valores "in" (de rosa de vientos)				Rumbo "out" (±180°)
Rumbo "in"	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Vector		Rumbo "in"	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Vector	
Estación Aeropuerto de MMA					Estación YMAD - Farallón Negro				
N	3	11,1	33,3	S	N	0,5	0,5	0,25	S
NNE	7,5	11,1	83,25	SSO	NNE	1,7	0,5	0,85	SSO
NE	22	11,1	244,2	SO	NE	1,9	0,5	0,95	SO
ENE	3,5	11,1	38,85	OSO	ENE	1,2	0,5	0,6	OSO
E	1	11,1	11,1	O	E	1	0,5	0,5	O
ESE	1	11,1	11,1	ONO	ESE	1,1	0,5	0,55	ONO
SE	1	11,1	11,1	NO	SE	2,8	0,5	1,4	NO
SSE	1	11,1	11,1	NNO	SSE	3,8	0,5	1,9	NNO
S	1	11,1	11,1	N	S	3	0,5	1,5	N
SSO	4	11,1	44,4	NNE	SSO	1,9	0,5	0,95	NNE
SO	34	11,1	377,4	NE	SO	1,2	0,5	0,6	NE
OSO	10	11,1	111	ENE	OSO	1	0,5	0,5	ENE
O	3	11,1	33,3	E	O	0,5	0,5	0,25	E
ONO	1	11,1	11,1	ESE	ONO	0,25	0,5	0,125	ESE
NO	1	11,1	11,1	SE	NO	0,3	0,5	0,15	SE
NNO	1	11,1	11,1	SSE	NNO	0,35	0,5	0,175	SSE

Planilla 11: (continuación) Cálculo de vectores mediante velocidades y frecuencias principales de vientos, para cada estación meteorológica.

ANEXO CARTOGRÁFICO

Este anexo contiene la cartografía elaborada en este estudio, en el siguiente orden:

- 1) Mapa geológico general
- 2) Mapa geológico de Hualfín
- 3) Mapa geológico de Los Nacimientos
- 4) Mapa geológico de Amanao
- 5) Mapa geomorfológico y de usos del suelo Hualfín
- 6) Mapa geomorfológico y de usos del suelo de Los Nacimientos
- 7) Mapa geomorfológico y de usos del suelo de Amanao
- 8) Relación geología y dirección/intensidad de vientos

ANEXO NORMATIVO

A continuación se adjuntan todo el material de sustento mencionado el Marco normativo y metodología, en el siguiente orden:

- 1) Resolución SEM N°065/07.
- 2) Resolución SEM N°119/10.
- 3) Programa de Control Ambiental de MAA (versión 03, revisión 01), para el periodo 2012-2014.
- 4) Resolución SEM N°1376/13, de aprobación del PCA (versión 03-revisión 01).
- 5) Programa de Control Ambiental de MAA (versión 04), para el periodo 2016-2018.
- 6) Resolución SEM N°246/2017, de aprobación del PCA (versión 04)*.
- 7) Certificaciones del laboratorio.

*En el año 2015, se trabajó dentro de la misma resolución aprobada para el periodo 2012-2014 (SEM 1376/13), debido a que se esperaba la evaluación y aprobación por parte de la Autoridad de aplicación referidas a modificaciones en la frecuencia de monitoreo; por lo que no se presentó un nuevo PCA pero se continuaron con las mediciones. Dicha aprobación, se concretó recién en el 2016.

TABLA DE CONTENIDO

FIGURAS

Figura 1: Ubicación de los sitios de monitoreo en áreas circundantes al Complejo Farallón Negro, Catamarca.-----	9
Figura 2: Localidad de Hualfín, Dpto. Belén, Catamarca.-----	10
Figura 3: Localidad de Los Nacimientos, Dpto. Belén, Catamarca.-----	10
Figura 4: Localidad de Amanao, Dpto. Andalgalá, Catamarca.-----	10
Figura 5: Vía de acceso a las localidades de Hualfín y Los Nacimientos (Dpto. Belén), desde la ciudad de S.F.V de Catamarca.-----	11
Figura 6: Vía de acceso a la localidad de Amanao (Dpto. Andalgalá), desde la ciudad de S.F.V de Catamarca.-----	11
Figura 7: Guías de calidad de aire para MP ₁₀ y MP _{2,5} , propuestos por la OMS.-----	14
Figura 8: Estándares de calidad de aire propuestos en la Ley 20.284 – Anexo II.-----	15
Figura 9: Métodos de muestreo y análisis para medición de calidad de aire, propuestos en la Ley 20.284 – Anexo II.-----	16
Figura 10: Niveles guía de Calidad de aire (Ley 24.585) - Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera.-----	16
Figura 11: Niveles guía de Calidad de suelos (Ley 24.585) - Marco Jurídico Ambiental para la Actividad Minera.-----	17
Figura 12: Campanas de distribución normal y no normal.-----	31
Figura 13: Mapa de ecorregiones de la Provincia de Catamarca (Fuente: https://issuu.com/dajuliani/docs/regionalizaci_n_socio_productiva).-----	34
Figura 14: Mapa de climas de la Provincia de Catamarca (Fuente: https://geografadidctica.wordpress.com/category/ecorregiones-de-la-argentina/).-----	35
Figura 15: Mapa de provincias geológicas de Catamarca (Fuente: Argerich, 1976).-----	39
Figura 16: Sección estructural representativa de las Sierras Pampeanas en Catamarca (González Bonorino, 1950).-----	39
Figura 17: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Hualfín.-----	45
Figura 18: Área de Hualfín mostrando el perfil topográfico (Google Earth).-----	46
Figura 19: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Los Nacimientos.-----	47
Figura 20: Área de Los Nacimientos mostrando el perfil topográfico (Google Earth).-----	47
Figura 21: Elevación del terreno con Google Earth para el área de Amanao.-----	48
Figura 22: Área de Amanao mostrando perfil topográfico (Google Earth).-----	48
Figura 23: Concentraciones de MP ₁₀ , NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	51
Figura 24: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	51
Figura 25: Concentraciones de Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016.-----	52
Figura 26: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).-----	52
Figura 27: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	53
Figura 28: Concentración de Fe, Cu, Mo y Pb en MPS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).-----	53
Figura 29: Concentraciones de MP ₁₀ , NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	54
Figura 30: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	55
Figura 31: Concentraciones Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016.-----	55
Figura 32: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).-----	56
Figura 33: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	56
Figura 34: Concentraciones de Fe, Cu, Mo y Pb en MPS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica).-----	57
Figura 35: Concentraciones de MP ₁₀ , NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	58

Figura 36: Concentraciones de PTS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016. -----	58
Figura 37: Concentraciones de Fe en PTS y NR calculado, para el periodo 2013-2016. -----	59
Figura 38: Concentraciones de Cu, Mo y Pb en PTS, NR calculados y NG, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica). -----	59
Figura 39: Concentraciones de MPS, NR calculado y NG, para el periodo 2013-2016.-----	60
Figura 40: Concentraciones de Fe, Cu, Mo y Pb en PTS y NR calculados, para el periodo 2013-2016 (escala logarítmica). -----	60
Figura 41: Promedios de la concentración de metales en sedimentos para el periodo 2013-2014. ----	61
Figura 42: Promedio de la concentración de hierro en sedimentos para el periodo 2013-2014. -----	62
Figura 43: Histograma de precipitaciones mensuales para las estaciones de MAA, en el periodo 2013- 2016.-----	62
Figura 44: Porcentaje mensual de humedades relativas para el periodo 2013-2016. -----	63
Figura 45: Rosa de vientos para la estación meteorológica Aeropuerto de MAA. -----	64
Figura 46: Rosa de vientos para la estación meteorológica Dique de MAA. -----	64
Figura 47: Rosa de vientos para la estación meteorológica de Agua Rica en Andalgalá. -----	65
Figura 48: Rosa de vientos para la estación meteorológica en YMAD – Farallón Negro.-----	66
Figura 49: Rosa de vientos para la estación meteorológica en Minera Agua Rica.-----	67
Figura 50: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Hualfín.-----	69
Figura 51: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Hualfín.-----	69
Figura 52: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Los Nacimientos. -----	70
Figura 53: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Los Nacimientos. -----	70
Figura 54: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con las variables precipitación y humedad, para la estación de Amanao. -----	71
Figura 55: Comparación entre los parámetros de calidad de aire con velocidad de vientos máximos, para la estación de Amanao. -----	71
Figura 56: Rosas de vientos de la estaciones de Hualfín y Aeropuerto de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano. -----	72
Figura 57: Rosas de vientos de las estaciones de Los Nacimientos y Aeropuerto de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano. -----	73
Figura 58: Rosas de vientos de las estaciones de Amanao y Dique de MAA, a la izquierda las medidas en invierno y a la derecha las de verano. -----	73
Figura 59: Comparación entre valores obtenidos por SEGEMAR y NR calculados para las MP ₁₀ . ----	74
Figura 60: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP ₁₀ (a) y PTS (b).-----	92
Figura 61: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS.-----	92
Figura 62: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS. -----	92
Figura 63: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b). -----	93
Figura 64: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS. -----	93
Figura 65: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS.-----	93
Figura 66: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP ₁₀ (a) y PTS (b). -----	94
Figura 67: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS. -----	94
Figura 68: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS. -----	94
Figura 69: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b). -----	95
Figura 70: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS. -----	95
Figura 71: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS.-----	95
Figura 72: Histograma de frecuencia para concentraciones de MP ₁₀ (a) y PTS (b).-----	96
Figura 73: Histograma de frecuencia para concentraciones de Fe (a) y Cu (b) en PTS.-----	96
Figura 74: Histograma de frecuencia para concentraciones de Mo (a) y Pb (b) en PTS. -----	96

Figura 75: Histograma de frecuencia para concentraciones de MPS (a) y Fe en MPS (b). -----	97
Figura 76: Histograma de frecuencia para concentraciones de Cu (a) y Mo (b) en MPS. -----	97
Figura 77: Histograma de frecuencia para concentraciones de Pb en MPS. -----	97
Figura 78: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Hualfín, periodo 2014-2015. -----	100
Figura 79: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Los Nacimientos, periodo 2014-2015. -----	101
Figura 80: Rosa de vientos para la estación de monitoreo de Amanao, periodo 2014-2015. -----	101

TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los vértices del área de estudio y áreas de detalle. -----	9
Tabla 2: Estándares de calidad de aire ambiental, establecidos por la USEPA. -----	14
Tabla 3: Concentraciones obtenidas de MP_{10} para 24 horas. -----	20
Tabla 4: Parámetros medidos por Corplab, con sus respectivas unidades. -----	27
Tabla 5: Metales analizados por el método EPA 6010C, expresados en mg/Kg MS. -----	28
Tabla 6: Datos meteorológicos brindados por las diferentes empresas mineras. -----	29
Tabla 7: Variables seleccionadas. -----	31
Tabla 8: Valores de NR obtenidos para las tres estaciones de estudio con sus NG según normativa vigente. -----	49
Tabla 9: (continuación) Valores de NR obtenidos para las tres estaciones de estudio con sus NG según normativa vigente. -----	50
Tabla 10: Valores promedios obtenidos en el periodo 2013-2014 con sus NG según Ley 24.585. ----	61
Tabla 11: Niveles de referencia obtenidos para cada estación de monitoreo. -----	75
Tabla 12: Valores promedios y de DE calculados, para las tres estaciones de monitoreo. -----	91
Tabla 13: Valores de de significancia (p) para las tres estaciones de monitoreo. -----	91
Tabla 14: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey. -----	98
Tabla 15: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey. -----	98
Tabla 16: Valores de los cuartiles según método de Bisagras de Tukey para Hualfín. -----	99

PLANILLAS

Planilla 1: Concentraciones de MP_{10} y PTS (son sus correspondientes metales) para Amanao. -----	85
Planilla 2: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Amanao. -----	86
Planilla 3: Concentraciones de MP_{10} y PTS (son sus correspondientes metales) para Los Nacimientos. -----	87
Planilla 4: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Los Nacimientos. ----	88
Planilla 5: Concentraciones de MP_{10} y PTS (son sus correspondientes metales) para Hualfín. -----	89
Planilla 6: Concentraciones de MPS (son sus correspondientes metales) para Hualfín. -----	90
Planilla 7: Concentraciones de metales en sedimentos para Amanao. -----	99
Planilla 8: Concentraciones de metales en sedimentos para Los Nacimientos. -----	99
Planilla 9: Concentraciones de metales en sedimentos para Hualfín. -----	100
Planilla 10: Cálculo de vectores mediante velocidades y frecuencias principales de vientos, para cada estación meteorológica. -----	102
Planilla 11: (continuación) Cálculo de vectores mediante velocidades y frecuencias principales de vientos, para cada estación meteorológica. -----	103

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Equipo de medición de MP_{10} colocados por CyMA (subcontratada de MAA) en la estación de Hualfín. -----	26
Fotografía 2: Equipo de medición de PTS colocados por CyMA en la estación Amanao. -----	26
Fotografía 3: Recolector de MPS y estación meteorológica colocadas por CyMA en la estación Hualfín. -----	27
Fotografía 4: Toma de muestras de sedimentos por la empresa Corplab. -----	28