

INFORME DE COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MP10 Y
ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN SECTOR HOTEL MINA Y CUNCUMÉN
ESTACIONES DISCRETAS
PERÍODO ENERO 2010 – AGOSTO 2021

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Francisco Flores del Villar	Marcos Yáñez	Marcos Yáñez
Profesional de Apoyo	Administrador de Contrato	Administrador de Contrato
		
Fecha de Emisión: 31/08/2021		

ÍNDICE

1.- RESUMEN EJECUTIVO	3
2.- INTRODUCCIÓN.....	4
3.- OBJETIVO	4
4.- ANTECEDENTES	5
5.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
7.- CONCLUSIONES.....	35

1.- RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe, se realiza una comparación y análisis estadístico de los resultados de Material Particulado Respirable (MP10) de las estaciones de Minera Los Pelambres (MLP) discreta Cuncumén, con respecto a mediciones registradas en estación MLP discreta Hotel Mina, correspondiente al **Período 01 de enero de 2010 al 13 de agosto de 2021**.

De la ejecución del análisis estadístico y su comparación con los límites del D.S. N° 59/98 Norma de Calidad Primaria para MP10, se concluye:

- Para la estación Hotel Mina, el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas entre el periodo 2010 al 2020, cumple con la norma primaria con valores bajo los 150 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$. Para dicha estación, de acuerdo con la norma primaria anual de calidad de aire, calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos, entre los años evaluados 2010 al 2020, se cumple en su totalidad con el D.S. N° 59, esto es, menor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- Para la estación Cuncumén, el percentil 98 de las concentraciones diarias registradas durante el periodo 2010 – 2020, se encontró entre 29 y 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, por lo tanto, se cumple con la norma establecida en el D.S. N° 59 (menor a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$). Respecto a la concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos de los periodos evaluados entre el 2010 y 2020, también se cumple en su totalidad con el D.S. N° 59, esto es, menor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Para comparar la relación entre las concentraciones registradas en Hotel Mina y Cuncumén se efectuó análisis de correlación R^2 y Pearson. Los resultados del Coeficiente de correlación según Pearson indican que es del tipo positiva débil.

2.- INTRODUCCIÓN

En el presente informe, se realiza una comparación y análisis estadístico de los resultados de Material Particulado Respirable (MP10), correspondiente al Período 01 de enero de 2010 al 13 de agosto de 2021, de la estación de Calidad del Aire de Cuncumén con respecto a mediciones de Estación Hotel Mina. Lo anterior, para dar cumplimiento requerimiento de la Superintendencia de Medio Ambiente, según Acta de Inspección Ambiental del 12 de agosto del 2021.

La frecuencia de muestreo de MLP es cada tres días por un período continuo de 24 horas. Las actividades de muestreo en terreno, análisis (gravimetría de filtros) y procesamiento de información son realizadas por personal de SGS Chile Ltda.

3.- OBJETIVO

El objetivo principal del presente informe es entregar una comparación del comportamiento de MP10 y un análisis estadístico en sector Hotel Mina y en Cuncumén, medida en estaciones de registro discreto (High-Vol) durante el periodo 01 de enero 2010 al 13 de agosto 2021.

4.- ANTECEDENTES

Las estaciones de monitoreo de Cuncumén y Hotel Mina, se ubican en la región de Coquimbo, comuna de Salamanca.

La distancia entre ambas estaciones es de 25 km aproximadamente a una diferencia de cota de 2.100 m aproximadamente.

	DISTANCIA Aprox.	DIF. COTA Aprox.
Mina - Cuncumén	25 km	2.100 m



5.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.- ESTACIONES DE MONITOREO

En la **Tabla 1** se individualizan las estaciones de monitoreo de la componente calidad del aire de interés, y en la **Imagen Satelital 1** se presenta su ubicación.

Tabla 1. Estaciones de monitoreo Componente Calidad del Aire

Estación	Coordenadas UTM Datum WGS 84 19S	
	N (m)	E (m)
Hotel Mina	6.482.533	354.623
Cuncumén	6.469.906	346.463



Imagen Satelital 1. Ubicación de Estaciones de monitoreo de MP10, Estaciones MLP: Hotel Mina y Cuncumén.

5.2.- Estación Hotel Mina

En las imágenes que siguen, se ilustra primero, la infraestructura y equipamiento y luego la ubicación espacial de la estación.



Fotografía 1. Estación Hotel Mina

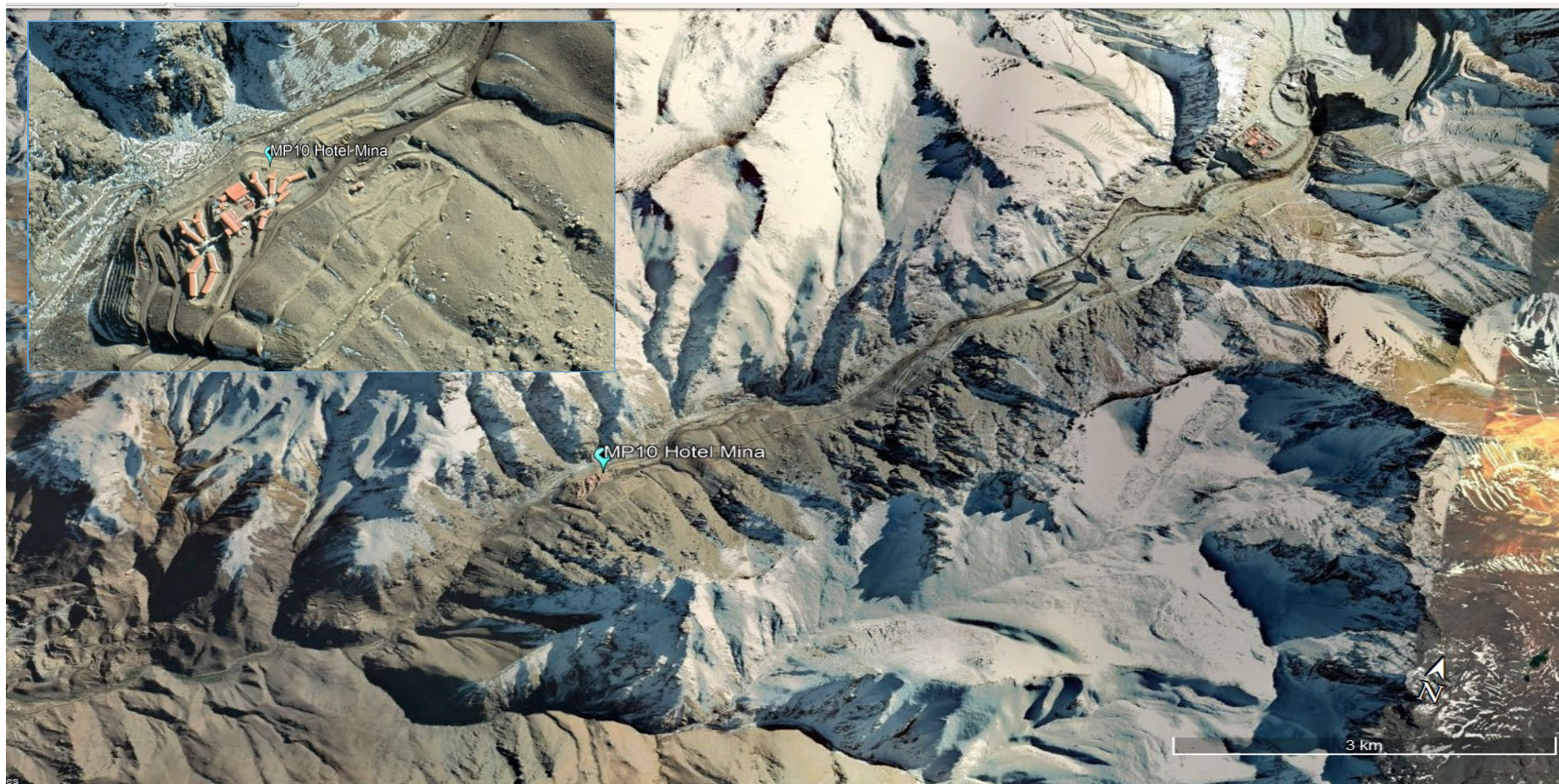


Imagen Satelital 2. Ubicación Estación Hotel Mina

5.3.- Estación Cuncumén

En las imágenes que siguen, se ilustra primero, la infraestructura y equipamiento y luego la ubicación espacial de la estación.



Fotografía 2. Estación Cuncumén



Imagen Satelital 3. Ubicación Estación MLP Cuncumén

5.4.- PARÁMETROS

El parámetro utilizado para evaluar el componente ambiental Calidad del aire es la concentración atmosférica de material particulado fino respirable MP10.

5.5.- MONITOREO

Los muestreos de Material Particulado Respirable MP 10 se realizan mediante método gravimétrico utilizando un muestreador de Alto Volumen.

Este método consiste en hacer pasar a través de un filtro de microcuarzo una muestra de aire de volumen conocido, para lo cual se controla el flujo del aire ($1.13 \text{ m}^3/\text{min} \pm 10\%$) y el tiempo de muestreo ($24 \pm 6 \text{ h}$).

El filtro utilizado es pesado antes y después del muestreo bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, determinando por diferencia de peso, la cantidad de material particulado captado (gravimetría).

El muestreo se efectúa una vez cada tres días y se realiza en concordancia con los requerimientos para instalación, calibración y operación de los equipos de muestreo y análisis, según lo dispuesto en el Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, establecido por el Decreto N°61/2008 del Ministerio de Salud.

El Laboratorio Ambiental de SGS Chile Ltda. emplea sólo métodos de ensayo estandarizados de referencia nacional o internacional reconocida. En el caso del análisis gravimétrico, el procedimiento del laboratorio se basa en el método EPA/ Code Federal Regulations, Appendix L to Part 50 - Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as $\text{PM}_{2.5}$ in the Atmosphere y Quality Assurance Guidance Document. Method Compendium. $\text{PM}_{2.5}$ Mass Weighing Laboratory Standard Operating Procedures for the Performance Evaluation Program. El análisis gravimétrico se encuentra acreditado bajo Norma NCh-ISO 17025.Of2005 según el certificado LE 119 emitido por el Instituto Nacional de Normalización.

El personal de terreno se encuentra capacitado para operar los equipos muestreadores de bajo volumen. La operación, contrastación, mantención y calibración de los equipos se encuentra documentada en procedimientos e instructivos que forman parte del Sistema de Gestión de la Calidad de SGS Chile Ltda.

A continuación, se indica la documentación de calidad asociada al monitoreo de Material Particulado Respirable MP10.

Documentación de Calidad de Operación

Instructivos	
ENV-L3-SAM(CL)-CA-02I	Calibración Muestreador Alto Volumen MP10
ENV-L3-SAM(CL)-CA-03I	Cambio de Filtro Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-04I	Mantenición de Cabezales
ENV-L3-SAM(CL)-CA-05I	Instalación Carta de Registro
ENV-L3-SAM(CL)-CA-06I	Embalaje y Traslado Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-07I	Armado Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-08I	Cambio de Motor y Carbones Alto Volumen
Procedimientos	
ENV-L3-SAM(CL)-CA-04	Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-07	Procedimiento Traslado de Filtros y Muestras Calidad del Aire
Registros	
ENV-L4-SAM(CL)-CA-02-01I	Calibración Flujos Equipos HV MP10
ENV-L4-SAM(CL)-CA-03-01I	Registro Terreno MP10
ENV-L4-SAM(CL)-CA-01-01	Bitácora Estaciones de Calidad del Aire
ENV-L4-SAM(CL)-CA-07-01	Cadena de Custodia Calidad del Aire
ENV-L4-SAM(CL)-CA-01-03	Check List Salida a Terreno Calidad del Aire
Instructivos	
ENV-L3-SAM(CL)-CA-02I	Calibración Muestreador Alto Volumen MP10
ENV-L3-SAM(CL)-CA-03I	Cambio de Filtro Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-04I	Mantenición de Cabezales
ENV-L3-SAM(CL)-CA-05I	Instalación Carta de Registro
ENV-L3-SAM(CL)-CA-06I	Embalaje y Traslado Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-07I	Armado Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-08I	Cambio de Motor y Carbones Alto Volumen
Procedimientos	
ENV-L3-SAM(CL)-CA-04	Muestreador Alto Volumen
ENV-L3-SAM(CL)-CA-07	Procedimiento Traslado de Filtros y Muestras Calidad del Aire
Registros	
ENV-L4-SAM(CL)-CA-02-01I	Calibración Flujos Equipos HV MP10
ENV-L4-SAM(CL)-CA-03-01I	Registro Terreno MP10
ENV-L4-SAM(CL)-CA-01-01	Bitácora Estaciones de Calidad del Aire
ENV-L4-SAM(CL)-CA-07-01	Cadena de Custodia Calidad del Aire
ENV-L4-SAM(CL)-CA-01-03	Check List Salida a Terreno Calidad del Aire

Documentación de Calidad de Laboratorio de Filtros

INSTRUCTIVOS	
I-ENV-LAB-404	Pesaje de filtros de calidad del aire

5.6.- CÁLCULO DE CONCENTRACIÓN MP10

Las muestras de material particulado son recibidas en las oficinas de SGS Chile Ltda. Se ingresa en las planillas de cálculo de material particulado la información de terreno registrada en la hoja de datos de cada filtro, esto es fecha de muestreo, identificación de la muestra, horómetro inicial-final y, diferencial de presión inicial y final del filtro. Para la validación de los muestreos se controla el valor registrado por el horómetro (24 ± 6 horas) y la carta de registro donde se puede observar gráficamente la continuidad del muestreo y del flujo.

Por medio de la orden de servicio respectiva, estas muestras son ingresadas a laboratorio para ser sometidas a análisis gravimétrico y/o químico. En la orden de servicio se identifica cada muestra y se detallan los análisis a los que estará sometida, en este caso sólo gravimetría.

Para el cálculo de las concentraciones de material particulado se determina el flujo estandarizado de muestreo. Con los datos de diferencial de presión del filtro, determinando un promedio de ambas lecturas para definir (P_f), se calcula la expresión correspondiente a P_0/P_a donde $P_0/P_a = 1 - (P_f/P_a)$, con P_a como la presión atmosférica del día de muestreo. Para cada equipo de muestreo, al tubo Venturi que lo compone, le corresponde una determinada tabla de calibración del flujo según las variaciones de presión y temperatura, que se identifica por su número de serie. En esta tabla se puede encontrar el flujo al que operó el equipo (Q_a) para cada valor de P_0/P_a y Temperatura. Con esta información se aplica la siguiente fórmula para determinar el flujo estandarizado (760 mm Hg, 25 °C) del muestreo:

$$Q_{std} = Q_a \times \left(\frac{P_a}{760 \text{ mmHg}} \right) \times \left(\frac{298}{273 + T_a} \right)$$

El personal responsable de la realización del procesamiento de datos y de informes se encuentra debidamente capacitado y cumple con los requisitos establecidos para el personal en el Decreto N°61.

5.7.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CUMPLIMIENTO DS 59/98

El D.S. N° 59 de 16 de marzo de 1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (DO 25.05.1998). Modificado por el D.S. N° 45 de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (D.O. 11.09.2001), establece la norma primaria de calidad del aire para MP 10 en $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, en donde será sobrepasada cuando en una Estación de Monitoreo de Representatividad Poblacional (**EMRP**):

- El percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante el período anual sea **mayor o igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$** .
- Asimismo, se considerará superada la norma si antes de concluir el primer período anual de mediciones se registrara en alguna de las estaciones monitoras un número de días **con concentraciones superiores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ mayor que siete (7) días**, con una frecuencia de muestreo de a lo menos tres días.
- La norma primaria de calidad del aire para el contaminante MP 10, es **$50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$** como concentración media anual. Se considerará sobrepasada la norma primaria anual para MP 10, cuando en una EMRP la concentración anual calculada **como promedio aritmético de tres años calendarios consecutivos sea mayor o igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$** .

5.8.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO SEGÚN COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Para evaluar la relación entre las mediciones de MP10, se considera determinar parámetros estadísticos indicadores en las estaciones Hotel Mina y Cuncumén, de manera de visualizar su dependencia directa (lineal) entre las distintas zonas, para lo cual se considera la evaluación de los siguientes parámetros estadísticos:

- Coeficiente de Correlación: (R^2). Refleja la bondad del ajuste de un modelo (p.e. de regresión lineal) a la variable que pretender explicar.
- Coeficiente de Correlación de Pearson (ρ). Este coeficiente es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Varía entre +1 y -1. Los valores extremos indican dependencia lineal (directa o inversa) y valores cercanos a 0 indican que no existe relación (ver **Tabla 2**).

Tabla 2. Coeficiente de Correlación de Pearson (ρ)

Valor Coeficiente Correlación Pearson (ρ)	
-1,00 a -0,91	Correlación negativa perfecta. (a mayor X, menor y, de manera proporcional)
-0,90 a -0,76	Correlación negativa muy fuerte
-0,75 a -0,51	Correlación negativa considerable
-0,50 a -0,11	Correlación negativa media
-0,25 a	Correlación negativa débil
-0,10	Correlación negativa muy débil
0,00	No existe correlación alguna entre las variables
+0,10	Correlación positiva muy débil
+0,25	Correlación positiva débil
+0,50	Correlación positiva media
+0,75	Correlación positiva considerable
+0,90	Correlación positiva muy fuerte
+1,00	Correlación positiva perfecta (a mayor X, mayor Y, de manera proporcional)

Fuente: Hernández Sampieri, 2014

6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CUMPLIMIENTO DS 59/98 ESTACIÓN HOTEL MINA

En este Capítulo, se presenta el análisis de resultados asociados al monitoreo de la estación de monitoreo de MP10 de Hotel Mina, desde el 2010 al mes de agosto 2021. Para una mejor comprensión, éstos se presentan con el siguiente detalle:

- Comparación de Resultados 2010 al 2021.
- Cumplimiento Normativas Vigente.

6.1.1.- Estación Hotel Mina

En la **Tabla 3** que sigue, se presenta un resumen de las concentraciones promedio mensuales de MP10 registradas en Estación Hotel Mina durante el periodo 2010 al mes de agosto 2021.

Tabla 3. Concentración promedio mensual periodo 2010 a agosto 2021. Estación Hotel Mina.

Mes	Promedio Mes											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	46	41	41	47	43	47	29	52	32	43	34	39
Febrero	47	44	46	49	43	40	49	40	40	40	45	54
Marzo	57	49	58	52	36	51	42	35	32	46	41	37
Abril	36	70	53	57	46	43	33	41	39	50	42	67
Mayo	49	71	42	50	39	31	18	38	40	54	72	50
Junio	46	71	47	57	57	43	32	28	42	49	55	61
Julio	25	50	48	39	37	30	27	48	39	50	43	61
Agosto	41	45	43	39	39	33	50	27	48	44	46	73 ^(*)
Septiembre	21	52	40	35	17	30	41	28	35	36	43	
Octubre	59	29	30	35	27	26	34	32	29	26	37	
Noviembre	50	39	39	34	28	29	31	33	31	41	40	
Diciembre	28	50	36	48	26	33	33	41	31	40	49	
Resumen Período	42	51	44	45	37	36	35	37	37	43	46	55 ^(*)

(*): Promedio calculado con valores hasta el 13 de agosto 2021.

En la **Figura 1** que sigue, se ilustran todas las concentraciones diarias registradas desde el 2010 al 13 de agosto 2021, cotejadas con la Norma diaria de 150 µg /m³N.

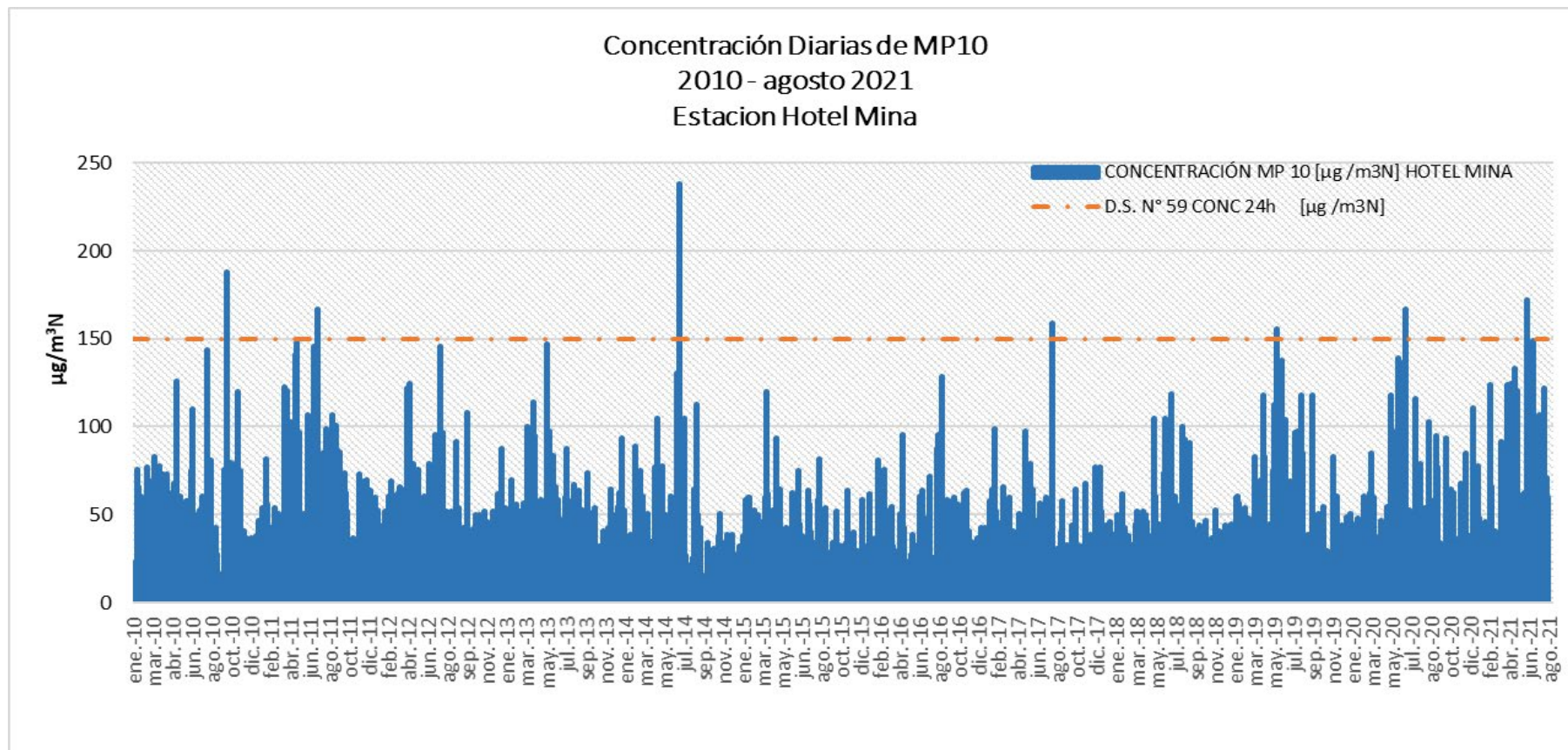


Figura 1. Concentraciones MP10 de 24h Estación Hotel Mina, 2010 al 13 de agosto 2021. Elaboración propia.

6.1.2.- Cumplimiento Normativa Vigente

Superaciones Norma Diaria

En la **Tabla 4** se presentan los datos de percentil 98 obtenidos desde el año 2010 al 2020.

De la información contenida en **Tabla 4** y **Figura 2**, se desprende que, del periodo registrados durante el 2010 al 2020 para la estación Hotel Mina, el percentil 98 de los datos diarios no ha superado los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, establecida en el D.S. N°59/98, por lo tanto, se ha dado cumplimiento a la norma diaria.

Tabla 4. Percentil 98 Estación Hotel Mina, Años 2010 al 2020.

Año	Percentil 98
2010	126
2011	146
2012	122
2013	100
2014	113
2015	82
2016	96
2017	99
2018	105
2019	118
2020	137

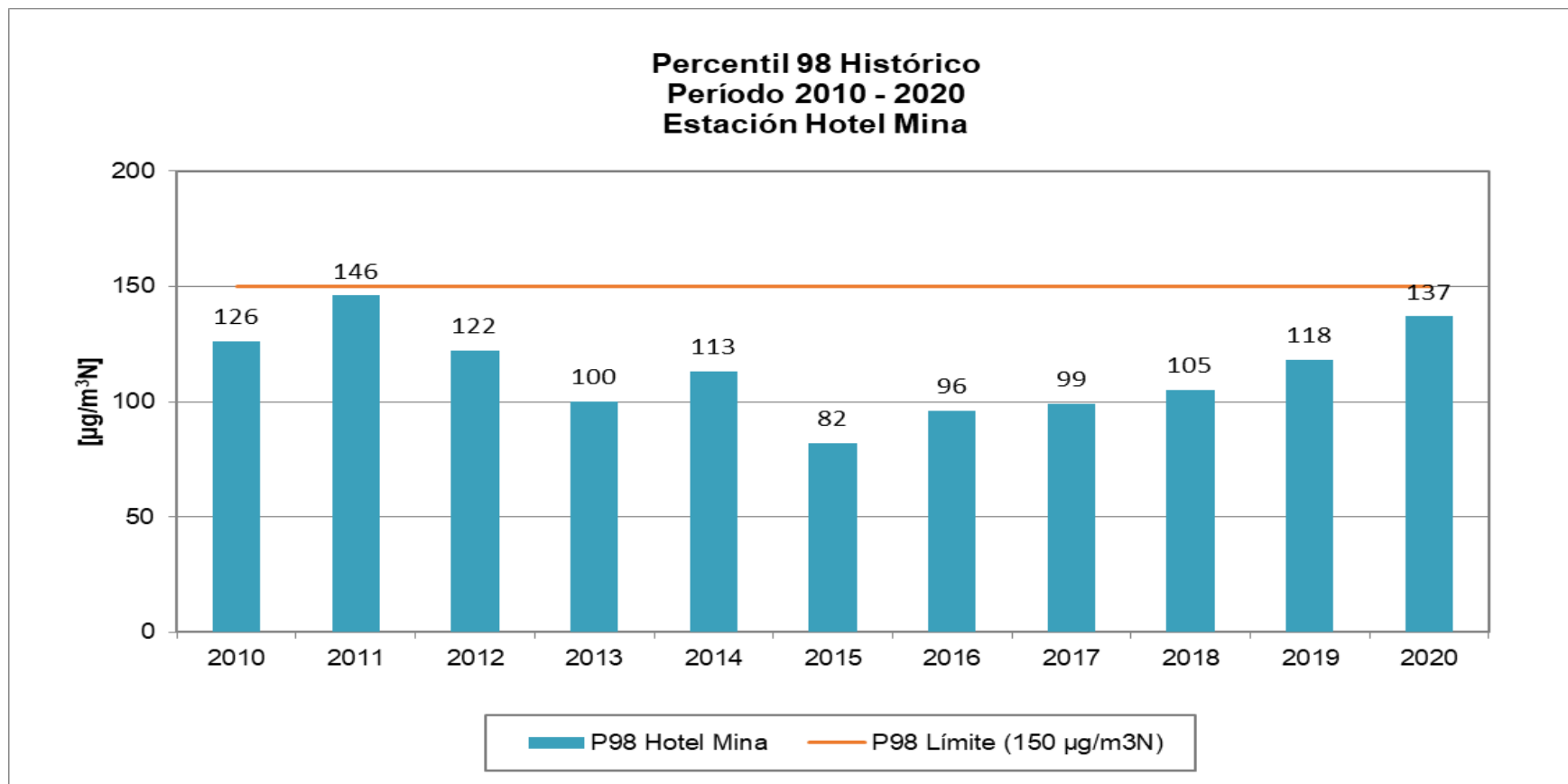


Figura 2. Percentil 98 MP10 Años 2010 al 2020. Estación Hotel Mina

Norma Anual

Cumplido el período para el cálculo de la Norma Anual asociado a los años 2010 al 2020 (ver **Tabla 5** y **Figura 3**), los promedios trianuales cumplen la norma para él establecida en el D.S. N° 59 (menor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), como se muestra en tabla siguiente.

Tabla 5. Promedio Trianual Histórico Año. Período 2010 al 2020.

Período	Promedio Trianual	Concentración Anual MP10 [50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]
2010 - 2012	46	50
2011 - 2013	47	
2012 - 2014	42	
2013 - 2015	39	
2014 - 2016	36	
2015 - 2017	36	
2016 - 2018	36	
2017 - 2019	39	
2018 - 2020	42	

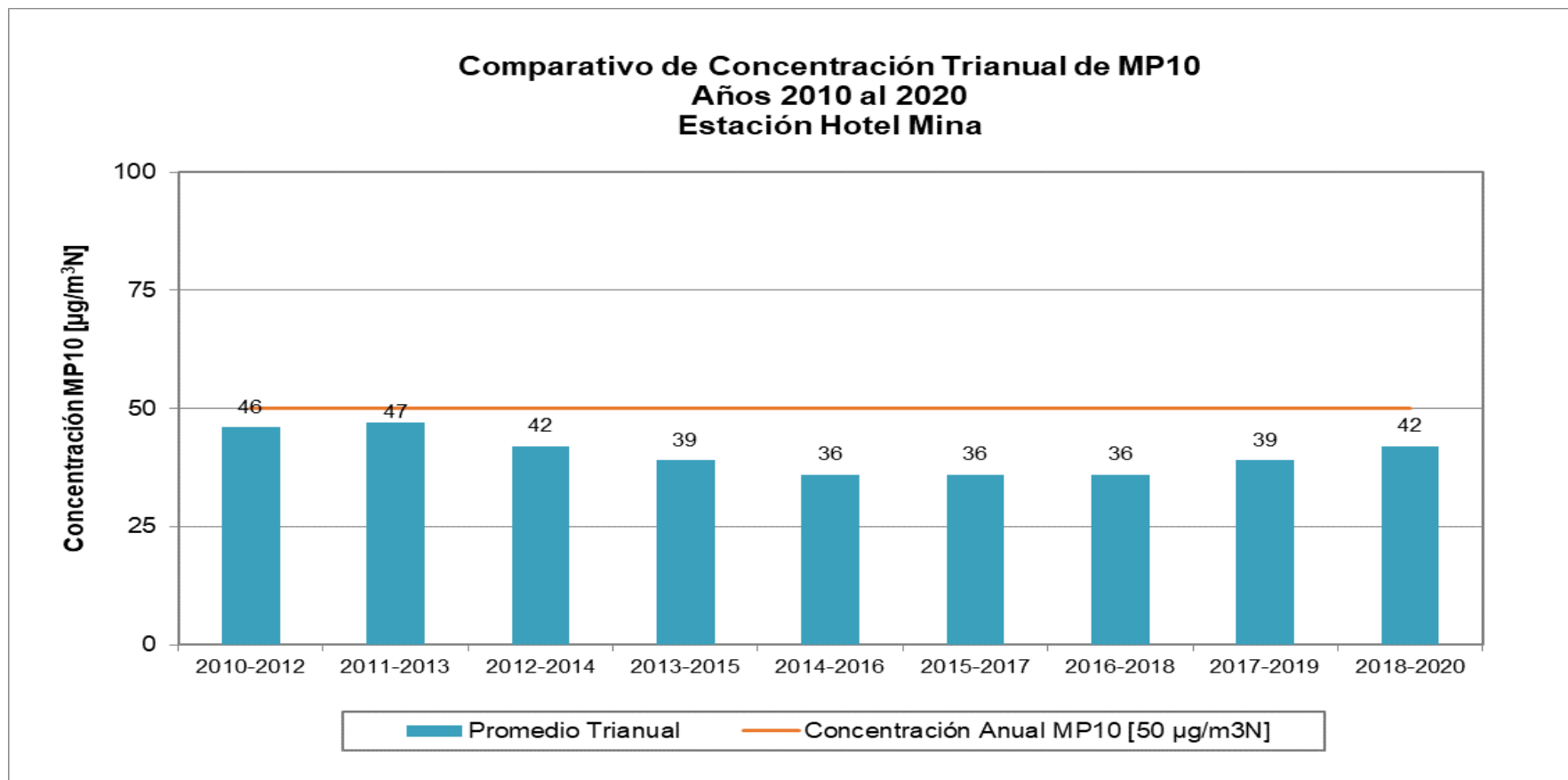


Figura 3. Concentraciones MP10 Promedio Trianual de MP10. 2010 al 2020. Estación Hotel Mina

6.2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CUMPLIMIENTO DS 59/98 ESTACION CUNCUMEN

6.2.1.- Estación Cuncumén

En la **Tabla 6** que sigue, se presenta un resumen de las concentraciones promedio mensuales de MP10 registradas en Estación Cuncumén durante el periodo 2010 al mes de agosto 2021.

Tabla 4. Concentraciones Promedio mensuales período 2010 a agosto 2021. Estación Cuncumén.

Mes	Promedio Mes											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	26	30	28	21	32	25	20	40	25	27	31	27
Febrero	26	25	30	26	24	31	21	27	24	28	29	24
Marzo	25	28	32	26	26	23	20	24	26	27	29	23
Abril	25	25	23	23	23	20	11	22	27	23	23	22
Mayo	31	20	17	18	17	21	9	15	23	25	20	19
Junio	9	14	13	16	16	15	11	12	12	14	13	16
Julio	11	13	15	13	17	12	12	12	12	15	10	18
Agosto	22	14	12	14	17	11	15	13	18	18	18	17 (**)
Septiembre	17	18	17	12	13	10	17	16	18	19	17	
Octubre	33	18	16	20	18	10	15	14	21	18 (*)	24	
Noviembre	33	21	22	20	18	14	21	21	22	27	26	
Diciembre	26	30	20	29	22	20	20	26	21	29	31	
Resumen Período	24	21	20	20	20	18	16	20	21	23	23	21

(**): Promedio calculado con valores hasta el 13 de agosto 2021.

(*) : Para el mes de octubre de 2019 no se considera válido el promedio mensual con la data existente, debido que en este período hubo un 60% de cumplimiento de los datos de concentración de 24 horas asociados a los muestreos válidos en relación con los muestreos programados. Según D.S. N°59 Art.7°, el promedio anual se determinará a lo menos con 11 meses válidos del año calendario 2019 (Informe Segundo Semestre 2019).

En la **Figura 4** se presentan las concentraciones diarias registradas desde el 2010 al 13 de agosto 2021, cotejadas con la Norma diaria de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

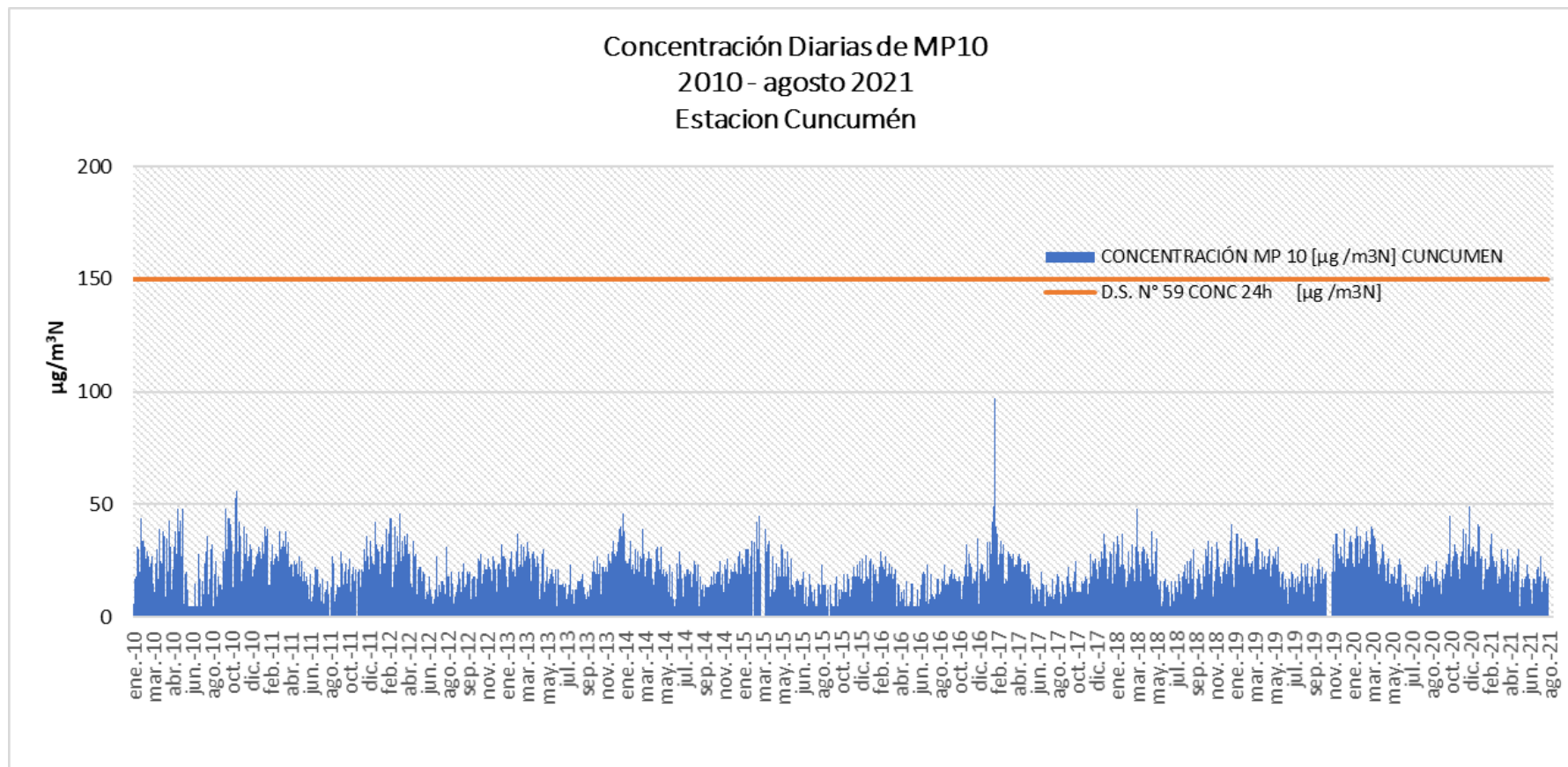


Figura 2. Concentraciones de MP10 24h Estación Cuncumén, 2010 al 13 de agosto 2021. Elaboración propia

6.2.2.- Cumplimiento Normativa Vigente

Superaciones Norma Diaria

En la **Tabla 7** se presentan los datos de percentil 98 obtenidos desde el año 2010 al 2020.

De la información contenida en **Tabla 7** y **Figura 5**, se desprende que, del periodo registrados durante el 2010 al 2020 para la estación Cuncumén, el percentil 98 no ha superado los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, establecida en el D.S. N°59/98, por lo tanto, se ha dado cumplimiento a la norma diaria.

Tabla 7. Percentil 98 Estación Cuncumén, Años 2010 al 2020.

Año	Percentil 98
2010	44
2011	39
2012	44
2013	34
2014	39
2015	39
2016	29
2017	42
2018	37
2019	37
2020	40

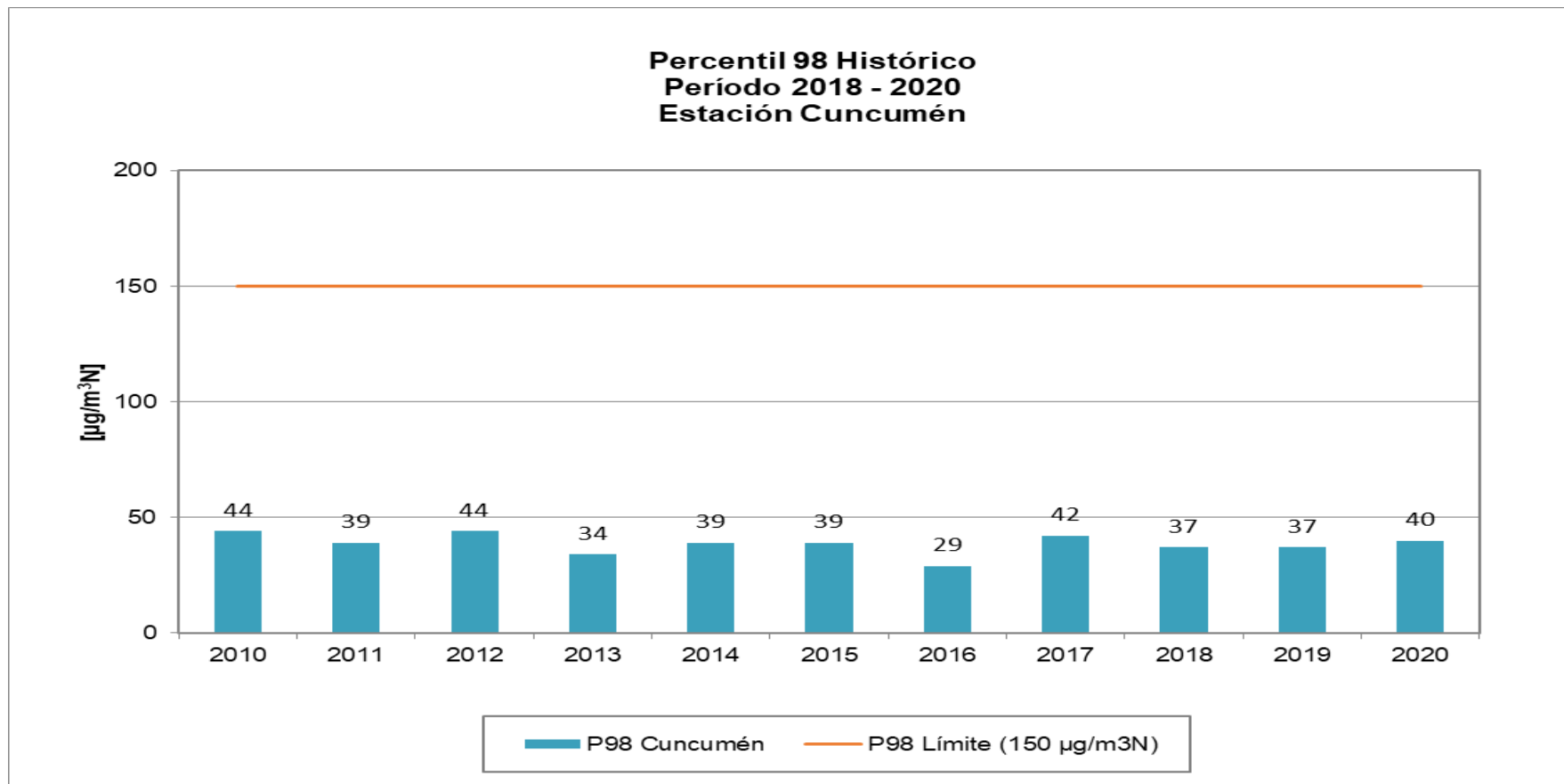


Figura 5. Percentil 98 MP10 período 2010 al 2020. Estación Cuncumén.

Norma Anual

Cumplido el período para el cálculo de la Norma Anual asociado a los años 2010 al 2020 (ver **Tabla 8** y **Figura 6**), los promedios trianuales cumplen la norma para él establecida en el D.S. N° 59 (menor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), como se muestra en tabla siguiente.

Tabla 8. Promedio Trianual Histórico. Período 2010 al 2020.

Período	Promedio Trianual	Concentración Anual MP10 [50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]
2010 - 2012	22	50
2011 - 2013	20	
2012 - 2014	20	
2013 - 2015	19	
2014 - 2016	18	
2015 - 2017	18	
2016 - 2018	19	
2017 - 2019	21	
2018 - 2020	22	

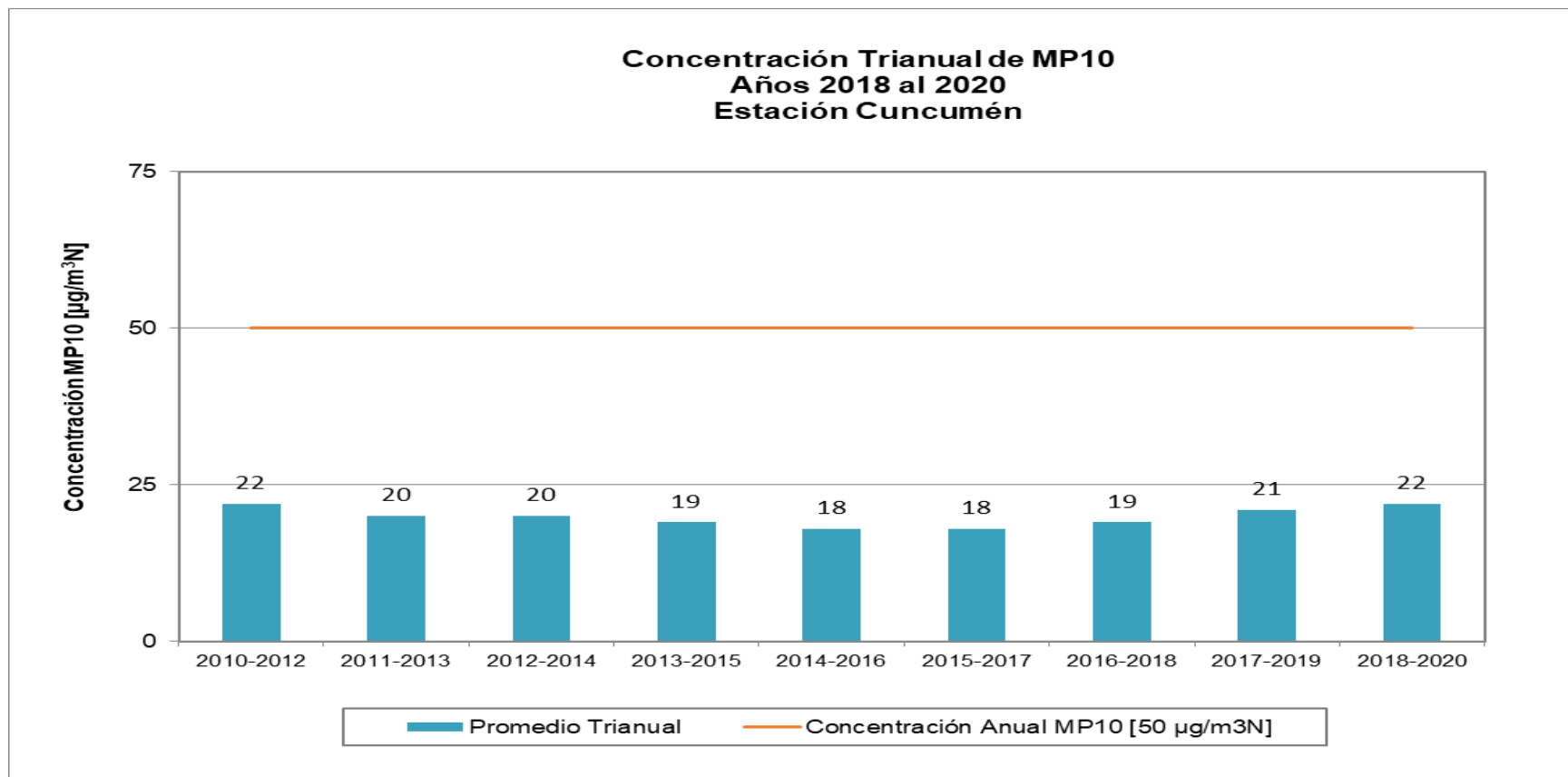


Figura 6. Concentraciones MP10 Promedio Trianual de MP10, 2010 al 2020. Estación Cuncumén

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO SEGÚN COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

De las mediciones de material particulado registrados en las estaciones de Hotel Mina y Cuncumén 2010-2021 (al 13 agosto), se realiza una evaluación de la relación existente entre sectores:

- Hotel Mina - Cuncumén

Tabla 5. Resultados Promedios Anuales Muestreos de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) Estación Hotel Mina y Cuncumén

Meses	Estación Hotel Mina Minera Los Pelambres	Estación Cuncumén Minera Los Pelambres
	Prom Año $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Prom Año $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
2010	42	24
2011	51	21
2012	44	20
2013	45	20
2014	37	20
2015	36	18
2016	35	16
2017	37	20
2018	37	21
2019	43	23
2020	46	23
2021*	55	21

De los análisis realizados desde el 2010 al 13 agosto 2021, para estación Hotel Mina y Cuncumén, se cumple con el D.S. N° 59/98.

En la **Figura 7** se ilustran todas las concentraciones de 24 horas asociadas al período de 01 de enero de 2010 al 13 de agosto de 2021, de estaciones Hotel Mina y Cuncumén cotejadas con la Norma diaria de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

En la **Figura 8** se presenta un Gráfico de Dispersión para los valores promedio día para las Estaciones Hotel Mina y Cuncumén, considerando las mediciones entre el año 2010 al 13 de agosto 2021.

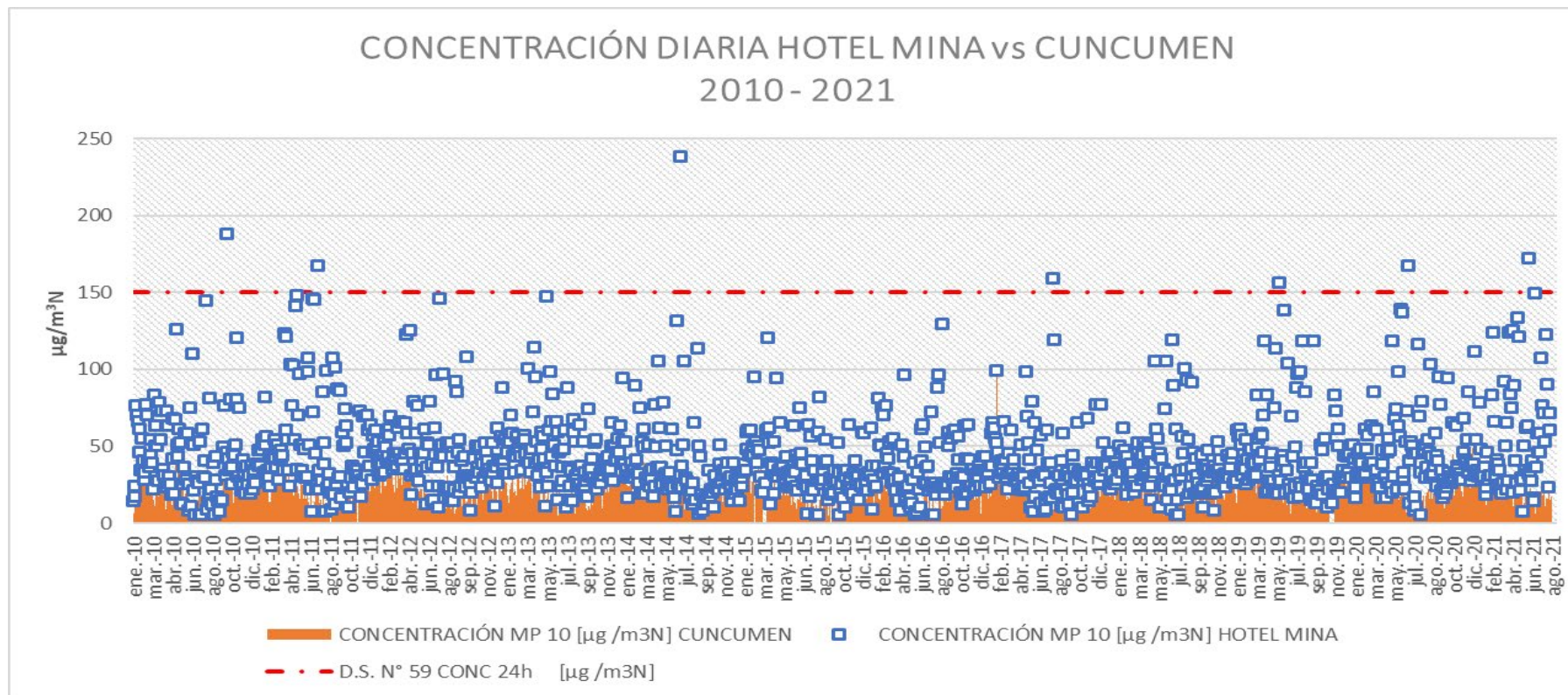


Figura 3. Concentraciones de 24h de MP10 Estación Hotel Mina vs Cuncumén. Años 2010 al 13 de agosto 2021. Elaboración propia.

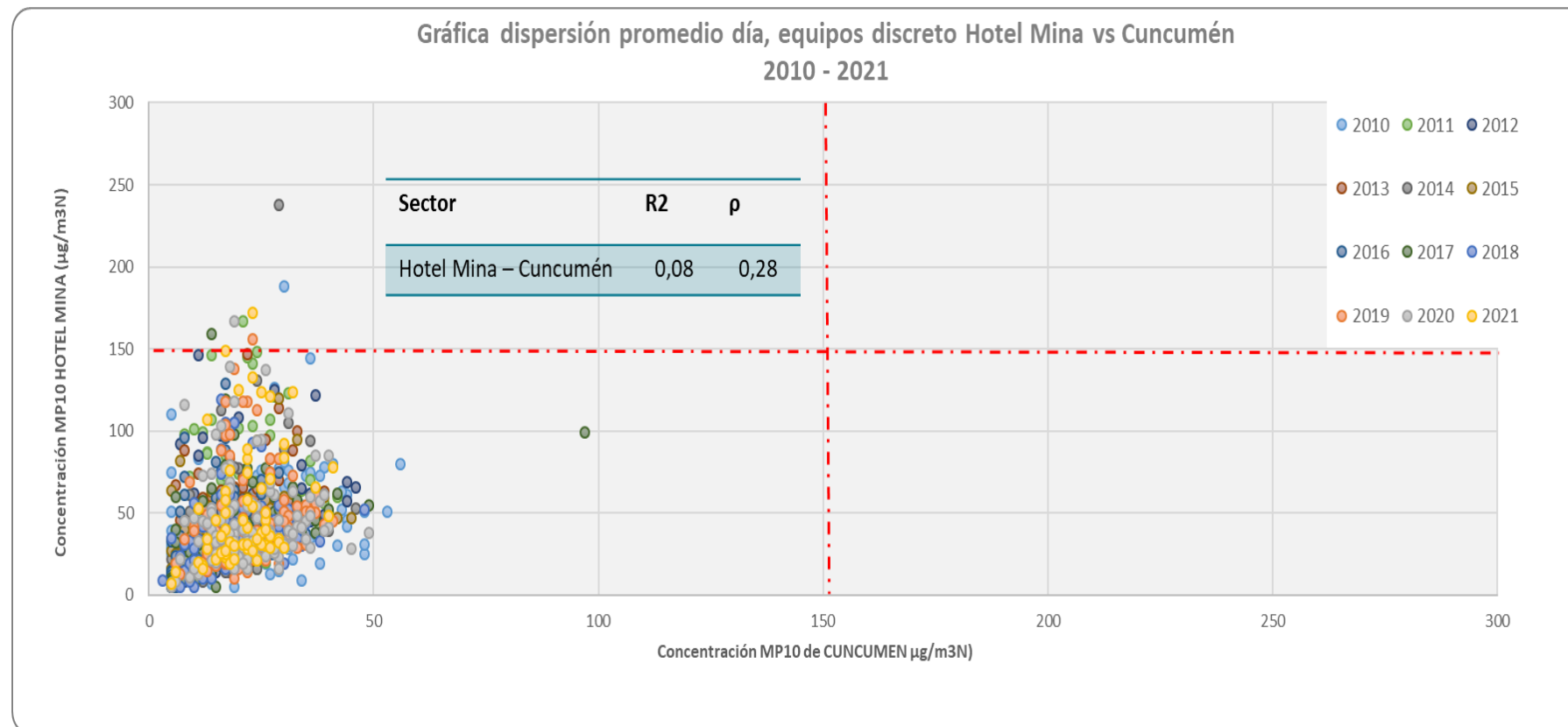


Figura 4. Gráfica Dispersión valores promedio día MP10, Estaciones Hotel Mina vs Cuncumén, 2010 al 13 de agosto 2021.
Elaboración propia.

De acuerdo con gráfica anterior, que abarca las mediciones desde el 2010 al 13 de agosto 2021, se puede extraer:

- **El coeficiente de correlación de R^2 es solo de 0,08**, lo cual refleja la baja bondad del ajuste del modelo de regresión lineal, al intentar explicar las concentraciones registradas en Cuncumén con las concentraciones registradas en Hotel Mina.
- **El coeficiente de correlación de Pearson (ρ) es de 0,28**, lo cual indica que la correlación entre las estaciones Hotel Mina y Cuncumén es **positiva débil** (criterio **tabla 4**).

En la tabla 10, se indican las correlaciones anuales y para el periodo 2010-2021 (al 13 agosto 2021), según Pearson y R^2 .

Tabla 6. Correlación anual Estación Hotel Mina y Cuncumén

Años	Pearson (ρ)	R^2
2010	0,33	0,11
2011	0,12	0,01
2012	0,29	0,08
2013	0,33	0,11
2014	0,39	0,15
2015	0,49	0,24
2016	0,37	0,13
2017	0,41	0,17
2018	0,24	0,06
2019	0,15	0,02
2020	0,05	0,00
2021	0,24	0,06
Total Período 2010-2021	0,28	0,08

Comparación de concentraciones sobre 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en Hotel Mina y revisión en Cuncumén

Al comparar las concentraciones de MP10, desde el 2010 al 13 de agosto del 2021, en que Hotel Mina registró valores sobre 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, se aprecia que los valores en la estación Cuncumén no superaron los 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (ver **Tabla 11**)

Tabla 7. Días de mayores concentraciones de MP10 en Hotel Mina y respectiva medición en estación Cuncumén

Fecha de Medición MP10 Oficial	Hotel Mina $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Cuncumén $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
07-10-10	188	30
07-07-11	167	21
27-06-14	238	29
17-07-17	159	14
23-05-19	156	23
13-06-20	167	19
11-06-21	172	23

A continuación, se presenta gráfica en **Figura 9** las concentraciones sobre 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ registradas en Hotel Mina y su comparación con los datos registrados para las mismas fechas de monitoreo en la estación Cuncumén, donde esta últimas no sobrepasaron los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

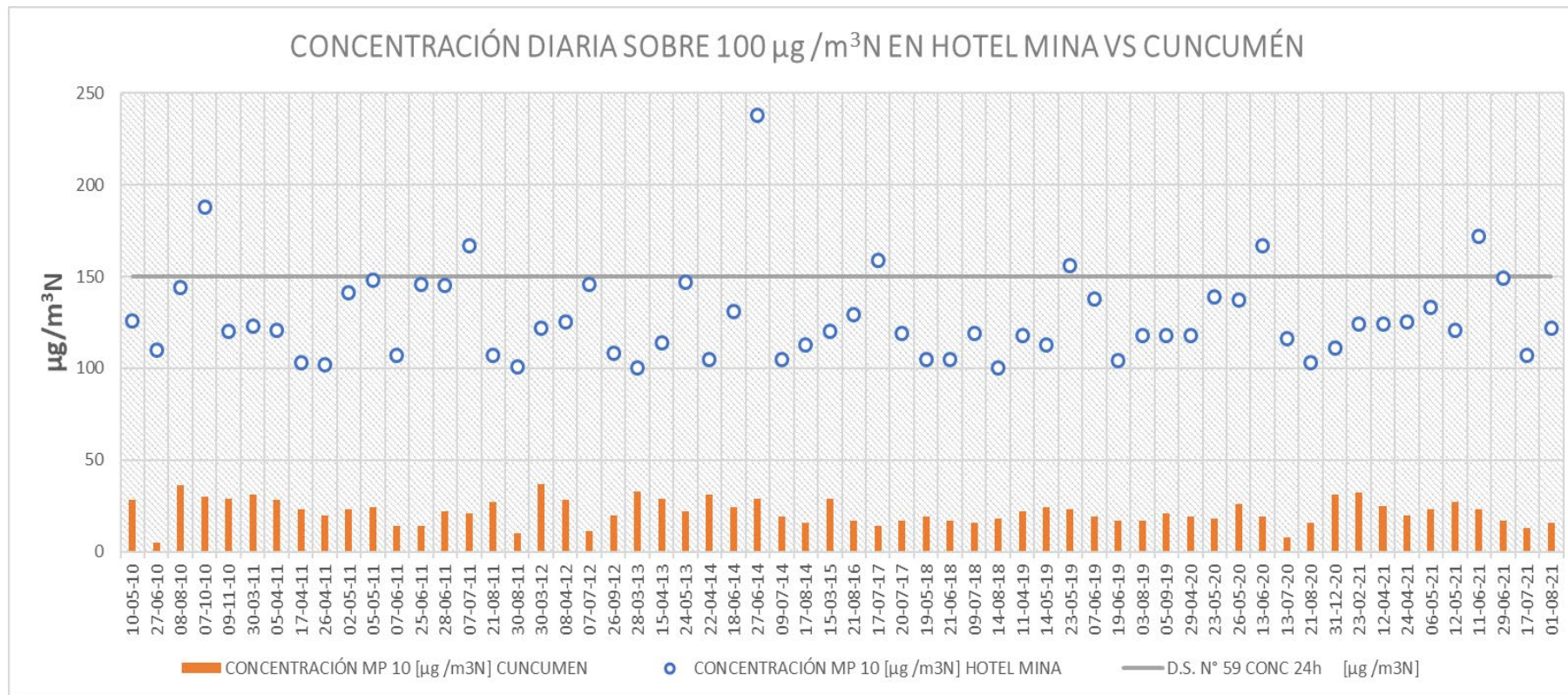


Figura 5. Concentración MP10 diaria sobre 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en estación Hotel Mina y comparación con estación de Cuncumén, 2010 a 13 de agosto 2021. Elaboración propia.

7.- CONCLUSIONES

Para una mejor comprensión, se ha estimado pertinente presentar las conclusiones por separado del análisis estadístico de cada estación de monitoreo de MP10; y posteriormente los resultados de la comparación de los registros de ambas estaciones.

Análisis estadístico estación Hotel Mina

- Los percentiles 98 de las concentraciones de 24 horas registradas entre el periodo 2010 al 2020, cumplen con la norma primaria con valores bajo los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- Respecto a la norma primaria anual de calidad de aire, calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos, para el periodo evaluados entre el 2010 y 2020, se cumple en su totalidad con el D.S. N° 59, esto es, menor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Análisis estadístico estación Cuncumén

- Los percentiles 98 de las concentraciones diarias registradas durante el periodo 2010 al 2020, cumplen con la norma primaria con valores bajo los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- Respecto a la norma primaria anual de calidad de aire, calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos, para el periodo evaluados entre el 2010 y 2020, se cumple en su totalidad con el D.S. N° 59, esto es, menor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Comparación del comportamiento estación Hotel Mina y Cuncumén

Del análisis comparativo de ambas estaciones, se observa que:

- El coeficiente de correlación de R^2 es solo de 0,08, lo cual refleja la baja bondad del ajuste del modelo de regresión lineal, al intentar explicar las concentraciones registradas en Cuncumén con las concentraciones registradas en Hotel Mina.
- El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,28 , lo cual indica que la correlación entre las estaciones Hotel Mina y Cuncumén es positiva débil.

8.- REFERENCIAS

- Decreto N° 61/2008 Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, Ministerio de Salud.
- D.S. N° 59/1998 Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10. MINSEGPRES.
- Resolución (E) N°038/2004 Califica ambientalmente el Proyecto Integral de Desarrollo, presentado por Minera Los Pelambres. Comisión Regional del Medio Ambiente. IV Región de Coquimbo.
- Metodología de la Investigación – Roberto Hernandez Sampieri, 2014. Editorial Mc Graw Hill.