



MEMORANDUM N°1_2019
Análisis de “Informe Técnico de Fiscalización
Ambiental Medida Urgente y Transitoria MP-015-
2018, Puerto de Antofagasta, DFZ-2018-2307-II-RCA,
Febrero 2019, SMA”

Confeccionado por:		
Gerardo Alvarado Zúñiga	Ingeniero Civil Mecánico, Magister en Gestión y Planificación Ambiental.	
Jose Salim Soto	Ingeniero Civil Mecánico, Master en Gestión Integrada de Prevención, Medioambiente y Calidad.	

1 Introducción

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), Región de Antofagasta, realizó actividades de fiscalización a “Puerto Antofagasta” originada a partir de la dictación de la Medida Urgente y Transitoria (MUT) Expediente N° MP-015-2018, ordenada por la SMA mediante Resolución Exenta N° 1065/2018 de fecha 24 de agosto de 2018 la cual consideraba realizar 3 campañas de muestreo-limpieza-muestreo las cuales fueron ejecutadas entre el 05-09-2018 y el 15-09-2018 (primera campaña), 03-10-2018 y el 12-10-2018 (segunda campaña) y entre el 03-11-2018 y el 12-11-2018.

Una vez concluidas las campañas y enviados los informes de resultados respectivos, elaborados por la empresa Algoritmos, en Febrero de 2019 la SMA entregó el Informe de Fiscalización Ambiental “IFA MUT ATI (MP-015-2018)” indicando conformidad de las siguientes medidas:

1. Tres campañas de limpieza de las calles y veredas de las manzanas definidas en la Figura 1 del memorándum D.S.C. N° 268/201821.
2. Disposición final de los residuos generados como resultado de las tres campañas de limpieza, en relleno de seguridad, realizando la correspondiente declaración en SIDREP.
3. Muestreo antes y después de cada una de las campañas de limpieza, basado en lo señalado en la metodología de muestreo “Procedures for Sampling Surface/Bulk Dust Loading”, aplicado por la US EPA para determinar inventarios de la carga en masa de emisiones de polvo en suspensión desde las calles.
4. Análisis de muestras indicadas en el documento “Procedures for Laboratory Analisis of Surface/Bulk Dust Loading Samples”, determinando una disminución del contenido de polvo total (calles+veredas), superior al 40%, luego de ejecutada la limpieza, en cada una de las campañas.
5. Determinación de concentraciones de As, Cu y Pb, en cada una de las muestras tomadas en las 3 campañas. De cuya comparación estadística de medias fue posible constatar que solo el As presento una disminución luego de ejecutadas las tres campañas de limpieza. En cuanto las medias de Cu y Pb no presentaron variación luego de la ejecución de las limpiezas.

A solicitud de la Empresa Antofagasta Terminal Internacional S.A (ATI), el presente Memorandum realiza un Juicio Experto del informe de Fiscalización de la SMA como también de los informes de resultados de las campañas elaborados por la empresa Algoritmos.

2 Objetivo

Analizar los desarrollos y conclusiones indicados en el “Informe Técnico de Fiscalización Ambiental Medida Urgente y Transitoria MP-015-2018, Puerto de Antofagasta, DFZ-2018-2307-II-RCA, Febrero 2019, SMA”, respecto a la validez de las conclusiones y sus implicancias. En particular respecto a la variación de la concentración de arsénico en el polvo recolectado después del barrido.

3 Metodología

La metodología usada para realizar el análisis de par, o juicio experto siguió el siguiente procedimiento:

3.1 Revisión de documentos contenidos en los expedientes de la SMA.

Se revisaron documentos enviados por ATI y los disponibles en el Sistema Nacional de información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), Expediente “DFZ-2018-2307-II-RCA¹”, entre ellos:

- a) Res. Ex. N° 1065 del 24 de Agosto de 2018 de la SMA que ordena medidas urgentes y transitorias en la zona cercana al Puerto
- b) Informes de 3 campañas de limpieza en Anexo 09
- c) Informes de resultados de las 3 campañas en Anexo 10
- d) Informes de análisis químicos de As, Cu y Pb a muestras de las campañas en Anexo 15
- e) Informe de Fiscalización Ambiental “IFA MUT ATI (MP-015-2018)”
- f) 31 Actas de fiscalización en Anexo 03
- g) Planillas con resultados de carga y análisis de As, Cu y Pb en Anexo14.xls
- h) Planillas con análisis estadístico en Anexo16.xls
- i) Base de datos de campañas suministrada por ATI

3.2 Análisis de datos contenidos de en los siguientes archivos e informes de Algoritmos proporcionados por el cliente.

- a) Base de Datos de Terreno 1ra Campaña.xls
- b) Base de Datos de Terreno 2ra Campaña.xls
- c) Base de Datos de Terreno 3ra Campaña.xls

Se revisaron y procesaron los datos contenidos en las planillas, contrastándolos con los resultados presentados en los informes de resultado de las campañas del Anexo 10 del expediente del SMA. Adicionalmente, se realizaron cálculos para obtener la carga de metales Pb, As y Cu en las calles (mg/m^2), antes y después de realizar la limpieza, a partir de los resultados de carga de polvo en calles y concentración de metales en polvo. Esto con el fin de demostrar lo que planteó ATI a la autoridad, respecto a que la medida de limpieza tiene como efecto, reducir la carga de polvo y metales por metro cuadrado de calle, y por tanto la emisión de polvo resuspendido desde las calles, y no modificar la composición química de dicho polvo. Pudiendo darse casos de reducción, aumento o mantención de la concentración de metales en el polvo (mg/kg), dado que ésta no depende de la limpieza.

¹ Expediente disponible en <http://snifa.sma.gob.cl/v2/Fiscalizacion/Ficha/1041740>

3.3 Revisión de par.

Esta se llevó a cabo comparando:

- Revisión de los informes de limpieza aportados por Algoritmos.
- Lo solicitado en la Resolución Exente N° 1065 del 24 de Agosto 2018, con el servicio de limpieza de calles ejecutado por Algoritmos.
- Los registros de planillas Excel y su coherencia con los sus informes de resultados
- Los análisis y comentarios realizados por la SMA a la campaña de limpieza.

4 Comentarios

4.1 Respecto a la revisión del informe de limpieza.

Se revisaron los “Informes de Barrido-Aspirado Mecanizado y Limpieza Integral” de las Campañas de Septiembre, Octubre y Noviembre de 2018, contenido en el Anexo 09 del Expediente “DFZ-2018-2307-II-RCA”²

En los informes no se reportan inconvenientes cumpliendo programa de trabajo de acuerdo a lo planificado.

Respecto al formato del informe, se recomienda en futuras versiones ilustrar la maquinaria utilizada con fotos tomadas durante el proceso de limpieza en vez de fotos de los catálogos de las barredoras y/o aspiradoras.

Los informes incluyen fotografías que ilustran la situación posterior a la limpieza. En algunas fotografías se aprecia que queda material pegado al suelo en la intersección de las calles con las soleras, probablemente en esos casos se formó una capa barrosa con el agua incorporada y el polvo de la calle. En futuras limpiezas revisar con mayor detención si se produce esta situación para resolverla durante la limpieza.

Las fotografías siguientes ilustran un par de casos.

² Expediente disponible en <http://snifa.sma.gob.cl/v2/Fiscalizacion/Ficha/1041740>



Figura 1 Fotografías calles después de limpieza

4.2 Respecto a la campaña de toma de muestra descrita en Informes de resultados.

Se realizó una revisión de los informes de monitoreo realizados por Algoritmos, la cual como fue solicitado por la autoridad competente se basó en el procedimiento indicado por EPA en su documento AP42. No obstante lo anterior, se hacen los siguientes comentarios y sugerencias:

a. Recomendación 1: Para la extracción de polvo de cada muestra se debe recolectar al menos 400 gramos en caso de recolección manual con brocha y pala o al menos 200 gramos en caso de recolección con aspiradora. Se deben tomar incrementos de muestra en la misma calle, hasta cumplir con lo antes indicado.

De acuerdo a los resultados presentados en las planillas, solo cumplen con la condición de recolectar al menos 200 gramos, las siguientes muestras por campaña:

- 26 de 52 muestras en la campaña N°1 (50%).
- 14 de 50 en campaña n°2 (28%).
- 19 de 49 en campaña N°3 (39%).

Donde cada muestra corresponde a una muestra compuesta que suma las masas de 3 muestras de polvo de calles y 3 muestras de polvo desde las aceras. En parte, esta situación se pudo deber a que se trató de muestrear un área constante, con el fin de tener un mayor control del área muestreada y cumplir con los plazos de ejecución de la medida de aspirado, no habiéndose aumentado el área en las calles de menor carga para obtener mayor cantidad de masa.

b. Recomendación 2: En la campaña de muestreo de Algoritmos, determinó la masa de la muestra mediante la diferencia de peso de la aspiradora antes y posterior al muestreo. Si bien este método tiene la ventaja de realizar el pesaje en terreno, reduciendo el tiempo de pesado de las muestras, puede intervenir en la calidad de la gravimetría de las muestras, debido a que la masa de la

aspiradora es grande en comparación de la muestra, debiéndose por lo tanto reducir la sensibilidad de la pesa, para ampliar el rango de medición, pudiéndose perder precisión en la determinación de la masa muestreada. Esto es especialmente relevante cuando la masa es pequeña, como en caso de las calles ya aspiradas. Por lo antes indicado, se recomienda utilizar aspiradoras con filtros de papel, que permite extraer todo el filtro después de cada muestra, debiendo ser pesado en laboratorio, antes y después de tomar la muestra. Por otra parte, no se indica en los informes la sensibilidad de la pesa utilizada.

c. Recomendación 3: Para calles poco cargadas, donde se recolecte poca muestra, se recomienda usar aspiradoras de tipo semi-industrial.

Como se indicó, no se utilizó aspiradora semi-industrial que permite usar filtros de papel para cada muestra, utilizándose una aspiradora pequeña, utilizada para limpieza de automóvil.

El modelo de aspiradora utilizado, al no usar filtros para cada muestra, pudo ocasionar contaminación entre otras muestras, a pesar del proceso de limpieza de la aspiradora. Además, al ser pequeña tiene una menor capacidad de aspirado lo cual podría afectar el proceso de recolección en casos de suelo más húmedo.

d. Recomendación 4: Si bien la autoridad sugirió tomar y analizar una muestra compuesta de calles y aceras. Era recomendable separar dichas muestras, para tener una mejor caracterización del aporte o carga de calles y de veredas, para estudio de tendencias, identificando si existía alguna diferencia entre calles y veredas, que indicara el aporte de alguna fuente cercana a la vereda, como es el caso de jardines.

Cumpliendo con lo indicado por la autoridad, los análisis químicos fueron realizados para muestras compuestas, es decir mezclando las 3 muestras de calles y las 3 de veredas. Es importante, señalar que aumentar el número de análisis, hubiera requerido de un aumento del plazo de ejecución de la medida, el cual fue muy acotado.

e. Recomendación 5: Se recomienda, que en los registros en terreno se establezca con claridad la superficie aspirada por cada muestra, indicando las dimensiones de paralelogramo muestreado, para la posterior determinación de la masa por unidad de superficie de polvo sedimentado.

Si bien en las figuras presentadas en los informes de resultados de las 3 campañas de algoritmos (Anexo 10 del expedientes de la SMA) se indica que se tomó una muestra de 3m^2 por cada celda, en un total de 6 celdas (ver Figura 2), ésta área se delimitó con una cuerda, y no se registraron o no se entregó el registro de las dimensiones de las celdas muestreadas para verificar que fuesen de 3m^2 , sobre todo considerando que en las fotografías se observa que la dimensión de los lados de la celda van variando (ver Figura 3 y Figura 4).

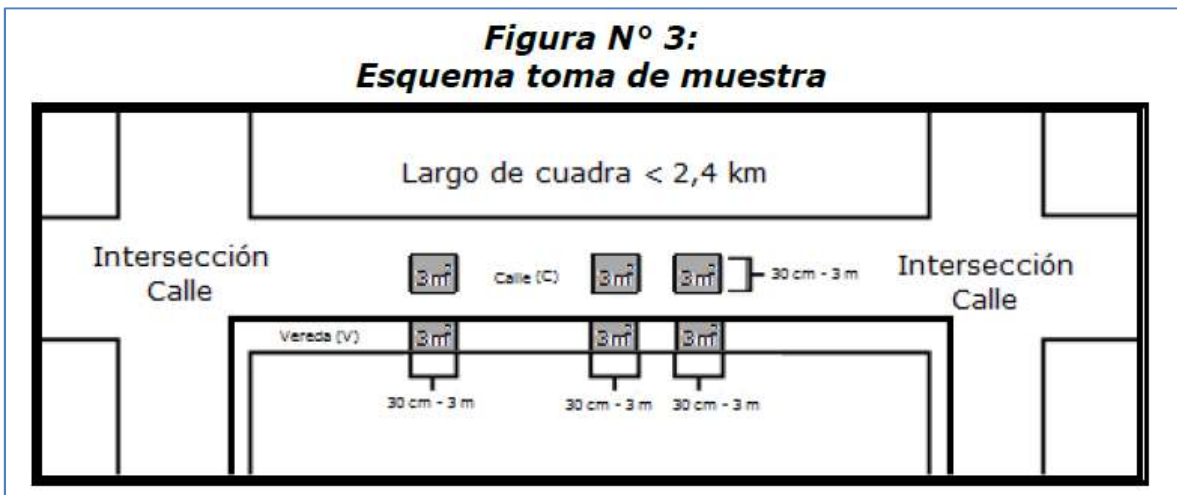


Figura 2 Esquema de toma de muestra con 6 celdas de 3 m²

Fuente: Informes de campañas de algoritmos (Anexo 10 del expedientes de la SMA)



Figura 3 Fotografías de celdas de muestreo durante primera campaña



Figura 4 Fotografías de celdas de muestreo durante segunda campaña

Por otra parte, se entiende observando el esquema de muestreo de Algoritmos (Figura 2), que considerando se tomaron tres muestras de calle y tres de vereda, el área de muestreo de calle fue de 9 m^2 y la de veredas de 9 m^2 , con un área total muestreada de 18 m^2 sumando calles y veredas.

Sin embargo, por algún problema de comunicación, entre los encargados de la toma de muestra y el inspector, en las actas de inspección de la SMA se indicó que cada una de las celdas muestreadas, presentaba un área de 9 m^2 (ver Figura 5).

Es importante señalar que, si bien considerar áreas diferentes a las muestreadas induce diferencias en la estimación de la carga de polvo y metales por metro cuadrado, no altera los resultados de cálculos de eficiencias obtenidas a partir de los datos, dado que esta se calcula como a partir de un cociente antes y después de la limpieza.

Procedimiento:

En cada cuadra se colectaron 6 muestras, 3 en la vereda y 3 en la calle por donde circulan los vehículos. Los puntos de muestreo fueron seleccionados aleatoriamente por el Inspector Ambiental de Algoritmos, Sr. Ismael Torres. En cada punto se delimita una celda de 9 m^2 utilizando para ello una cuerda, dentro del cual se pasó la aspiradora por toda la superficie dejando fuera las partículas de gran tamaño.

Figura 5 Punto 8 de Acta de Inspección de la SMA donde se indica una superficie de celda de 9m^2

Fuente: Actas de inspección 1 a 31, Anexo 03, expediente de SMA.

Por lo antes indicado, revisando los informes de Algoritmos se detecta que la carga acumulada, de calle y vereda, se obtuvo a partir del siguiente procedimiento. Que se explica en base a la tabla del informe de Algoritmos que se muestra en la Figura 6, considerando el muestreo pre limpieza en la calle Condell.

A partir de la masa recolectada en la Calle (77 g.) y en la Vereda (216 g), se calculó la carga de la muestra de calle y de vereda, considerando un área de 9 m^2 , correspondiente a la suma de 3 celdas de 3m^2 , lo que estaría correcto. Así se obtendría una carga de Calle ($8,6 \text{ g/m}^2$) y Vereda ($24,0 \text{ g/m}^2$). Sin embargo, para obtener la carga acumulada, al parecer Algoritmo sumo las cargas de calle y vereda, obteniendo $32,6 \text{ g/m}^2$. Lo que es incorrecto, pues es equivalente por ejemplo a medir la velocidad de dos vehículos, y para saber la velocidad del flujo total por la calle, sumar las velocidades, en vez de promediarlas.

Si esto fuese correcto, el cálculo debería dar lo mismo al calculado a partir de la masa total de polvo recolectado 293 g ($77\text{g}+216\text{g}$) y el área total muestreada en las seis celdas, es decir 18 m^2 , cuyo cociente da $16,3 \text{ g/m}^2$. Esto se debe a que las cargas por metro cuadrado de calle y vereda, no se pueden sumar directamente, a lo más se deberían promediar, en cuyo caso el resultado sería $16,3 \text{ g/m}^2$. El cual como se observa, es el mismo que el obtenido de dividir la masa total de polvo recolectada (293 g) por el área total (18 m^2).

Como se ha indicado, si bien este procedimiento, sobrestima cálculo de la carga de polvo, no afecta al cálculo de las eficiencias, dado que ésta se calcula a partir de los cocientes de cargas antes y después de la limpieza.

**Tabla N° 6:
Acumulación de Polvo, Septiembre 2018.**

Manzana	Calle	Pre Limpieza			Post Limpieza			Eficiencia
		Calle (g)	Vereda (g)	Acumulado (g/m ²)	Calle (g)	Vereda (g)	Acumulado (g/m ²)	
M124	21 de Mayo	26	221	27,4	34	66	11,1	59.5%
	Condell	77	216	32,6	49	39	9,8	70.0%
	Copiapó	48	75	13,7	30	37	7,4	45.5%
	Latorre	106	109	23,9	83	47	14,4	39.5%

Figura 6 Cálculo de carga de polvo sedimentable en informe de Algoritmo

Fuente: Informe de Resultados N°1, Anexo 10, expediente SMA.

4.3 Respecto a los análisis presentados en informes de resultados de la SMA

La Res N°1065 Resuelvo letra c) establece:

En cuanto a la determinación de las concentraciones de Arsénico, Cobre y Plomo, éstas se harán sobre las mismas muestras obtenidas para la determinación de la masa por unidad de superficie de polvo sedimentado. En dicho sentido, se debe tener en cuenta que la extracción de polvo en seis franjas¹⁶ de cada cuadra (es decir, de las tres franjas desde las calles, y tres franjas desde las aceras), está destinada a determinar la representatividad del contenido de polvo en la misma, motivo por el cual, al determinar las concentraciones del polvo en calles y aceras por cada cuadra, basta con que se haga una muestra compuesta a partir de las seis franjas resultantes, y sobre éste realizar el análisis de concentraciones.

Para cada muestra se deberán analizar las concentraciones en masa seca de Cobre, Arsénico y Plomo, registrando además su respectiva coordenada geográfica, en datum WGS84.

De acuerdo al párrafo anterior, lo recomendable era presentar las concentraciones de As, Cu y Pb por unidad de superficie, es decir en mg/m². Sin embargo, el informe de Algoritmos presenta las concentraciones de As, Cu y Pb en solo en unidades mg/kg lo cual no permitió evaluar a cabalidad los efectos de la limpieza.

A modo de ejemplo, durante la campaña se observaron casos, en que la concentración de metales en el polvo (mg/kg) es mayor después de la limpieza. Sin embargo, al realizar el análisis considerando la carga, es decir la masa por unidad de superficie (mg/m²), que es lo realmente relevante, se observó una clara disminución después de la limpieza. Por lo antes indicado, el análisis estadístico del Anexo 16 debió ser complementado o realizarse considerando las concentraciones por unidad de superficie.

Respecto a los resultados de comparación de cargas con eficiencias negativas: Al considerar las concentraciones de Pb en el 100% de las muestras hay disminución. En cambio, para As y Cu hay algunos casos con aumentos de concentración post limpieza, lo cual podría estar explicado por una parte a que corresponde a cargas iniciales bajas, por lo mismo asociado a menor carga disponible para análisis, en ese escenario el peso de la aspiradora y sensibilidad balanza pudo jugar un rol relevante, sobre todo con esas variaciones de peso inicial de cada muestreo. Otro factor, pudo ser un aumento de carga en el camino por algún tipo de evento durante el período entre la limpieza y la toma de muestra.

4.4 Respecto a actas de fiscalización

En actas de fiscalización (disponibles en Anexo 3 de archivo ANEXOS IFA MUT ATI (MP-015-2018.zip) del expediente de la SMA. Lo más relevante, es que se menciona que cada celda muestreada corresponde a un área de 9m² y que se pesa la aspiradora completa, antes y después de realizado el muestreo, y luego el polvo colectado es puesto en una bolsa ziploc, que es pesada nuevamente.

En cambio, en los informes de resultados entregados por Algoritmos como se ha indicado, un área de celda de 3 m², pero no menciona la determinación de peso de las bolsas ziploc, solo de las aspiradoras antes y después de la muestra.

4.5 Respecto al informe de fiscalización de la SMA (DFZ-2018-2307-II-RCA)

4.5.1 Estimación de carga de polvo en calles y eficiencia de limpieza

La SMA realizó un análisis de los datos obtenidos en la campaña de limpieza, recalculando tanto la carga de polvo en la calle antes y después de la limpieza, como la concentración de metales.

Respecto a los cálculos realizados por la SMA una revisión de la planilla ANEXO 14.xls, permite concluir, que se siguió el mismo procedimiento antes indicado para Algoritmos. Sin embargo, coherente con lo indicado en sus actas de inspección se consideró un área de celda de 9 m², por lo que la masa de polvo recolectada para calles y veredas se dividió por 27 m² respectivamente (asociado a 3 celdas de 9 m²). Al igual que en el caso de Algoritmos, la SMA en vez de promediar la carga de calle y veredas las sumó. Dado que esto es equivalente a sumar la masa total de polvo y dividirla por 27 m², en circunstancia que considerando celdas de 3 m² debió ser dividida por un área total de 18 m². El efecto final es subestimar la carga de polvo en la calle. Sin embargo, como se ha indicado, esto no altera el cálculo de eficiencia, ni tampoco los análisis estadísticos.

	Calle	Manzana	Superficie de cada muestra (m ²)	Composición Muestras desde 3 Incrementos c/u previo a la limpieza		Carga por Superficie previo a la limpieza		
				Calles (gr)	Veredas (gr)	Calles (gr/m ²)	Vereda (gr/m ²)	Calles y Vereda (gr/m ²)
4	Latorre	M006.0	27	61	89	2,26	3,3	5,6
5	Grecia	M006.0	27	33	433	1,22	16,0	17,3
6	21 de Mayo	M006.0	27	43	72	1,59	2,7	4,3
7	Latorre	M006.1	27	170	115	6,30	4,3	10,6

Figura 7 Registros de “Planilla Anexo 14.xls”, hoja “1° Camp. Eficiencia”.

4.5.2 Análisis estadístico de concentración de metales en polvo realizado por la SMA.

Con el fin de determinar si producto de la limpieza existió una variación de los metales presentes en el polvo, conforme al considerando 54 de la R.E. SMA N° 1065/2018, en que se indica:

“Considerando 54. [...] la recopilación de datos en el mediano plazo, es necesaria para determinar si existe una mínima tendencia a la disminución de masas y si dicha disminución está relacionada con las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo. [...]”

La SMA realizó un análisis estadístico aplicando el test de Fisher (F) para la varianza y el test de Student (t) para determinar si existe variación las medias de concentración de metales en el polvo antes y después de la limpieza, concluyéndose lo siguiente:

“Determinación de concentraciones de As, Cu y Pb, en cada una de las muestras tomadas en las 3 campañas. De cuya comparación estadística de medias fue posible constatar que solo el As presento una disminución luego de ejecutadas las tres campañas de limpieza. En cuanto las medias de Cu y Pb no presentaron variación luego de la ejecución de las limpiezas.”

El resumen de los resultados de las pruebas estadísticas se muestra en la Tabla 4-1 .

A partir de los resultados de los análisis estadísticos sobre la concentración de metales en el polvo expresada en mg/kg, no es posible afirmar que exista una relación de disminución estricta de la concentración de metales en el polvo producto de la limpieza.

Es decir, no existe una modificación de la composición del polvo. Por lo tanto, la reducción de la concentración promedio de As, en dos de las tres campañas después de la operación de limpieza, no permite afirmar que la operación disminuya la concentración de metales, alterando la composición del polvo, pues de ser así se habría observado una disminución también en el Cu y el Pb.

Esto reafirma lo indicado por ATI, respecto a que la operación de limpieza de calles es una medida cuyo efecto es disminuir la carga de polvo y metales sobre los caminos (mg/m²), no debiendo tener un efecto directo sobre la composición del polvo (mg/kg).

Tabla 4-1 Resumen de análisis F y t de concentración de metales en polvo (mg/kg)

	Cu		As		Pb	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
Campaña 1						
Media	2.145,97	1.798,74	38,58	24,67	116,85	113,89
Varianza	2.342.521,23	1.912.465,17	1.151,52	244,05	1.937,86	884,91
Conclusión prueba F	Varianzas iguales		Varianzas desiguales		Varianzas desiguales	
Conclusión prueba t	Medias iguales		Medias desiguales		Medias iguales	
Campaña 2						
Media	2.223,84	2.198,42	21,77	24,03	142,30	146,95
Varianza	3.175.428,08	2.738.323,16	137,98	268,45	4.093,34	4.223,65
Conclusión prueba F	Varianzas iguales		Varianzas iguales		Varianzas desiguales	
Conclusión prueba t	Medias iguales		Medias iguales		Medias iguales	
Campaña 3						
Media	1.705,42	1.855,70	23,38	18,75	121,95	118,74
Varianza	1.825.484,52	1.649.840,16	187,92	105,90	1.634,44	1.077,53
Conclusión prueba F	Varianzas iguales		Varianzas desiguales		Varianzas iguales	
Conclusión prueba t	Medias iguales		Medias desiguales		Medias iguales	

Nota: PRE (Previo a limpieza), POST (Posterior a limpieza)

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de Anexo 16, expediente SMA

5 Análisis estadístico sobre la carga de metales por superficie de calle.

Para demostrar, que como planteó ATI en el recurso de reclamación, el efecto del barrido de calles, será disminuir la carga de polvo y metales sobre la calle (mg/m^2), y por lo tanto disminuir las emisiones de polvo desde la calle.

Con el fin de ampliar el análisis realizado por la SMA, se realizó la misma evaluación estadística, pero considerando la carga de metales en la calle (mg/m^2), antes y después de la operación de barrido. La carga fue calculada a partir de la carga total de polvo estimada en el estudio, antes y después del barrido, y de la concentración de metales presente en las muestras de polvo. Conforme a lo planteado respecto a que el área total muestreada debió corresponder, según lo reportado por Algoritmos, a 6 celdas de 3m^2 , la masa total levantada en las 6 muestras fue dividida por 18 m^2 , para obtener la carga total.

En el análisis estadístico se siguieron los siguientes pasos:

- Se verificó la existencia de datos fuera de rango u Outliers, utilizando como límites la media (\bar{X}) \pm 3 veces la desviación típica de la muestra (σ). Elimínandose las cuerdas fuera de rango.
- Para determinar el tipo de prueba t que corresponde aplicar, es decir suponiendo varianzas iguales o desiguales, se utilizó la Prueba F.
- Luego, se procedió a ejecutar la Prueba t correspondiente, para determinar si las medias de las concentraciones obtenidas antes y después de la limpieza en cada campaña, son estadísticamente iguales o no. El desarrollo de las pruebas antes descritas se encuentra en el Anexo I del presente memo.

Un resumen de los resultados de las pruebas estadísticas, se muestran en la Tabla 5-1. El resultado es concluyente, respecto a que en todas las campañas se muestra una variación de las medias de

carga de metales, para Pb, Cu y As, después de cada limpieza. Dado que las medias son menores después de la operación de barrido, respecto a la constatada antes de dicha operación, se puede concluir que la operación de barrido, disminuyó la carga de todos los metales, después de cada barrido.

Por lo tanto, si bien el análisis sobre la concentración de metales en el polvo (mg/kg), no puede concluir que la operación de barrido modifique la composición del polvo, en todos los metales. El análisis sobre la carga de metales en la calle (mg/m²) es concluyente, respecto a que la operación de limpieza disminuye la carga de metales en la calle.

Tabla 5-1 Resumen de resultados de pruebas F y t de carga de metales en calles (mg/m²)

	Cu		As		Pb	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
Campaña 1						
Media	45,60	11,59	0,67	0,15	1,95	0,70
Varianza	3.450,29	94,72	0,74	0,01	2,90	0,11
Conclusión prueba F	Varianzas desiguales		Varianzas desiguales		Varianzas desiguales	
Conclusión prueba t	Medias desiguales		Medias desiguales		Medias desiguales	
Campaña 2						
Media	23,46	11,18	0,25	0,13	1,42	0,15
Varianza	1.177,59	70,67	0,04	0,01	1,06	0,01
Conclusión prueba F	Varianzas desiguales		Varianzas desiguales		Varianzas desiguales	
Conclusión prueba t	Medias desiguales		Medias desiguales		Medias desiguales	
Campaña 3						
Media	20,43	11,03	0,28	0,11	1,54	0,07
Varianza	244,27	74,05	0,05	0,01	0,92	0,00
Conclusión prueba F	Varianzas desiguales		Varianzas desiguales		Varianzas desiguales	
Conclusión prueba t	Medias desiguales		Medias desiguales		Medias desiguales	

Nota: PRE (Previo a limpieza), POST (Posterior a limpieza).

Fuente: Elaboración propia a partir de planillas de resultados de muestreo de Algoritmos

Para complementar el análisis anterior, en la Figura 8 y la Figura 9, muestra para la Campaña 1 los resultados del análisis de plomo, expresado concentraciones de Pb en el polvo (mg/kg) y la carga de plomo en la calle (mg/m²), respectivamente. Se observa que muchas de las calles que muestran aumento de concentraciones de Pb en el polvo, después de la limpieza, muestran reducciones al evaluarse su carga de polvo. Adicionalmente, el efecto de reducción producido por la operación de limpieza es mucho más notorio.

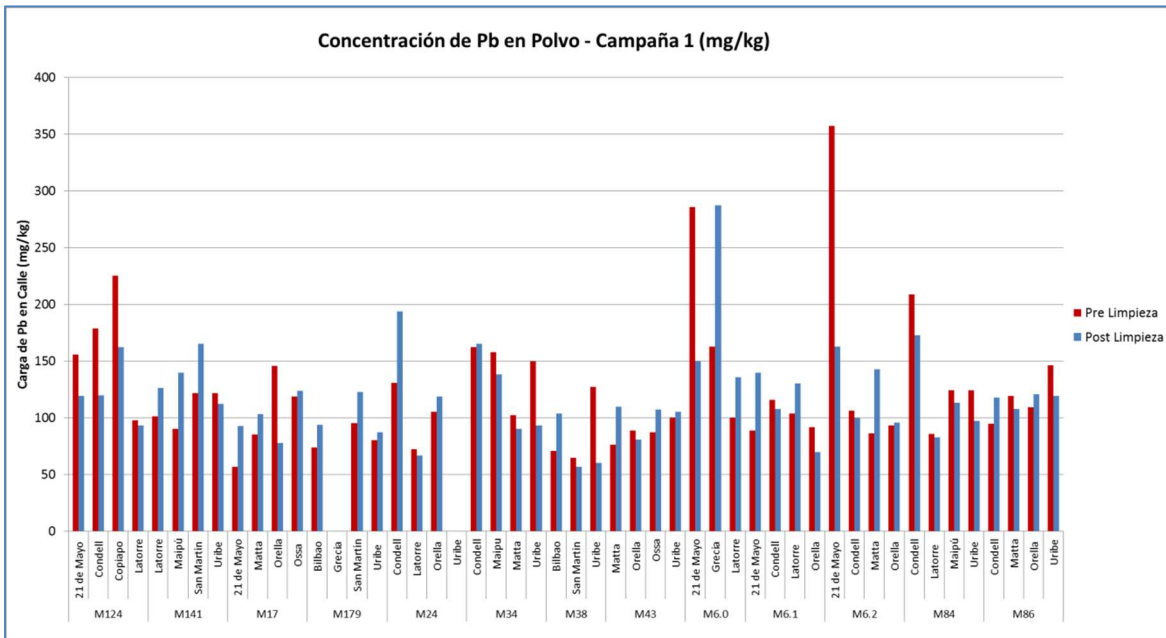


Figura 8 Concentración de Pb en muestras de polvo, Campaña 1 (mg/kg)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

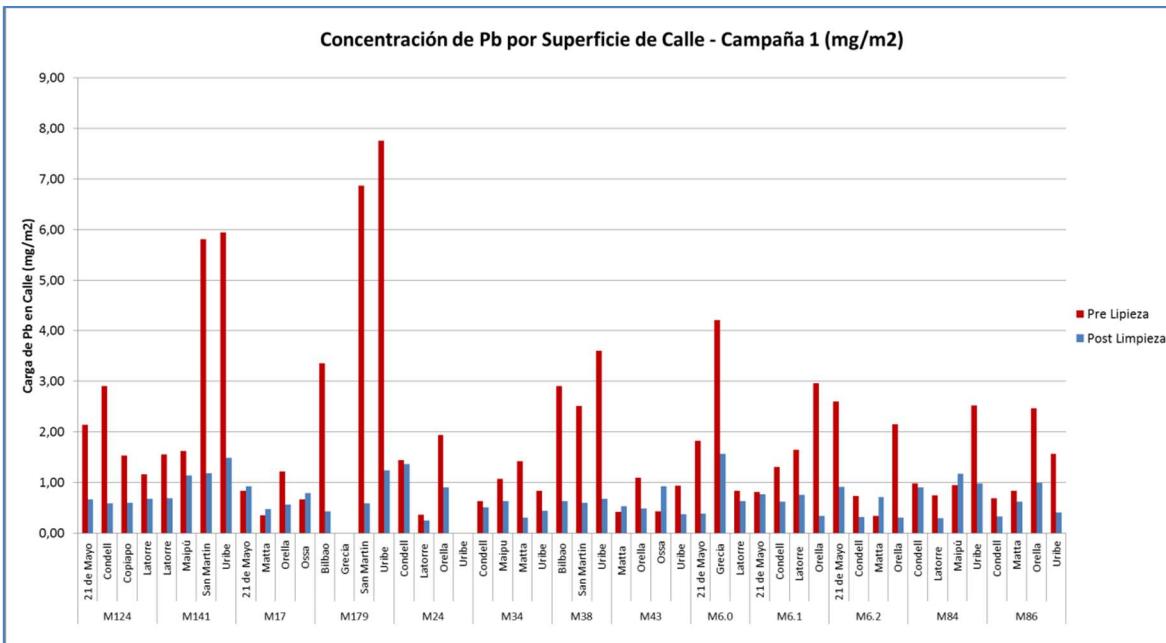


Figura 9 Carga de Pb en calles, Campaña 1 (mg/m²)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

En la Figura 10, se muestra el resultado de la carga de polvo total en la calle, previo al limpiado (PRE) en grafico de barras y posterior al limpiado (POST) en grafico de líneas. Se observa una clara disminución de la carga de polvo, posterior al limpiado.

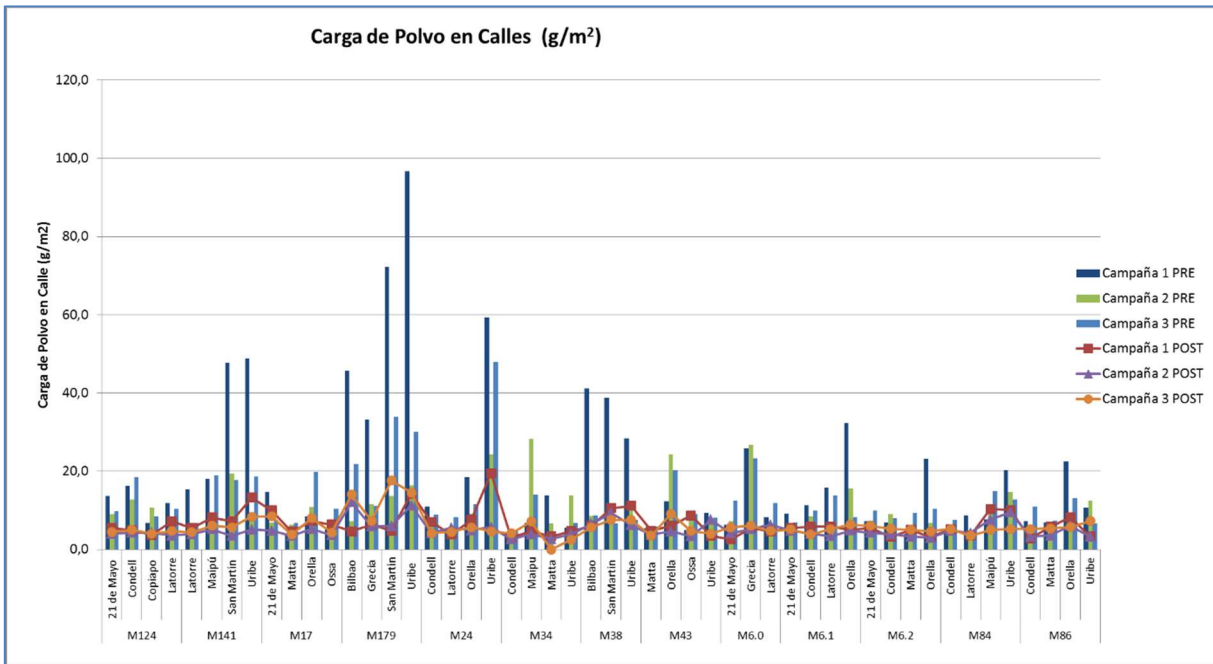


Figura 10 Carga de polvo en calles, Campaña 1, 2 y 3 (g/m²)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

Al observar la Figura 11 a Figura 16, se analiza la carga de metales en la calle, se aprecia claramente que existe una reducción más evidente de todos los metales, cuando la variable evaluada es la carga de metales en los caminos (mg/m²), en vez de la concentración de metales en el polvo (mg/kg).

El análisis antes indicado, reafirma lo que ha indicado ATI, respecto a que el efecto de la medida de barrido de calles es reducir la carga de polvo en el camino (mg/m²) y no la concentración de metales en el polvo recolectado, es decir la composición del polvo (mg/kg). Algo que es corroborado por los análisis estadísticos.

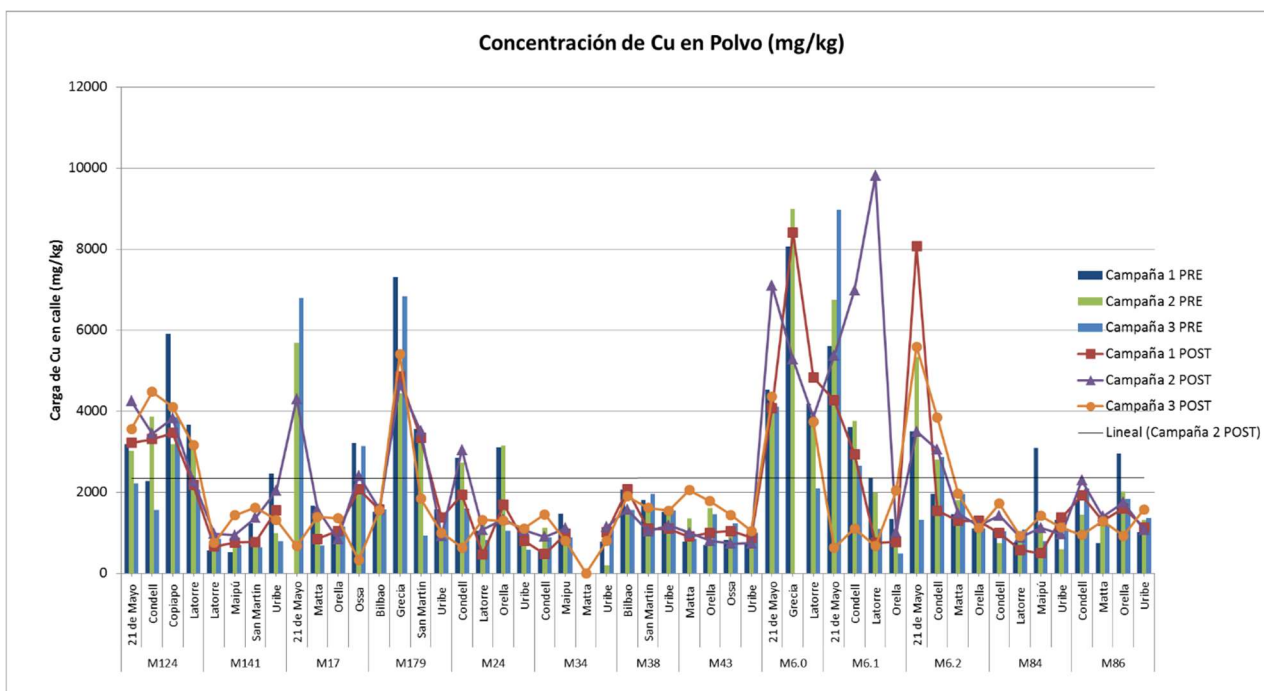


Figura 11 Concentración de Cu en polvo, Campaña 1, 2 y 3 (mg/kg)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

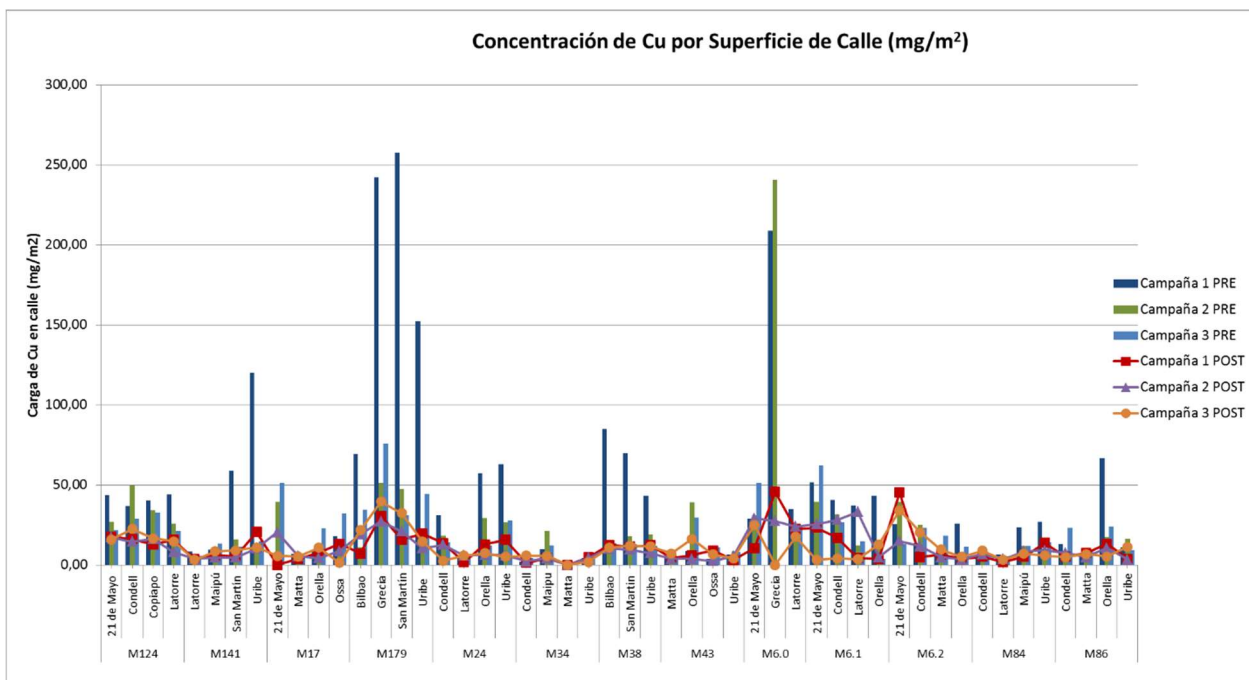


Figura 12 Carga de Cu en calles, Campaña 1, 2 y 3 (mg/m²)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

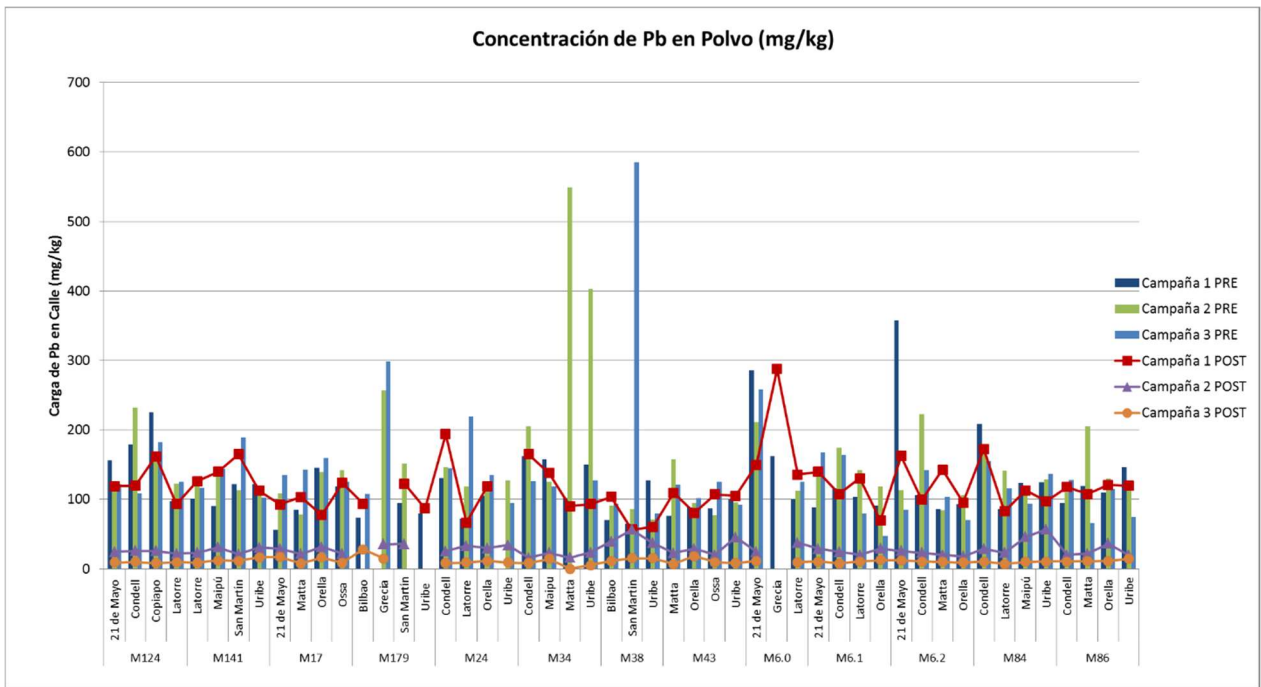


Figura 13 Concentración de Pb en polvo, Campaña 1, 2 y 3 (mg/kg)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos

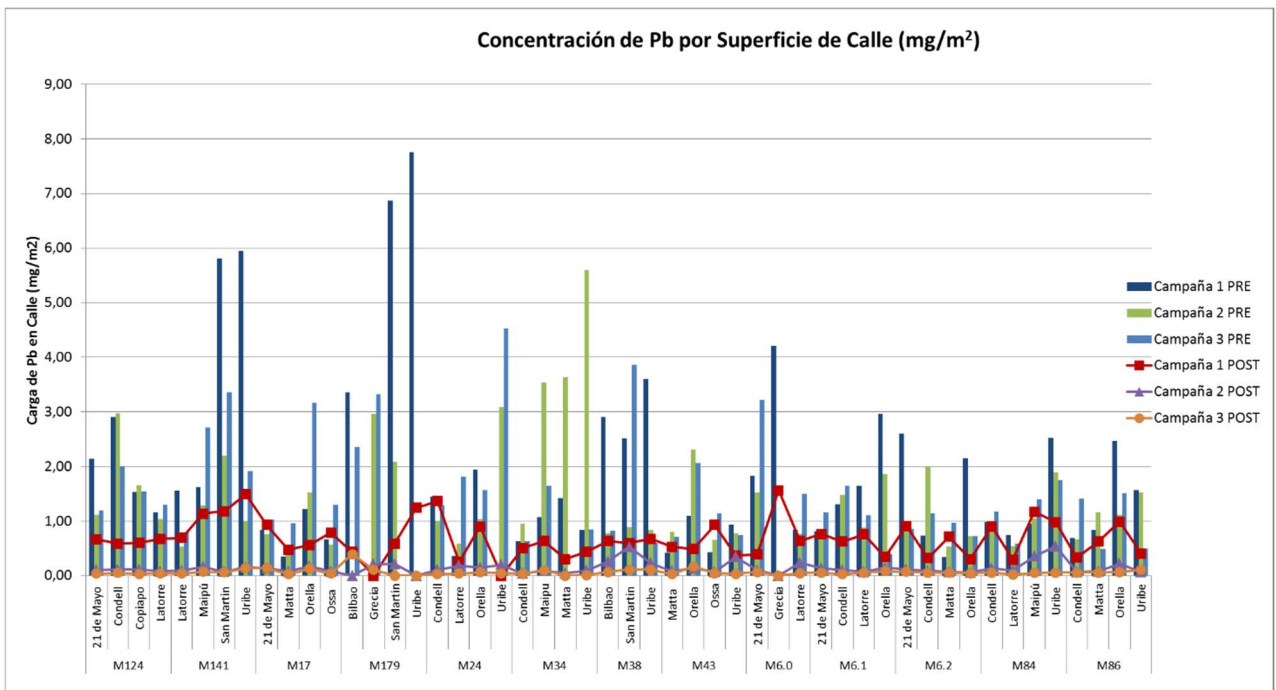


Figura 14 Carga de Pb en calles, Campaña 1, 2 y 3 (mg/m²)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

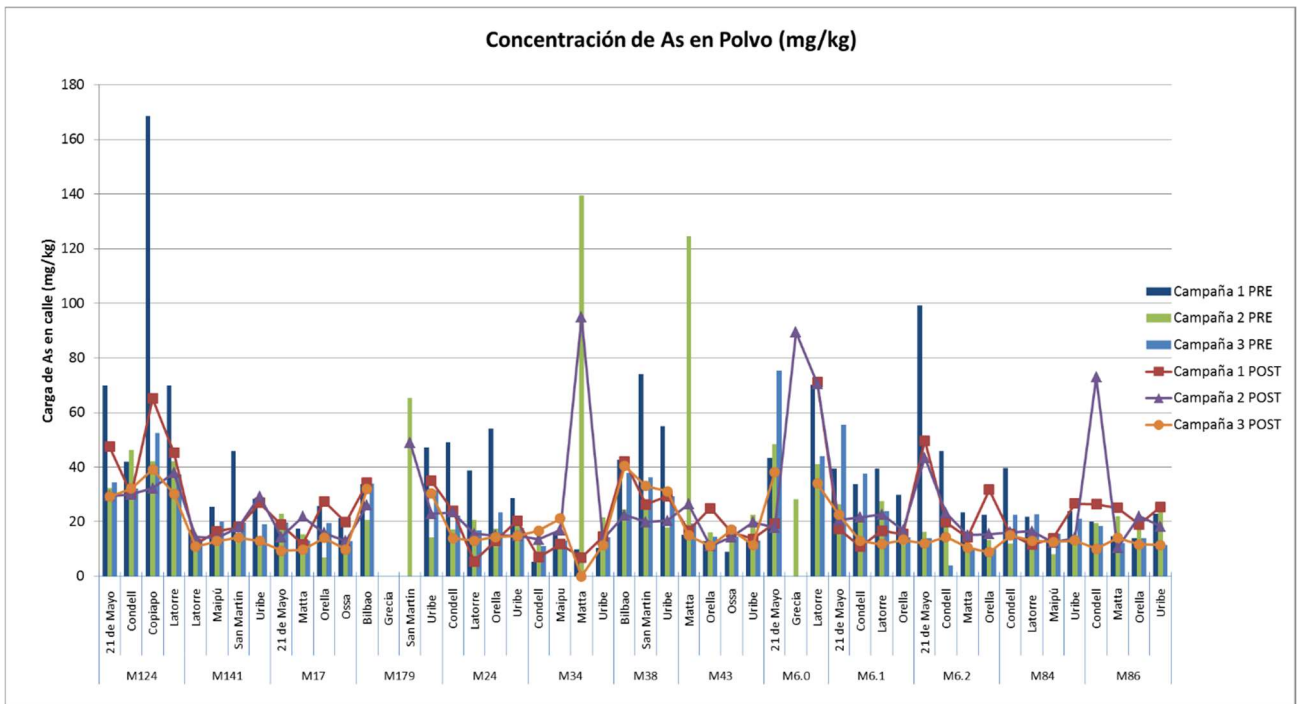


Figura 15 Concentración de As en polvo, Campaña 1, 2 y 3 (mg/kg)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

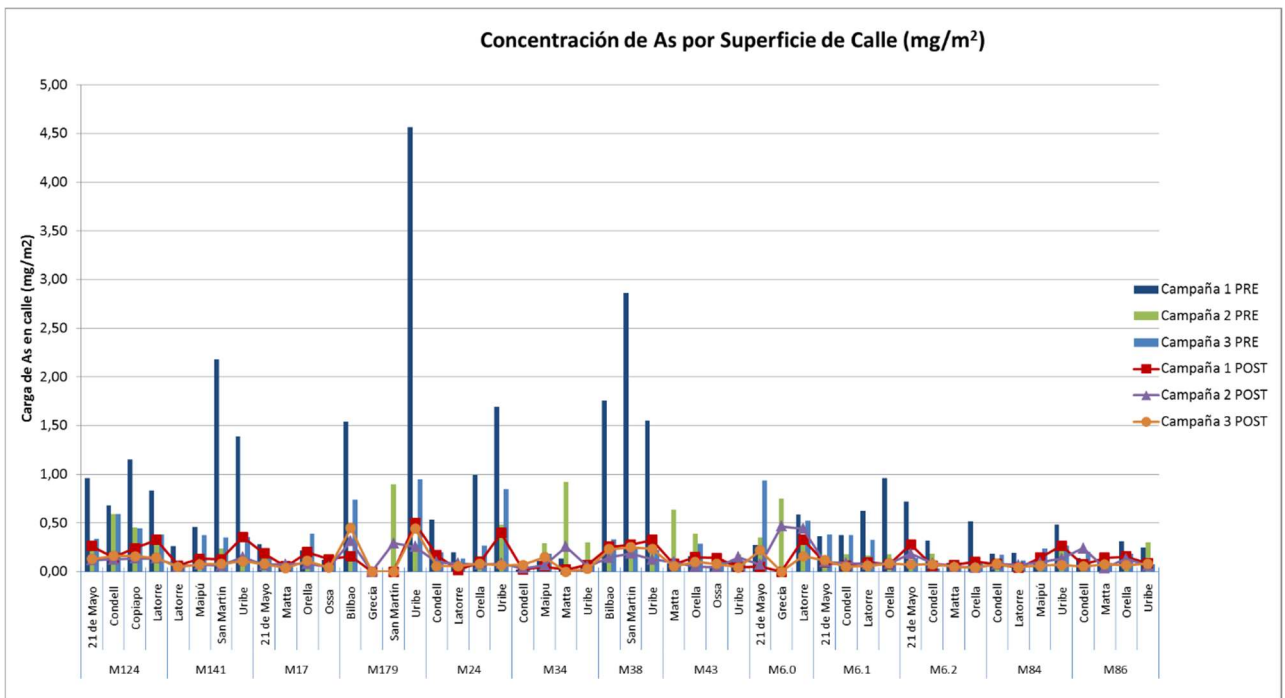


Figura 16 Carga de As en calles, Campaña 1, 2 y 3 (mg/m²)

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Algoritmos sin outliers

6 Conclusiones

- Se revisaron documentos enviados por ATI y los disponibles en el Sistema Nacional de información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), Expediente “DFZ-2018-2307-II-RCA”.
- De los análisis de la documentación disponible, se entiende que, según el diseño de monitoreo de Algoritmos, se levantaron muestras en celdas de 3 m².
- Por otra parte, observando el esquema de muestreo de Algoritmos, se entiende que, si se tomaron tres muestras de calle y tres de vereda, entonces el área muestreada en calle fue de 9 m² y en la de veredas de 9 m², con un área total muestreada de 18 m², sumando calles y veredas.
- En actas de fiscalización de la SMA, disponibles en Anexo 3 del expediente de la SMA, quedo establecido que la celda muestreada corresponde a un área de 9m², en circunstancia de que, según lo indicado en los informes de Algoritmos, la celda muestreadas correspondió a un área de 3 m².
- Se detectó un error en la forma que estimo la carga total de polvo, tanto la Algoritmos como la SMA, debido a que se sumaron las cargas estimadas para calle y vereda, en circunstancia que debieron ser promediadas o estimadas a partir de la cantidad de polvo obtenida en las 6 muestras y el área total muestreada (18 m²).
- Producto de los errores detectados Algoritmos consideró en el cálculo de la carga total un área de 9 m², y la SMA una de 27 m², sobrestimado y subestimando la carga de polvo respectivamente. Sin embargo, si bien el considerar un área diferente a la muestreada altera la carga de polvo estimada, no altera las conclusiones respecto a la eficiencia de la operación de barrido, dado que este se estima en base al cociente entre la carga inicial y final.
- La SMA realizó un análisis estadístico aplicando el test de Fisher (F) para la varianza y el test de Student (t) para determinar si existe variación las medias de concentración de metales en el polvo antes y después de la limpieza, concluyéndose lo siguiente: *“Determinación de concentraciones de As, Cu y Pb, en cada una de las muestras tomadas en las 3 campañas. De cuya comparación estadística de medias fue posible constatar que solo el As presento una disminución luego de ejecutadas las tres campañas de limpieza. En cuanto las medias de Cu y Pb no presentaron variación luego de la ejecución de las limpiezas.”*
- A partir de los resultados de los análisis estadísticos realizados por la SMA, sobre la concentración de metales en el polvo expresada en mg/kg, no es posible afirmar que exista una relación de disminución estricta de la concentración de metales en el polvo producto de la limpieza. Es decir, no existe una modificación de la composición del polvo. Por lo tanto, la reducción de la concentración promedio de As, en dos de las tres campañas después de la operación de limpieza, no permite afirmar que la operación disminuya la concentración de metales, alterando la composición del polvo, pues de ser así, se habría observado una disminución también en el Cu y el Pb.

- Con el fin de ampliar el análisis realizado por la SMA, se realizó la misma evaluación estadística, pero considerando la carga de metales (mg/m^2) en la calle antes y después de la operación de barrido. La carga fue calculada a partir de la carga total de polvo estimada en el estudio, y de la concentración de metales presente en las muestras de polvo. Conforme a lo planteado respecto a que el área total muestreada debió corresponder, según lo reportado por Algoritmos, a 6 celdas de 3m^2 , la masa total levantada en las 6 muestras fue dividida por 18 m^2 , para obtener la carga total.
- El resultado del análisis estadístico, sobre la carga de metales en la calle, es concluyente, respecto a que en todas las campañas se muestra una variación de las medias de carga de metales, para Pb, Cu y As, después de cada limpieza. Dado que las medias son menores después de la operación de barrido, respecto a la constatada antes de dicha operación, se puede concluir que la operación de barrido, disminuyó la carga de todos los metales, después de cada barrido.
- Por lo tanto, si bien el análisis sobre la concentración de metales en el polvo (mg/kg), no puede concluir que la operación de barrido modifique la composición del polvo, en todos los metales. El análisis sobre la carga de metales en la calle (mg/m^2) es concluyente, respecto a que la operación de limpieza disminuye la carga de metales en la calle.
- El análisis realizado, reafirma lo que ha indicado ATI, respecto a que el efecto de la medida de barrido de calles es reducir la carga de polvo en el camino (mg/m^2) y no la concentración de metales en el polvo recolectado, es decir la composición del polvo (mg/kg). Algo que es corroborado por los análisis estadísticos.

Anexo I
**Detalle de pruebas estadísticas de variación de carga de polvo y metales en
calles.**

Anexos Análisis Pruebas F de Varianza y Pruebas t para dos muestras

		Campaña 1																																									
		Cobre																																									
Calle	Manzana	Pre	Post																																								
		mg/m ²	mg/m ²																																								
21 de Mayo	M124	43,8	17,9	Prueba F para varianzas de dos muestras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cu Pre</th> <th>Cu Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>45,60</td> <td>11,5908327</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>3450,29</td> <td>94,7177043</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>48,00</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>47,00</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>36,43</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(F<=f) una cola</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico para F (una cola)</td> <td>1,62</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">F>Valor crítico, Varianzas desiguales</td> </tr> </tbody> </table>					Cu Pre	Cu Post	Media	45,60	11,5908327	Varianza	3450,29	94,7177043	Observaciones	48,00	48	Grados de libertad	47,00	47	F	36,43		P(F<=f) una cola	0,00		Valor crítico para F (una cola)	1,62		F>Valor crítico, Varianzas desiguales											
	Cu Pre	Cu Post																																									
Media	45,60	11,5908327																																									
Varianza	3450,29	94,7177043																																									
Observaciones	48,00	48																																									
Grados de libertad	47,00	47																																									
F	36,43																																										
P(F<=f) una cola	0,00																																										
Valor crítico para F (una cola)	1,62																																										
F>Valor crítico, Varianzas desiguales																																											
Condell	M124	37,1	16,2																																								
Copiapo	M124	40,5	12,9																																								
Latorre	M124	43,9	15,7																																								
Latorre	M141	8,7	3,6																																								
Maipú	M141	9,6	6,2																																								
San Martín	M141	59,0	5,6																																								
Uribe	M141	120,1	20,7																																								
Matta	M17	6,8	3,9																																								
Orella	M17	8,8	7,7																																								
Ossa	M17	18,0	13,3																																								
Bilbao	M179	69,5	7,2																																								
Grecia	M179	242,2	30,8																																								
San Martín	M179	257,7	16,0																																								
Uribe	M179	152,3	19,6																																								
Condell	M24	31,4	13,7	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cu Pre</th> <th>Cu Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>45,60</td> <td>11,59</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>3450,29</td> <td>94,72</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>48,00</td> <td>48,00</td> </tr> <tr> <td>Diferencia hipotética de las medias</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>50,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>3,96</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) una cola</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (una cola)</td> <td>1,68</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>2,01</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">P<0,05 Medias desiguales</td> </tr> </tbody> </table>					Cu Pre	Cu Post	Media	45,60	11,59	Varianza	3450,29	94,72	Observaciones	48,00	48,00	Diferencia hipotética de las medias	0,00		Grados de libertad	50,00		Estadístico t	3,96		P(T<=t) una cola	0,00		Valor crítico de t (una cola)	1,68		P(T<=t) dos colas	0,00		Valor crítico de t (dos colas)	2,01		P<0,05 Medias desiguales		
	Cu Pre	Cu Post																																									
Media	45,60	11,59																																									
Varianza	3450,29	94,72																																									
Observaciones	48,00	48,00																																									
Diferencia hipotética de las medias	0,00																																										
Grados de libertad	50,00																																										
Estadístico t	3,96																																										
P(T<=t) una cola	0,00																																										
Valor crítico de t (una cola)	1,68																																										
P(T<=t) dos colas	0,00																																										
Valor crítico de t (dos colas)	2,01																																										
P<0,05 Medias desiguales																																											
Latorre	M24	5,4	1,8																																								
Orella	M24	57,3	12,9																																								
Uribe	M24	63,2	15,8																																								
Condell	M34	2,1	1,5																																								
Maipu	M34	10,1	4,5																																								
Uribe	M34	4,4	4,8																																								
Bilbao	M38	84,8	12,6																																								
San Martin	M38	69,9	11,7																																								
Uribe	M38	43,3	12,3																																								
Matta	M43	4,2	4,4																																								
Orella	M43	8,7	6,1																																								
Ossa	M43	4,1	9,1																																								
Uribe	M43	6,7	3,1																																								
21 de Mayo	M6.0	28,9	10,6																																								
Grecia	M6.0	208,9	45,8																																								
Latorre	M6.0	34,9	22,5																																								
21 de Mayo	M6.1	51,8	23,5																																								
Condell	M6.1	40,8	17,1																																								
Latorre	M6.1	37,2	4,4																																								
Orella	M6.1	43,4	3,8																																								
21 de Mayo	M6.2	25,5	45,3																																								
Condell	M6.2	13,6	5,0																																								
Matta	M6.2	5,9	6,5																																								
Orella	M6.2	25,9	4,1																																								
Condell	M84	5,2	5,2																																								
Latorre	M84	6,7	2,0																																								
Maipú	M84	23,7	5,1																																								
Uribe	M84	27,1	13,9																																								
Condell	M86	13,1	5,5																																								
Matta	M86	5,2	7,5																																								
Orella	M86	66,7	13,2																																								
Uribe	M86	11,0	3,9																																								

		Campaña 1					
		Arsénico					
Calle	Manzana	Pre	Post				
		mg/m ²	mg/m ²				
21 de Mayo	M124	1,0	0,3				
Condell	M124	0,7	0,1				
Copiapo	M124	1,2	0,2				
Latorre	M124	0,8	0,3				
Latorre	M141	0,3	0,1				
Maipú	M141	0,5	0,1				
San Martín	M141	2,2	0,1				
Uribe	M141	1,4	0,4				
21 de Mayo	M17	0,3	0,2				
Matta	M17	0,1	0,1				
Orella	M17	0,2	0,2				
Ossa	M17	0,1	0,1				
Bilbao	M179	1,5	0,2				
Uribe	M179	4,6	0,5				
Condell	M24	0,5	0,2				
Latorre	M24	0,2	0,0				
Orella	M24	1,0	0,1				
Uribe	M24	1,7	0,4				
Condell	M34	0,0	0,0				
Maipu	M34	0,1	0,1				
Matta	M34	0,1	0,0				
Uribe	M34	0,1	0,1				
Bilbao	M38	1,8	0,3				
San Martin	M38	2,9	0,3				
Uribe	M38	1,6	0,3				
Matta	M43	0,1	0,1				
Orella	M43	0,2	0,2				
Ossa	M43	0,0	0,1				
Uribe	M43	0,1	0,0				
21 de Mayo	M6.0	0,3	0,1				
Latorre	M6.0	0,6	0,3				
21 de Mayo	M6.1	0,4	0,1				
Condell	M6.1	0,4	0,1				
Latorre	M6.1	0,6	0,1				
Orella	M6.1	1,0	0,1				
21 de Mayo	M6.2	0,7	0,3				
Condell	M6.2	0,3	0,1				
Matta	M6.2	0,1	0,1				
Orella	M6.2	0,5	0,1				
Condell	M84	0,2	0,1				
Latorre	M84	0,2	0,0				
Maipú	M84	0,1	0,1				
Uribe	M84	0,5	0,3				
Condell	M86	0,1	0,1				
Matta	M86	0,1	0,1				
Orella	M86	0,3	0,2				
Uribe	M86	0,2	0,1				

Prueba F para varianzas de dos muestras			
	As Pre	As Post	
Media	0,67	0,15	
Varianza	0,74	0,01	
Observaciones	47,00	47,00	
Grados de libertad	46,00	46,00	
F	58,59		
P(F<=f) una cola	0,00		
Valor crítico para F (una cola)	1,63		
F>Valor crítico, Varianzas desiguales			

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
	As Pre	As Post	
Media	0,67	0,15	
Varianza	0,74	0,01	
Observaciones	47,00	47,00	
Diferencia hipotética de las medias	0,00		
Grados de libertad	48,00		
Estadístico t	4,12		
P(T<=t) una cola	0,00		
Valor crítico de t (una cola)	1,68		
P(T<=t) dos colas	0,00		
Valor crítico de t (dos colas)	2,01		
P<0,05 Medias desiguales			

		Campaña 1					
		Plomo					
Calle	Manzana	Pre	Post				
		mg/m ²	mg/m ²				
21 de Mayo	M124	2,1	0,7				
Condell	M124	2,9	0,6				
Copiapo	M124	1,5	0,6				
Latorre	M124	1,2	0,7				
Latorre	M141	1,6	0,7				
Maipú	M141	1,6	1,1				
San Martín	M141	5,8	1,2				
Uribe	M141	5,9	1,5				
21 de Mayo	M17	0,8	0,9				
Matta	M17	0,3	0,5				
Orella	M17	1,2	0,6				
Ossa	M17	0,7	0,8				
Bilbao	M179	3,4	0,4				
San Martín	M179	6,9	0,6				
Uribe	M179	7,8	1,2				
Condell	M24	1,4	1,4				
Latorre	M24	0,4	0,3				
Orella	M24	1,9	0,9				
Condell	M34	0,6	0,5				
Maipu	M34	1,1	0,6				
Matta	M34	1,4	0,3				
Uribe	M34	0,8	0,4				
Bilbao	M38	2,9	0,6				
San Martín	M38	2,5	0,6				
Uribe	M38	3,6	0,7				
Matta	M43	0,4	0,5				
Orella	M43	1,1	0,5				
Ossa	M43	0,4	0,9				
Uribe	M43	0,9	0,4				
21 de Mayo	M6.0	1,8	0,4				
Grecia	M6.0	4,2	1,6				
Latorre	M6.0	0,8	0,6				
21 de Mayo	M6.1	0,8	0,8				
Condell	M6.1	1,3	0,6				
Latorre	M6.1	1,6	0,8				
Orella	M6.1	3,0	0,3				
21 de Mayo	M6.2	2,6	0,9				
Condell	M6.2	0,7	0,3				
Matta	M6.2	0,3	0,7				
Orella	M6.2	2,2	0,3				
Condell	M84	1,0	0,9				
Latorre	M84	0,7	0,3				
Maipú	M84	1,0	1,2				
Uribe	M84	2,5	1,0				
Condell	M86	0,7	0,3				
Matta	M86	0,8	0,6				
Orella	M86	2,5	1,0				
Uribe	M86	1,6	0,4				

Prueba F para varianzas de dos muestras			
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>	
Media	1,95	0,70	
Varianza	2,90	0,11	
Observaciones	48,00	48,00	
Grados de libertad	47,00	47,00	
F	27,62		
P(F<=f) una cola	0,00		
Valor crítico para F (una cola)	1,62		
F>Valor crítico, Varianzas desiguales			

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>	
Media	1,95	0,70	
Varianza	2,90	0,11	
Observaciones	48,00	48,00	
Diferencia hipotética de las medias	0,00		
Grados de libertad	50,00		
Estadístico t	4,98		
P(T<=t) una cola	0,00		
Valor crítico de t (una cola)	1,68		
P(T<=t) dos colas	0,00		
Valor crítico de t (dos colas)	2,01		
P<0,05 Medias desiguales			

Campaña 2							
Calle	Manzana	Cobre					
		Pre mg/m ²	Post mg/m ²				
21 de mayo	M124	27,20	17,25	Prueba F para varianzas de dos muestras			
Condell	M124	49,68	14,74				
Copiapó	M124	34,11	16,38		<i>Cu Pre</i>	<i>Cu Post</i>	
Latorre	M124	26,02	8,21	Media	23,46	11,18	
Latorre	M141	3,85	3,81	Varianza	1177,59	70,67	
Maipú	M141	7,58	4,85	Observaciones	49,00	49,00	
San Martin	M141	16,00	4,81	Grados de libertad	48,00	48,00	
Uribe	M141	9,13	10,42	F	16,66		
21 de Mayo	M17	39,54	20,57	P(F<=f) una cola	0,00		
Matta	M17	8,64	5,60	Valor crítico para F (una cola)	1,62		
Orella	M17	12,44	4,44	F>Valor crítico, Varianzas desiguales			
Ossa	M17	8,01	8,85	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
Bilbao	M179	10,99	19,17				
Grecia	M179	51,33	27,39		<i>Cu Pre</i>	<i>Cu Post</i>	
San Martin	M179	47,62	21,05	Media	23,46	11,18	
Uribe	M179	14,03	10,46	Varianza	1177,59	70,67	
Condell	M24	18,48	12,86	Observaciones	49,00	49,00	
Latorre	M24	7,19	6,00	Diferencia hipotética de las medias	0,00		
Orella	M24	29,16	6,61	Grados de libertad	54,00		
Uribe	M24	26,65	6,08	Estadístico t	2,43		
Condell	M34	5,22	2,36	P(T<=t) una cola	0,01		
Maipú	M34	21,44	4,34	Valor crítico de t (una cola)	1,67		
Uribe	M34	2,83	4,52	P(T<=t) dos colas	0,02		
Bilbao	M38	12,60	10,33	Valor crítico de t (dos colas)	2,00		
San Martin	M38	18,10	9,76	P<0,05 Medias desiguales			
Uribe	M38	19,03	7,38				
Matta	M43	6,90	3,80				
Orella	M43	39,08	3,78				
Ossa	M43	8,43	2,51				
Uribe	M43	8,48	5,66				
21 de mayo	M6.0	31,26	29,19				
Grecia	M6.0	240,69	27,59				
Latorre	M6.0	25,96	24,19				
21 de Mayo	M6.1	39,73	25,68				
Condell	M6.1	31,79	28,34				
Latorre	M6.1	12,25	33,25				
Orella	M6.1	15,87	4,98				
21 de Mayo	M6.2	39,74	14,99				
Condell	M6.2	25,24	11,89				
Matta	M6.2	11,36	4,94				
Orella	M6.2	7,07	3,52				
Condell	M84	4,02	6,83				
Latorre	M84	3,02	3,72				
Maipú	M84	11,84	8,64				
Uribe	M84	8,76	9,18				
Condell	M86	8,88	7,66				
Matta	M86	8,22	5,08				
Orella	M86	17,45	10,63				
Uribe	M86	16,56	3,54				

Campaña 2																																								
Calle	Manzana	Arsénico																																						
		Pre	Post																																					
		mg/m ²	mg/m ²																																					
21 de mayo	M124	0,29	0,12	Prueba F para varianzas de dos muestras <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>As Pre</th> <th>As Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0,25</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0,04</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>49,00</td> <td>49,00</td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>48,00</td> <td>48,00</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>4,67</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(F<=f) una cola</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico para F (una cola)</td> <td>1,62</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		As Pre	As Post	Media	0,25	0,13	Varianza	0,04	0,01	Observaciones	49,00	49,00	Grados de libertad	48,00	48,00	F	4,67		P(F<=f) una cola	0,00		Valor crítico para F (una cola)	1,62													
	As Pre	As Post																																						
Media	0,25	0,13																																						
Varianza	0,04	0,01																																						
Observaciones	49,00	49,00																																						
Grados de libertad	48,00	48,00																																						
F	4,67																																							
P(F<=f) una cola	0,00																																							
Valor crítico para F (una cola)	1,62																																							
Condell	M124	0,59	0,13																																					
Copiapó	M124	0,45	0,14																																					
Latorre	M124	0,36	0,14																																					
Latorre	M141	0,05	0,06																																					
Maipú	M141	0,12	0,07																																					
San Martin	M141	0,24	0,06																																					
Uribe	M141	0,12	0,15																																					
21 de Mayo	M17	0,16	0,07																																					
Matta	M17	0,10	0,08																																					
Orella	M17	0,08	0,08																																					
Ossa	M17	0,05	0,05																																					
Bilbao	M179	0,15	0,31																																					
San Martin	M179	0,90	0,29	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>As Pre</th> <th>As Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0,25</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0,04</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>49,00</td> <td>49,00</td> </tr> <tr> <td>Diferencia hipotética de las medias</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td>68,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>3,73</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) una cola</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (una cola)</td> <td>1,67</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>2,00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		As Pre	As Post	Media	0,25	0,13	Varianza	0,04	0,01	Observaciones	49,00	49,00	Diferencia hipotética de las medias	0,00		Grados de libertad	68,00		Estadístico t	3,73		P(T<=t) una cola	0,00		Valor crítico de t (una cola)	1,67		P(T<=t) dos colas	0,00		Valor crítico de t (dos colas)	2,00				
	As Pre	As Post																																						
Media	0,25	0,13																																						
Varianza	0,04	0,01																																						
Observaciones	49,00	49,00																																						
Diferencia hipotética de las medias	0,00																																							
Grados de libertad	68,00																																							
Estadístico t	3,73																																							
P(T<=t) una cola	0,00																																							
Valor crítico de t (una cola)	1,67																																							
P(T<=t) dos colas	0,00																																							
Valor crítico de t (dos colas)	2,00																																							
Uribe	M179	0,23	0,26																																					
Condell	M24	0,12	0,10																																					
Latorre	M24	0,10	0,09																																					
Orella	M24	0,16	0,07																																					
Uribe	M24	0,48	0,09																																					
Condell	M34	0,08	0,04																																					
Maipú	M34	0,29	0,07																																					
Matta	M34	0,92	0,26																																					
Uribe	M34	0,30	0,05																																					
Bilbao	M38	0,21	0,15																																					
San Martin	M38	0,28	0,19																																					
Uribe	M38	0,21	0,13																																					
Matta	M43	0,64	0,10																																					
Orella	M43	0,39	0,05																																					
Ossa	M43	0,13	0,05																																					
Uribe	M43	0,18	0,15																																					
21 de mayo	M6.0	0,35	0,07																																					
Grecia	M6.0	0,75	0,47																																					
Latorre	M6.0	0,28	0,44																																					
21 de Mayo	M6.1	0,16	0,10																																					
Condell	M6.1	0,18	0,09																																					
Latorre	M6.1	0,17	0,08																																					
Orella	M6.1	0,18	0,08																																					
21 de Mayo	M6.2	0,12	0,19																																					
Condell	M6.2	0,19	0,09																																					
Matta	M6.2	0,10	0,05																																					
Orella	M6.2	0,09	0,05																																					
Condell	M84	0,06	0,08																																					
Latorre	M84	0,05	0,07																																					
Maipú	M84	0,08	0,10																																					
Uribe	M84	0,22	0,13																																					
Condell	M86	0,12	0,24																																					
Matta	M86	0,12	0,04																																					
Orella	M86	0,18	0,13																																					
Uribe	M86	0,30	0,06																																					

Campaña 2							
Calle	Manzana	Plomo					
		Pre mg/m ²	Post mg/m ²				
21 de mayo	M124	1,12	0,10				
Condell	M124	2,98	0,11				
Copiapó	M124	1,66	0,11				
Latorre	M124	1,04	0,08				
Latorre	M141	0,53	0,09				
Maipú	M141	1,29	0,16				
San Martin	M141	2,19	0,07				
Uribe	M141	1,00	0,16				
21 de Mayo	M17	0,75	0,14				
Matta	M17	0,49	0,08				
Orella	M17	1,52	0,17				
Ossa	M17	0,57	0,08				
Grecia	M179	2,96	0,21				
San Martin	M179	2,08	0,22				
Condell	M24	0,99	0,11				
Latorre	M24	0,59	0,19				
Orella	M24	1,03	0,15				
Uribe	M24	3,08	0,20				
Condell	M34	0,95	0,04				
Maipú	M34	3,53	0,09				
Matta	M34	3,63	0,04				
Uribe	M34	5,60	0,09				
Bilbao	M38	0,78	0,26				
San Martin	M38	0,90	0,53				
Uribe	M38	0,84	0,23				
Matta	M43	0,81	0,09				
Orella	M43	2,31	0,13				
Ossa	M43	0,66	0,07				
Uribe	M43	0,78	0,34				
21 de mayo	M6.0	1,52	0,10				
Latorre	M6.0	0,77	0,24				
21 de Mayo	M6.1	0,79	0,14				
Condell	M6.1	1,47	0,10				
Latorre	M6.1	0,88	0,07				
Orella	M6.1	1,85	0,14				
21 de Mayo	M6.2	0,85	0,11				
Condell	M6.2	2,01	0,09				
Matta	M6.2	0,53	0,07				
Orella	M6.2	0,73	0,05				
Condell	M84	0,97	0,14				
Latorre	M84	0,54	0,10				
Maipú	M84	1,05	0,35				
Uribe	M84	1,89	0,54				
Condell	M86	0,67	0,07				
Matta	M86	1,16	0,08				
Orella	M86	1,11	0,22				
Uribe	M86	1,52	0,06				

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>
Media	1,42	0,15
Varianza	1,06	0,01
Observaciones	47,00	47,00
Grados de libertad	46,00	46,00
F	88,97	
P(F<=f) una cola	0,00	
Valor crítico para F (una cola)	1,63	

F>Valor crítico, Varianzas desiguales		
---	--	--

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>
Media	1,42	0,15
Varianza	1,06	0,01
Observaciones	47,00	47,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	47,00	
Estadístico t	8,47	
P(T<=t) una cola	0,00	
Valor crítico de t (una cola)	1,68	
P(T<=t) dos colas	0,00	
Valor crítico de t (dos colas)	2,01	

P<0,05 Medias desiguales		
------------------------------------	--	--

Campaña 3							
Calle	Manzana	Cobre		mg/m ²	mg/m ²		
		Pre	Post				
21 de Mayo	M124	21,71	16,03			Prueba F para varianzas de dos muestras	
Condell	M124	28,93	22,65				
Copiapó	M124	32,72	16,66				
Latorre	M124	21,35	14,93				
Latorre	M141	5,75	3,34				
Maipú	M141	13,32	8,67				
San Martin	M141	11,41	9,20				
Uribe	M141	14,92	11,06				
21 de Mayo	M17	51,29	5,75				
Matta	M17	4,61	5,36				
Orella	M17	22,86	10,87				
Ossa	M17	32,43	1,41				
Bilbao	M179	34,71	21,91				
Grecia	M179	75,99	39,62				
San Martin	M179	31,31	32,54				
Uribe	M179	44,32	14,63				
Condell	M24	14,20	2,70				
Latorre	M24	6,79	5,95				
Orella	M24	12,23	7,38				
Uribe	M24	27,81	5,12				
Condell	M34	4,42	5,99				
Maipú	M34	12,40	5,67				
Uribe	M34	7,77	2,05				
Bilbao	M38	13,77	10,88				
San Martin	M38	12,97	12,23				
Uribe	M38	11,76	11,67				
Matta	M43	5,01	7,31				
Orella	M43	29,61	16,32				
Ossa	M43	11,13	6,80				
Uribe	M43	8,16	4,26				
21 de Mayo	M6.0	51,25	24,98				
Latorre	M6.0	25,05	17,63				
21 de Mayo	M6.1	62,28	3,26				
Condell	M6.1	26,63	4,24				
Latorre	M6.1	15,03	3,59				
Orella	M6.1	4,07	13,05				
21 de Mayo	M6.2	13,18	34,17				
Condell	M6.2	23,18	20,49				
Matta	M6.2	18,32	9,82				
Orella	M6.2	11,50	5,21				
Condell	M84	7,93	8,98				
Latorre	M84	5,50	3,22				
Maipú	M84	11,93	7,19				
Uribe	M84	14,15	5,96				
Condell	M86	23,14	5,03				
Matta	M86	8,60	6,95				
Orella	M86	24,20	5,35				
Uribe	M86	9,11	11,48				

		<i>Cu Pre</i>	<i>Cu Post</i>
Media		20,43	11,03
Varianza		244,27	74,05
Observaciones		48,00	48,00
Grados de libertad		47,00	47,00
F		3,30	
P(F<=f) una cola		0,00	
Valor crítico para F (una cola)		1,62	

F>Valor crítico, Varianzas desiguales			
---	--	--	--

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
		<i>Cu Pre</i>	<i>Cu Post</i>
Media		20,43	11,03
Varianza		244,27	74,05
Observaciones		48,00	48,00
Diferencia hipotética de las medias		0,00	
Grados de libertad		73,00	
Estadístico t		3,65	
P(T<=t) una cola		0,00	
Valor crítico de t (una cola)		1,67	
P(T<=t) dos colas		0,00	
Valor crítico de t (dos colas)		1,99	

P<0,05 Medias desiguales			
------------------------------------	--	--	--

Campaña 3							
Calle	Manzana	Plomo		mg/m ²	mg/m ²		
		Pre	Post				
21 de Mayo	M124	1,19	0,04				
Condell	M124	2,01	0,05				
Copiapó	M124	1,55	0,03				
Latorre	M124	1,29	0,04				
Latorre	M141	0,79	0,04				
Maipú	M141	2,71	0,07				
San Martin	M141	3,36	0,06				
Uribe	M141	1,91	0,14				
21 de Mayo	M17	1,02	0,14				
Matta	M17	0,96	0,03				
Orella	M17	3,17	0,13				
Ossa	M17	1,30	0,04				
Bilbao	M179	2,35	0,39				
Grecia	M179	3,32	0,11				
Condell	M24	1,28	0,04				
Latorre	M24	1,81	0,04				
Orella	M24	1,57	0,06				
Uribe	M24	4,53	0,04				
Condell	M34	0,63	0,03				
Maipú	M34	1,65	0,10				
Uribe	M34	0,85	0,01				
Bilbao	M38	0,83	0,07				
San Martin	M38	3,87	0,11				
Uribe	M38	0,60	0,11				
Matta	M43	0,71	0,03				
Orella	M43	2,06	0,17				
Ossa	M43	1,14	0,04				
Uribe	M43	0,75	0,03				
21 de Mayo	M6.0	3,22	0,07				
Latorre	M6.0	1,50	0,04				
21 de Mayo	M6.1	1,16	0,05				
Condell	M6.1	1,64	0,03				
Latorre	M6.1	1,10	0,06				
Orella	M6.1	0,39	0,08				
21 de Mayo	M6.2	0,85	0,07				
Condell	M6.2	1,14	0,06				
Matta	M6.2	0,97	0,05				
Orella	M6.2	0,72	0,04				
Condell	M84	1,18	0,05				
Latorre	M84	0,59	0,02				
Maipú	M84	1,40	0,05				
Uribe	M84	1,74	0,06				
Condell	M86	1,41	0,06				
Matta	M86	0,48	0,06				
Orella	M86	1,51	0,07				
Uribe	M86	0,50	0,11				

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>
Media	1,54	0,07
Varianza	0,92	0,00
Observaciones	46,00	46,00
Grados de libertad	45,00	45,00
F	257,43	
P(F<=f) una cola	0,00	
Valor crítico para F (una cola)	1,64	

F>Valor crítico, Varianzas desiguales		
---	--	--

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Pb Pre</i>	<i>Pb Post</i>
Media	1,54	0,07
Varianza	0,92	0,00
Observaciones	46,00	46,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	45,00	
Estadístico t	10,37	
P(T<=t) una cola	0,00	
Valor crítico de t (una cola)	1,68	
P(T<=t) dos colas	0,00	
Valor crítico de t (dos colas)	2,01	

P<0,05 Medias desiguales		
------------------------------------	--	--