



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

“Estudio Teórico-Experimental de Demanda,
Tecnología y Economía de Métodos para la
Supresión de Polvo en caminos de la Región de Los Ríos”.

PROFESOR PATROCINANTE: SR. FRANK SCHANACK
DOCTOR INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS Y PUERTOS DIPLOM-INGENIEUR

Tesis de Grado presentada como parte
de los requisitos para optar al Título de:
Ingeniero Civil en Obras Civiles.

ANDRES MARCELO GARCIA RUIZ
VALDIVIA – CHILE
2012

A mis Padres por su apoyo incondicional

A mis Hermanos y amigos por sus consejos

A Paula por su paciencia y cariño

Agradecimientos

Deseo comenzar agradeciendo a toda mi familia, debido a que son un pilar fundamental en mi vida. A mis Hermanos quienes me han ayudado en todo momento y en especial a mis Padres, quienes por su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, me han permitido alcanzar mis metas.

Me gustaría agradecer también a la Empresa VialCorp, por el apoyo proporcionado, para llevar a cabo esta investigación, destacando los consejos del Señor Felipe Domínguez, Gerente General de la empresa, quien siempre estuvo disponible para atender mis consultas.

Mis Agradecimientos a la Dirección de Vialidad de la Región de Los Ríos, Departamento de Conservación Vial, por confiar en el desarrollo investigativo en el área ingenieril y entregarme todas las herramientas necesarias para llevar a cabo mi tesis.

Además, agradecer a funcionarios y compañeros del Instituto de Obras Civiles de la Universidad Austral de Chile, por el apoyo intelectual y también en materiales. Quisiera destacar el aporte del Doctor Frank Schanack, por confiar en mí, y entregarme la responsabilidad de llevar adelante esta tesis, entregándome su constante apoyo académico.

Finalmente agradecer a mi querida Paula, por su apoyo constante en esta travesía y también a mis compañeros y amigos cercanos, por la ayuda entregada en el desarrollo de las diferentes temáticas de mi tesis.

Índice General

1	INTRODUCCIÓN.	1
1.1.	Planteamiento del Problema.	1
1.2.	Objetivos.	2
1.2.1.	Objetivo General.	2
1.2.2.	Objetivos Específicos:	2
1.3.	Antecedentes Generales.	3
1.3.1.	Red Vial Nacional y Regional	3
1.3.2.	Opciones de tratamientos a los caminos no Pavimentados.	3
1.3.3.	Problemáticas de la generación de polvo en caminos no pavimentados.	4
1.3.3.1.	¿Qué es el polvo?:	4
1.3.3.2.	Polvo en carreteras:	4
1.3.3.3.	Tipos de material particulado:	5
1.4.	Hipótesis de la Tesis.	5
1.5.	Metodología	6
1.5.1.	Revisión Bibliográfica de publicaciones y tesis - Construcción del Estado del Arte.	6
1.5.2.	Trabajo en Terreno.	6
1.5.3.	Obtención de datos económicos y su análisis.	6
1.5.4.	Algoritmo de decisión.	6
1.6.	Estructura de la Tesis.	7
2	ESTADO DEL CONOCIMIENTO	9
2.1.	Generación de Polvo en caminos no pavimentados.	9
2.2.	Problemas asociados a la producción de polvo.	10
2.3.	Métodos de medición de polvo.	10
2.3.1.	Mediciones Cualitativas de MP.	11
2.3.2.	Métodos Cuantitativos de Medición de MP.	13
2.3.2.1.	Métodos Estáticos:	13
2.3.2.1	Métodos Móviles:	15
2.4.	Materiales Supresores de Polvo:	23
2.4.1	Cloruro de Calcio:	23
2.4.2.	Cloruro de Magnesio (Bischofita):	24
2.4.3	La Borra:	27
2.4.4.	Cloruro de Sodio (Halita):	27
2.4.5.	Otras soluciones.:	29
2.5.	Registros de la aplicación de estos productos en nuestro país.	31
2.5.1.	Objetivos Técnicos del Programa	31

2.5.2. Tipos de Soluciones Básicas.	31
2.5.3. Trabajos Realizados en la Región de los Ríos.	35
3 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE LA REGIÓN DE LOS RÍOS.	36
3.1. Descripción de la toma de muestras.	36
3.2. Metodología desarrollada.	36
3.2.1 Elementos utilizados para el desarrollo de esta metodología:	36
3.2.2. Metodología.	37
3.2.3. Clasificación de las mediciones.	38
3.2.3.1. Mediciones al Costado del Camino variando la Altura.	39
3.2.3.2. Mediciones alejándose del camino.	39
3.2.4. Recopilación y análisis de Datos.	40
3.2.4.3. Observaciones y Conclusiones de las Toma de Muestras	48
3.3. Mediciones realizadas con Método MPC -1.	50
3.3.1. Montado del equipo para las mediciones.	50
3.3.2. Recopilación y análisis de Datos.	51
3.3.3. Observaciones y Conclusiones de las Mediciones en “La Montaña”.	54
3.3.5 Recomendaciones:	55
Realizar un muestreo de partículas con el equipo DustMate montado sobre un camión de carga tipo, de manera de cuantificar nivel de emisiones de vehículos pesado.	55
4 ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE MATERIALES SUPRESORES DE POLVO.	56
4.1. Parámetros a considerar en el análisis económico.	56
4.2. Bases de cálculo.	56
4.2.1. Cloruro de Sodio.	56
4.2.2. Cloruro de Magnesio Hexahidratado.	57
4.2.3. Tratamiento superficial asfáltico simple.	57
4.3 Costos Asociados a cada uno de los tratamientos.	58
4.3.2 Costo del NaCl según lo requerido para elaboración de carpeta de rodado	59
4.3.3 Costo de estabilizar el camino con Cloruro de Sodio	59
4.3.4 Costo de mantención camino con Cloruro de sodio	59
4.3.5 Costos Riego con Bischofita	60
4.3.6 Costo de Construcción de la Carpeta y riego con Bischofita	60
4.3.7 Costo de mantención camino con Bischofita	60
4.3.8 Costo de carpeta de Rodado de Tratamiento Superficial Simple (TSS).	61
4.3.9 Costo de Construcción de la Carpeta y base Estabilizada	61
4.3.10 Costo de Mantención de carpeta con TSS.	61
4.4 Evaluación de los Costos Proyectados y los Costos Actualizados de cada Alternativa.	62
4.4.1 Estabilización con Cloruro de Sodio	63
4.4.2 Riego Superficial de Bischofita	64

4.4.3 Tratamiento Superficial Simple de Asfalto	65
4.5 Análisis comparativo Evaluación de Costos Proyectados.	66
4.6 Evaluación Social de Proyectos.	67
4.6.1 Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos	67
4.6.2 Estimación de Porcentajes de Materiales y Mano de Obra por Proyecto	68
4.6.3 Estabilización con Cloruro de Sodio	70
4.6.3 Estabilización con Cloruro de Magnesio	71
5 SISTEMA INTEGRADO DE DECISIÓN PARA DETERMINAR QUE CAMINOS DEBEN SER TRATADOS CON SUPRESOR DE POLVO.	73
5.1. Parámetros a considerar en el análisis para la Toma de Decisión.	73
5.1.1. Tránsito Medio Diario:	73
5.1.2. Calidad del aire:	73
5.1.3. Cantidad de Partículas de Polvo y Visibilidad:	75
Para el Caso de la visibilidad si no se cuenta con el equipo DustMate, podemos utilizar la evaluación visual del U.S. Army, Parámetros de Polvo.	76
5.1.4. Cantidad de Beneficiarios y Distancia de las Viviendas:	76
Luego se realiza la siguiente relación entre el número de beneficiarios y la distancia de estos al camino, tomando en cuenta la información entregada por vialidad y los datos de las mediciones.	77
5.1. 5. Presencia de Actores Productivos:	77
5.2. Ponderaciones de los Factores que influyen en la Producción de Polvo.	78
5.3. Algoritmo de Decisión.	78
5.4. Tablas de Decisión.	79
5.4.1. Vista de la Tabla N°1 en Microsoft Excel 2007.	79
5.4.2 Vista de la Tabla N°2 en Microsoft Excel 2007.	80
5.5. Aplicación de la Toma de Decisión.	81
5.5.1 Ruta: Los Molinos – Curiñanco; tramo de 7 km, ancho promedio 6 m.	81
5.5.2 Ruta: Cruce Longitudinal T-207 – Reumén, tramo de 5 km, ancho promedio 6 m.	81
5.6. Observaciones de la Toma de Decisión.	82
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	83
6.1. Conclusiones Generales.	83
6.2. Conclusiones Principales.	83
6.3. Recomendaciones Generales.	85
6.4. Recomendaciones para futuras investigaciones.	86
7 BIBLIOGRAFÍA.	88

ANEXO N°1: TABLAS COMPLETAS DE LAS MEDICIONES CON EQUIPO DUSTMATE – LA MONTAÑA KM 18 AL 22 – TENO – REGIÓN DEL MAULE.	91
ANEXO N°2: PROYECCIONES DE PRECIOS FUTUROS.	100
ANEXO N°3: PAUTA DE CORRECCIÓN DE PRECIOS SOCIALES EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS – MIDEPLAN 2012.	109
ANEXO N°4: CALIDAD DEL AIRE.	115

Índice de tablas

Tabla 1-a: Longitud de Caminos Red Vial Nacional – Red Vial Nacional “Dimensionamiento y características” Departamento de Gestión 2010.	3
Tabla 2-a: Clasificación de caminos no pavimentados - Bellolio, 2005	9
Tabla 2-b: Grado de Polvo - Bellolio, 2005	11
Tabla 2-c: Caminos Básicos 2008 - 2010 - Vialidad	34
Tabla 2-d: Caminos tratados - Temporada 2012- Vialidad Región de los Ríos 2012	35
Tabla 3-a: Cantidad de partículas vs Altura toma de Aire - Elaboración propia	41
Tabla 3-b: Altura 1,5 m vs Distancia al camino - Elaboración propia	42
Tabla 3-c: Altura 2,0 m vs Distancia al camino - Elaboración propia	44
Tabla 3-d: Altura 2,5 m vs Distancia al camino - Elaboración propia	46
Tabla 3-e: Resumen de lecturas 18 de Enero de 2006.	51
Tabla 3-f: Resumen de lecturas 10 de Marzo 2006	52
Tabla 3-g: Resumen de lecturas 27 de Abril 2006	53
Tabla 3-h: Resumen de lecturas 21 de Junio 2006	53
Tabla 4-a: Costos de Estabilización con Cloruro de Sodio con precios ajustados a 20 años.	63
Tabla 4-b: Costos de Riego Superficial de Bischofita con precios ajustados a 20 años.	64
Tabla 4-c: Costos de Tratamiento Superficial Simple de Asfalto con precios ajustados a 20 años.	65
Tabla 4-d: Factores de Ajuste - MIDEPLAN 2011	68
Tabla 4-e: Porcentajes de Construcción con NaCl - Elaboración Propia	68
Tabla 4-f: Porcentajes de Mantenimiento con NaCl - Elaboración Propia	68
Tabla 4-g: Porcentajes de Construcción con MgCl - Elaboración Propia	69
Tabla 4-h: Porcentajes de Mantenimiento con MgCl - Elaboración Propia	69
Tabla 4-i: Costos Sociales de Estabilización con Cloruro de Sodio con precios ajustados a 20 años	70
Tabla 4-j: Costos Sociales de Estabilización con Cloruro de Magnesio con precios ajustados a 20 años	71
Tabla 5-a: Sanders & Addo, Relación entre el Polvo y TMD	73
Tabla 5-b: Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones de 24 horas	74
Tabla 5-c: Relación entre Visibilidad y Partículas de Polvo - Bellolio, 2005	76
Tabla 5-d: Relación entre visibilidad y Altura de la nube de polvo.	76
Tabla 5-e: Relación entre Altura, Distancia y Partículas de Polvo – Elaboración Propia.	77
Tabla 5-f: Relación entre Beneficiarios y puntaje para supresor de polvo	77
Tabla 5-g: Existencia de Actividad Productiva y puntaje.	77
Tabla 5-h: Planilla N°1 de Decisión de Aplicación de Supresor de Polvo	79
Tabla 5-i: Planilla N°2 de Decisión de Aplicación de Supresor de Polvo	80

Índice de figuras

Figura 2-a: Evaluación detallada del polvo - Bellolio, 2005	11
Figura 2-b: Evaluación de Polvo - US Army Corps of Engineers, 1987	12
Figura 2-c: Colectores de Partículas - Sanders y Addo, 2000.	13
Figura 2-d: Esquema de densímetro (Sanders y Addo, 2000)	14
Figura 2-e: Disposición del Polvometro en Vehículo de Prueba - Sanders y Addo, 2000	16
Figura 2-f: Esquema de colocación del Polvometro - Sanders y Addo, 2000	16
Figura 2-g: Un esquema que muestra la configuración del diagrama, línea de muestreo con las ruedas delanteras del sistema de Emma.	17
Figura 2-h: Equipamiento del Sniffer - Pirjola et al. 2010	18
Figura 2-i: Equipo DustMate y Esquema de Funcionamiento - Bellolio, 2005	19
Figura 2-j: Partes del MPC – 1 - Bellolio, 2005	20
Figura 2-k: Ubicación del MPC-1 en camioneta - Bellolio, 2005	20
Figura 2-l: Ejemplo de identificación de tramos - Bellolio, 2005	21
Figura 2-m: Formato de la Planilla de Control - DICTUC	22
Figura 2-n: Esquema del proceso de extracción de la Bischofita - Boletín RoadMag	25
Figura 2-o: Imagen de un Camino Estabilizado con Bischofita y un Esquema de su aplicación en la Base del camino - Boletín RoadMag	25
Figura 2-p: Riego superficial de Bischofita – Elaboración propia	26
Figura 2-q: Imagen de un Camino con Riego Superficial de Bichofita y un Esquema de su aplicación en la Base del camino - Boletín RoadMag.	26
Figura 3-a: Elementos utilizados para la medición – Elaboración Propia	37
Figura 3-b: Puntos de referencia de las mediciones – Elaboración Propia.	38
Figura 3-c: Posición de la Toma de Aire – Elaboración Propia.	39
Figura 3-d: Fotografía a 10 m de cierre Fiscal.	39
Figura 3-e: Grafico "Cantidad de PM10 al costado del camino" - Elaboración propia	41
Figura 3-f: Grafico "Cantidad de PM2,5 al costado del camino" - Elaboración propia	41
Figura 3-g: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H = 1,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	43
Figura 3-h: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H = 1,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	43

Figura 3-i: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H=2,0m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	45
Figura 3-j: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H=2,0m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	45
Figura 3-k: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H=2,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	47
Figura 3-l: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H=2,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia	47
Figura 3-m: Montaje equipo DustMate – Domínguez, 2006	50
Figura 3-n: Vehículo Circulando por camino sin tratamiento - Bellolio, 2005.	51
Figura 3-o: Grafica de Eficiencia de Riego de Bischofita en PM10 – Domínguez, 2006	55
Figura 3-p: Grafica de Eficiencia de Riego de Bischofita en PM2,5 – Domínguez, 2006	55
Figura 5-a: Diagrama de Flujo para Toma de Decisión	78

Resumen.

La tesis presenta el estudio de la problemática del polvo, generado por los vehículos que transitan por caminos secundarios de carpeta granular. Se establecen los problemas que esto genera, tanto en el ámbito social, salud y económico, generando soluciones a través de materiales denominados “Supresores de Polvo”.

La investigación fue realizada por medio de una recopilación de información bibliográfica, el desarrollo de experiencias prácticas y análisis económicos. Siendo considerados para este estudio las características principales de los supresores de polvo Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio y Tratamiento Superficial Simple de Asfalto, además de su forma de aplicación y costos económicos.

Para el desarrollo de las experiencias prácticas, se tomaron muestras de Material Particulado con el equipo “DustMate”, el cual entrega el número de partículas por cm^3 y microgramos por m^3 para distintos tamaños de partículas. Así se pudo conocer el comportamiento de la nube de polvo y la eficiencia del Cloruro de Magnesio como Supresor de Polvo.

Además en el análisis económico, se toman precios proyectados a 20 años de cada uno de los supresores nombrados, de esta manera, se tendrá un rango de estudio más completo, pudiendo afirmar de manera objetiva cual es el supresor de polvo más económico.

Finalmente con todos los datos recogidos en esta tesis, se crea una “Matriz de Decisión” ,la cual contempla la evaluación de los datos técnicos y sociales relevantes, para decidir de manera objetiva que caminos necesitan ser tratados con materiales Supresores de Polvo, convirtiéndose en una herramienta muy útil para la administración de caminos.

Abstract

The thesis presents the study of the Problem of dust generated by vehicles traveling down roads granular folder. Down the problems this creates, in the social, health and economic development, generating solutions through material called "dust suppressants."

The research was conducted through a collection of bibliographic information, the development of practical experience and economic analysis. Being considered for this study the main characteristics of dust suppressants Sodium Chloride, Magnesium Chloride and Asphalt Surface Treatment Simple, as well as applicable and economic costs.

For the development of practical experiences were takes, samples of particulate matter (MP) with the team "DustMate", which gives the number of particles per cm³ and micrograms per m³ for different sizes of particles (MP10, MP2, 5; MP1). This could understand the behavior of the dust cloud and the efficiency of Magnesium Chloride as a dust suppressant.

Besides the economic analysis is taken at 20 years projected prices of each appointed suppressors, thus, have a range of more comprehensive study, in this way, can objectively say which is the most economical dust suppressant.

Finally, with all data collected in this thesis, it creates a "Decision Matrix" which includes evaluation of the more relevant technical and social data, decide to objectively which roads need to be treated with dust suppressant material, making it a very useful tool for the management of roads.

1 Introducción.

1.1. Planteamiento del Problema.

En nuestro país, existen 77.763 Km. de rutas públicas, tanto locales, regionales e internacionales, de todas ellas sólo un 24% están pavimentados con carpetas de asfalto u hormigón (Bellolio, 2005), los cuales en su mayoría corresponden a caminos primarios. Todo el resto de caminos de la red de Vialidad están constituidos por caminos de ripio y tierra.

El tráfico por estas carreteras no pavimentadas, son unas de las principales fuentes de material particulado. Estas emisiones de polvo, en muchos casos pueden provocar complicaciones en las vidas de las personas, debido a que estas partículas pueden viajar varios cientos de metros, penetrando en las casas cercanas y los cultivos. El crecimiento de estos cultivos pueden ser detenidos, debido al efecto de sombreado y la obstrucción de los poros de la planta.

En Europa, “estudios han demostrado que el polvo provoca la misma cantidad de muertes que los accidentes carreteros, esto es igual a una reducción de 2 años en la esperanza de vida”. (AFP, 2004)

La Región de los Ríos, no es ajena a esta situación, y es por este motivo que se hace muy importante desarrollar una investigación sobre este problema, principalmente determinar qué elementos, ya sean, sociales y/o técnicos se deben considerar para desarrollar tratamientos de supresión de polvo y cuantificar de manera real el gasto público que significa aplicar esta tecnología, contrastándola con otras alternativas.

Este tipo de investigaciones son muy poco comunes en nuestro país, por lo que resulta muy interesante e innovador estudiarlas, aportando a futuro a instituciones de otras regiones a tener más información y claridad para aplicar tratamientos contra el polvo, para mejorar la vida de muchas comunidades que se ven afectados por este problema.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Formular criterios de decisión para la realización de Tratamientos de Supresión de Polvo en caminos específicos de la Región de los Ríos, en base a los parámetros de demanda, tecnología y economía.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Establecer la problemática que genera el polvo en suspensión debido al tráfico vehicular de los caminos no pavimentados.
- Evaluar la eficacia de diferentes Materiales Supresores de Polvo en suspensión.
- Determinar si existe una relación entre las mediciones de las emisiones de polvo, entregadas por el DustMate y el comportamiento de la nube de polvo generada por los vehículos al transitar por los caminos de carpeta granular.
- Determinar la disponibilidad y precios hacia la Región de los Ríos, de los materiales Supresores de Polvo.
- Realizar el análisis económico de algunos materiales de control de polvo en estudio y comprarlos con un tratamiento de carpeta asfáltica.
- Identificar los factores sociales y técnicos, con los cuales se podría construir una matriz de decisión, para establecer que caminos necesitaran tratamiento.
- Generar un algoritmo que permita seleccionar caminos secundarios para el tratamiento con Supresores de Polvo, de manera objetiva y que permita programar el gasto fiscal.

1.3. Antecedentes Generales.

1.3.1. Red Vial Nacional y Regional

La Red vial de nuestro país está constituida por 77.763 km, como se señaló anteriormente de estos, solo aproximadamente el 24,34% se encuentra pavimentado, por lo que nos damos cuenta que un porcentaje muy alto de la red vial de nuestro país, está constituido por carpeta de rodado granulares, ya sean de ripio o tierra.

LONGITUD DE CAMINOS RED VIAL NACIONAL, SEGUN REGION Y TIPO DE CARPETA - DIC. 2010
(Longitud en km.)

Región	Red Vial Pavimentada					Red Vial No Pavimentada				Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Asf./Ripio.	Horm./Ripio.	Solución Básica		Ripio	Tierra	
						Capa Protección	Granular Estabilizado			
I	989,47	0,00	0,00	0,00	0,00	47,94	369,15	370,05	1.552,71	3.329,32
II	1.767,47	2,61	0,00	0,00	0,00	79,44	615,05	535,64	2.644,01	5.644,22
III	1.000,73	4,54	0,00	0,00	0,00	116,06	2.130,81	745,23	2.872,22	6.869,59
IV	1.244,61	46,15	9,27	0,00	0,00	48,83	767,01	2.014,14	845,15	4.975,16
V	1.087,47	232,20	25,64	0,00	0,00	970,11	0,00	547,71	298,32	3.161,45
VI	1.080,00	148,49	40,18	0,00	0,00	594,97	0,00	826,00	781,60	3.471,24
VII	1.410,03	152,85	89,30	0,00	0,00	108,07	464,91	3.172,75	1.785,63	7.183,54
VIII	1.953,68	203,57	30,41	0,00	0,00	214,27	119,57	4.872,25	1.877,59	9.271,34
IX	1.395,55	116,92	100,79	0,00	0,00	256,41	361,15	7.272,18	2.502,29	12.005,29
X	1.263,38	156,26	50,14	0,00	0,00	251,03	0,70	5.261,04	445,40	7.427,95
XI	220,19	153,89	0,00	0,00	0,00	19,83	119,68	2.181,62	203,24	2.898,45
XII	26,85	530,59	0,00	0,00	0,00	78,84	202,47	2.309,29	308,50	3.456,54
R.M.	1.110,31	263,86	52,52	0,00	0,00	673,12	6,00	558,04	313,70	2.977,55
XIV	591,92	42,50	100,91	0,00	20,88	102,05	0,00	1.946,44	290,23	3.094,93
XV	431,09	0,20	0,00	0,00	0,00	34,35	308,91	107,64	1.114,98	1.997,17
Total	15.572,75	2.054,63	499,16	0,00	20,88	3.595,32	5.465,41	32.720,02	17.835,57	77.763,74

Notas: - El tipo de carpeta Asfalto incluye a las mezclas asfálticas y los tratamientos asfálticos efectuados con proyecto específico.
- La Red Vial Solución Básica considera las Capas de Protección y las Carpetas Granulares Estabilizadas.
- Información a Diciembre del año 2010.

Tabla 1-a: Longitud de Caminos Red Vial Nacional – Red Vial Nacional “Dimensionamiento y características”
Departamento de Gestión 2010.

En la Región de los Ríos, el escenario vial es el siguiente: existen 3.094 km. de caminos, los pavimentados corresponden a 858 km. y los no pavimentados 2.236 km. Estos caminos son administrados de dos formas, 2.560 km. están bajo el sistema de “Contratos de Conservación Global” y 640 km. son de “Administración Directa” por la Dirección Regional de Vialidad.

1.3.2. Opciones de tratamientos a los caminos no Pavimentados.

Al analizar estos datos, nos percatamos que la mayoría de los caminos de la región, al igual que a nivel nacional, están constituidos por caminos de ripio o tierra. Por lo que, hace necesario realizar a estas vías, tratamientos con una determinada frecuencia, para poder mantenerlos en los estándares de serviciabilidad necesarios, para asegurar el tránsito vehicular por estos caminos.

Estos tratamientos significan un costo necesario que la Dirección de Vialidad debe asumir para mantener el acceso a los poblados, sectores agrícolas y forestales.

Algunos de los mejoramientos que se pueden aplicar en estos caminos pueden ser:

- Pavimentar los caminos, lo cual involucra una alta inversión de recursos económicos que puede no justificarse para caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito.
- Aplicar tratamientos superficiales asfálticos (TSS o TSD), los cuales se pueden considerar un pavimento más económico, pero también requiere una alta inversión de recursos.
- Implementar un adecuado programa de gestión y conservación de los caminos no pavimentados para restablecer periódicamente su estándar.
- “Mejorar las propiedades físicas y/o mecánicas del suelo que conforma la carpeta de rodado, mediante la utilización de la técnica de estabilización química del suelo y/o la aplicación de Supresores de Polvo”. (Bellolio, 2005)

Algunas de estas alternativas pueden ser mucho más costosas que otras, pero la idea de esta investigación, es lograr establecer cuál de estas opciones se ajusta mejor económicamente a los requerimientos de cada uno de los caminos a estudiar.

1.3.3. Problemáticas de la generación de polvo en caminos no pavimentados.

1.3.3.1. ¿Qué es el polvo?:

La Real Academia de la lengua española señala que “el polvo es un residuo que queda de otras cosas sólidas, moliéndolas hasta reducirlas a partes muy menudas” (RAE, 2001).

“El polvo se compone de partículas de la atmósfera que se derivan de varias fuentes, tales como: el polvo del suelo levantado por el viento (proceso Eolias), erupciones volcánicas y la contaminación. Polvo en los hogares, oficinas y otros ambientes humanos contiene pequeñas cantidades de polen de las plantas, pelos humanos y animales, fibras textiles, fibras de papel, los minerales del suelo al aire libre, las células de piel humana, los restos de meteoritos quemados y muchos otros materiales que se pueden encontrar en el entorno local” (Hess-Kosa, 2001).

1.3.3.2. Polvo en carreteras:

Polvo levantado por los vehículos que circulen en las carreteras puede constituir hasta el 33% del polvo en el aire. La contaminación de carretera consiste en la deposición de escape de los vehículos industriales y tubos de escape, neumáticos y desgaste de los frenos, el polvo de los caminos

pavimentados o baches, y el polvo de las obras de construcción. El polvo del camino representa una fuente importante que contribuye a la generación y liberación de partículas a la atmósfera.

“El control de polvo del camino es un reto importante en las zonas urbanas, y también en otros ámbitos con altos niveles de tráfico de vehículos en caminos no sellados, tales como minas y vertederos de basura. El Polvo del camino puede ser suprimido por métodos mecánicos, como los vehículos de barrido, con los aceites vegetales, o con pulverizadores de agua” (Malkoç et. al 2010).

1.3.3.3. Tipos de material particulado:

a) Polvo inhalable (PM10): Es aquella fracción de polvo que entra en el cuerpo, pero es atrapado en la nariz, la garganta, y vías respiratorias superiores. La medida del diámetro de este polvo es mayor o igual a $10\ \mu\text{m}$.

b) Polvo respirable (PM2,5): Son aquellas partículas bastante pequeñas para penetrar la nariz y el sistema superior respiratorio y profundamente en los pulmones. Las partículas que penetran superan los mecanismos de despacho naturales del cuerpo y tienen mayor probabilidad de ser conservadas en el organismo.

Las partículas PM10 y PM2.5 pueden causar problemas a la salud. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta por algunos elementos tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos), las partículas PM2.5 pueden producir tos y dificultad para respirar, agravar el asma, provocar daño a los pulmones (incluyendo la disminución de su función y enfermedades respiratorias de por vida) y en casos extremos muerte en individuos con enfermedades de corazón y pulmón.

“La presencia de polvo en actividades agrícolas genera problemas de mala presentación de cultivos, plagas, bajos rendimientos, daño a la salud de trabajadores. Además provocan diversos gastos asociados a frecuentes riegos con agua, instalación de mallas o barreras y uso de acaricidas”. (Vialidad, 2006)

1.4. Hipótesis de la Tesis.

La hipótesis sugiere que estableciendo factores que influyen en la generación de polvo, señalando que parámetros de estos serán considerados como aceptables, ayudaran a tomar una decisión objetiva, sobre que caminos necesitan un tratamiento de Supresores de Polvo. Además un estudio económico que tome en cuenta todos estos factores llevaría a establecer qué tratamiento será el mejor para ese camino.

1.5. Metodología

1.5.1. Revisión Bibliográfica de publicaciones y tesis - Construcción del Estado del Arte.

El flujo de desarrollo de esta investigación se plantea a partir de un estado del conocimiento, por lo tanto, se estudiarán las publicaciones más actuales sobre los Sistemas de medición de polvo y los materiales supresores de este.

1.5.2. Trabajo en Terreno.

Utilizando el equipo DustMate, buscará obtener datos reales de las emisiones de polvo en caminos de carpeta granular, tanto los que hayan sido tratados con Supresores de Polvo, como los que no. Además de realizar entrevistas con las personas y entidades de los alrededores de los caminos.

También recorrer faenas de una empresa que se dedica a aplicar Bischofita para suprimir el polvo en algunos caminos de la Región de los Ríos.

1.5.3. Obtención de datos económicos y su análisis.

La Dirección Regional de Vialidad de la Región de los Ríos, se ha comprometido a entregar toda la información presupuestaria necesaria, para poder realizar un análisis económico con los valores reales y actuales con los que ellos trabajan, junto a sus empresas contratistas. Con la obtención de estos valores y técnicas económicas, se podrá realizar un estudio comparativo en el tiempo de cada una de las alternativas consideradas por Vialidad.

1.5.4. Algoritmo de decisión.

Una vez recabada toda la información, tanto del Instrumento DustMate, entrevistas a la comunidad, Empresas del rubro de control de polvo y análisis económico, se construirá un algoritmo de decisión, completo y real para establecer un parámetro de que caminos serán beneficiados con el tratamiento de control de polvo, siendo una herramienta para la administración pública de caminos.

1.6. Estructura de la Tesis.

La tesis está estructurada en ocho capítulos, ordenados según un proceso lógico de desarrollo en función de los objetivos de la investigación.

El **capítulo uno**, recoge la descripción del contexto, objetivos, alcance y estructura de esta tesis.

El **capítulo dos**, constituye el estado del conocimiento de la temática tratada en la tesis. Por un lado, se enfoca en la naturaleza del polvo, su precedencia particular en los caminos no pavimentados, su composición y sub-categorías, luego hace un recorrido por las diferentes metodologías que han surgido con los años para medir las emisiones de material particulado. Describe que materiales son utilizados en la actualidad como Supresores de Polvo en caminos no pavimentados, y finalmente cual ha sido la experiencia en nuestro país y específicamente en la Región de los Ríos.

El **capítulo tres**, aborda los pasos prácticos y trabajos realizados en terreno con respecto a las mediciones de las emisiones de polvo en torno a la ruta, y de esta manera establecer cuál es el comportamiento de la nube de polvo, en cuanto su desplazamiento y constitución de material particulado, además busca demostrar la efectividad del Riego de Bischofita a las carpetas de rodado con problemas de emisiones de polvo.

El **capítulo cuatro**, presenta un análisis económico detallado de las diferentes opciones existentes en nuestra región para suprimir el polvo, revisando el comportamiento en el último tiempo de las variables económicas y precios de los insumos, para poder establecer un lineamiento real, del comportamiento de estos valores en el futuro, y de esta manera poder realizar una proyección de precios responsable a 20 años.

El **capítulo cinco**, centra su estudio en la creación de un algoritmo de decisión que sea capaz de establecer que caminos de la región, necesitaran tratamiento de Supresión de Polvo en futuras temporadas estivales, considerando para ello, los parámetros más relevantes que influyen en la generación de emisiones de polvo en caminos no pavimentados.

En el **capítulo seis**, ofrece una perspectiva general del resultado del desarrollo de la tesis y sintetiza las conclusiones principales. Finalmente, se resume la aportación al conocimiento y se incluyen una serie de recomendaciones para futuras investigaciones.

Además la tesis contará con tres Anexos, El objetivo de estos es aligerar el cuerpo principal de la investigación, aquella parte de su contenido que no supone una aportación esencial al hilo argumental. Por consiguiente, aunque con un grado mayor de detalle, estos apéndices son parte integrante de la aportación de la tesis, y se consideran imprescindibles para entender el contenido de la misma en toda su profundidad.

2 Estado del conocimiento

2.1. Generación de Polvo en caminos no pavimentados.

Los caminos no pavimentados en su mayoría son clasificados de bajo volumen de tráfico y se encuentran en las zonas rurales y forestales del país, produciendo una serie de problemas de generación de polvo en suspensión, la cual se acentúa en la estación seca. Esto provoca una molestia en el público usuario del camino y de las comunidades adyacentes a las rutas y problemas en la calidad de aire en el entorno.

En una primera instancia debemos caracterizar y clasificar los caminos no pavimentados.

- Caminos de Tierra: Corresponde a aquellas vías principalmente rurales y/o forestales, normalmente de materiales presentes en el lugar de emplazamiento del camino. Transitando por ellos una baja cantidad de vehículos, personas y animales. En comparación con caminos de ripio, no presentan una clara inclinación para favorecer el drenaje de las aguas lluvias, lo que lleva una mayor erosión y anegamiento.
- Caminos de Ripio: “Un camino de ripio se puede decir que consiste en una mezcla de grava, arena y finos (limos y arcillas) en las proporciones de piedra de 40-80 por ciento de grava, arena 20-60 por ciento y 15.8 por ciento de las multas” (Woods, 1960). Los agregados se mezclan y se compactan en una costra superficial densa fuerte - lo suficientemente fuerte para resistir la ruptura en el tráfico. “Una corona se proporciona en el centro de la carretera y las zanjas se proporcionan en los hombros para facilitar el drenaje”. (Sander & Addo, 1993)

Clasificación de caminos no pavimentados.

CLASE	TDMA (veh/día)	VELOCIDAD DE CIRCULACION (km/h)	TIPO DE CARPETA
I	300 – 500	70 – 100	Ripio
II	100 – 300	40 -70	Ripio
III	20 – 100	30 – 40	Ripio – Tierra
IV	< 20	< 30	Tierra

Tabla 2-a: Clasificación de caminos no pavimentados - Bellolio, 2005

2.2. Problemas asociados a la producción de polvo.

- a) Al oscurecer la visión de los conductores empeora, debido a las nubes de polvo en suspensión, siendo un peligro para el tránsito.
- b) El material fino en los caminos, producto de la acción de las ruedas de los vehículos en movimiento, es convertido en partículas de polvo, siendo liberado al ambiente, traduciéndose en pérdidas económicas para la administración de los caminos.
- c) El material particulado fino puede resultar abrasivo, por lo que aumenta considerablemente el desgaste de las piezas móviles de los vehículos.
- d) Las partículas de polvo, producto de las precipitaciones, se “lavan”, siendo depositadas muchas veces en ríos, arroyos y lagos, aumentando su turbidez.
- e) “El material particulado puede viajar varios cientos de metros, penetrando en las casas y cubriendo los cultivos. Esto último lleva que el crecimiento de los cultivos, sea detenido, debido al efecto de sombreado y poros obstruidos de la planta”. (Sander & Addo, 1993)
- f) El polvo afecta la salud de las personas, provocando enfermedades respiratorias, alergias y la fiebre del heno, siendo también un transportador de otras enfermedades, según el estudio realizado por la Naciones Unidas. (ONU, 1979)

2.3. Métodos de medición de polvo.

Una de las tareas más importantes para la gestión de caminos no pavimentados, que quieren implementar sistemas de Supresión de Polvo, consiste en la medición del Material Particulado (MP). Por ejemplo, "Por cada vehículo que viaja una milla de la carretera sin pavimentar una vez al día, todos los días durante un año, una tonelada de polvo se deposita a lo largo de un corredor de 1,000 pies centrados en el camino " (USDA Forest Service, 1983). Por este motivo existen muchas metodologías, tanto con datos numéricos, como con observaciones. Estas últimas, son un poco menos objetivas ya que dependen del personal que realiza dichas observaciones. Es por este motivo que se clasificaran las mediciones de MP en, Cualitativas y Cuantitativas.

2.3.1. Mediciones Cualitativas de MP.

Estas mediciones también son denominadas de “evaluación visual”, debido a que corresponden a ciertas observaciones del camino y no utilizan equipos y/o instrumentos de mayor complejidad.

Algunas de ellas son:

- a) Grado de Polvo (Jones y Paige-Green, 2000): evalúa el polvo en los caminos de acuerdo al criterio presentado en la siguiente tabla:

Grado	Descripción
1	No hay pérdidas de visibilidad
3	Cierta pérdida de visibilidad, sin disconformidad
5	Peligrosa pérdida de visibilidad, significativa disconformidad

Tabla 2-b: Grado de Polvo - Bellolio, 2005

POLVO (Evaluación Detallada)

	Grado 1									
	<table border="1"> <tr> <td colspan="5">Grado 1</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Grado 1					X			
Grado 1										
X										
No hay pérdida de visibilidad										
	Grado 2									
	<table border="1"> <tr> <td colspan="5">Grado 3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Grado 3							X	
Grado 3										
		X								
Cierta pérdida de visibilidad - sin disconformidad										
	Grado 3									
	<table border="1"> <tr> <td colspan="5">Grado 5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </table>	Grado 5								
Grado 5										
				X						
Peligrosa pérdida de visibilidad - significativa disconformidad										

Figura 2-a: Evaluación detallada del polvo - Bellolio, 2005

- b) Parámetros de Polvo (U.S. Army, 1987): “Los parámetros se establecen de acuerdo al efecto funcional que tienen sobre el camino. En este sentido, para el caso del polvo se utiliza una evaluación en función de la altura de la nube de polvo que produce un vehículo a 40 km/hr”. (Bellolio, 2005)

En la Figura N°2b se puede ver la calificación que recibe cada uno de los casos propuestos, correspondientes a:

- Baja severidad: Corresponde a la altura de polvo inferior a 1 metro.
- Media severidad: Corresponde a la altura de polvo entre 1 a 2 metros.
- Alta severidad: Corresponde a la altura de polvo sobre los 2 metros.

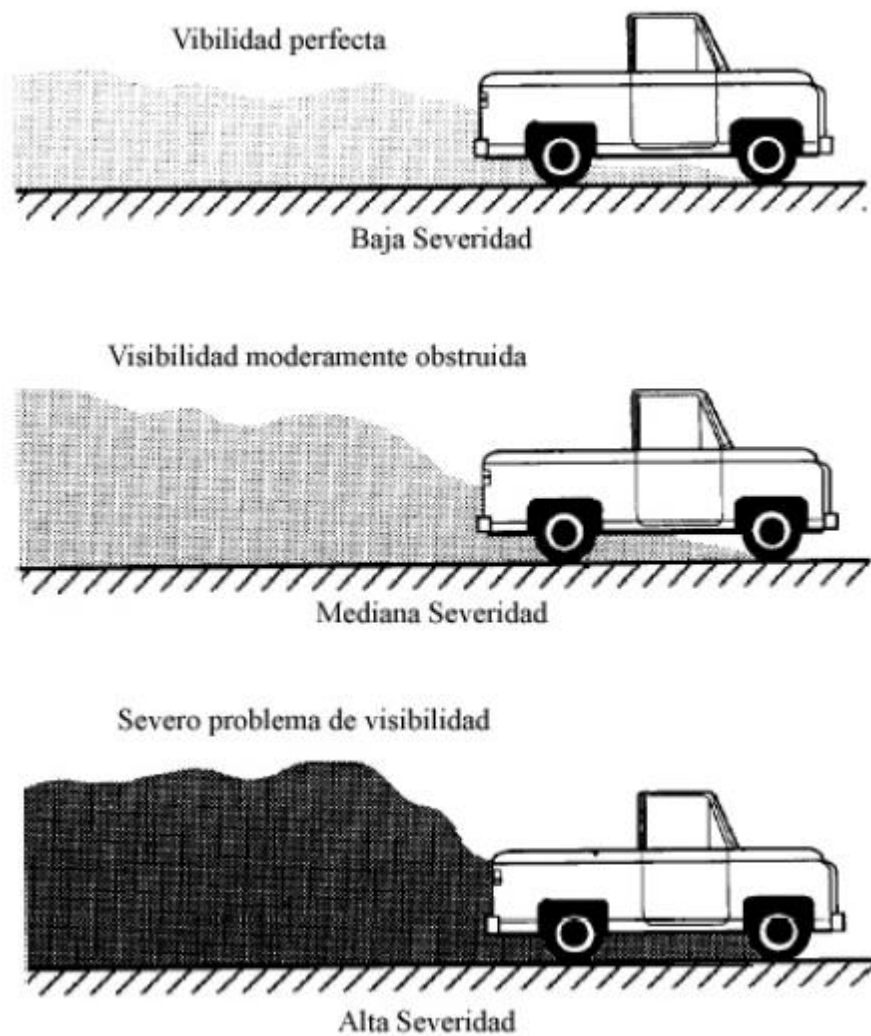


Figura 2-b: Evaluación de Polvo - US Army Corps of Engineers, 1987

2.3.2. Métodos Cuantitativos de Medición de MP.

Los sistemas de Medición Cuantitativa de MP, son todos aquellos en los cuales existe una metodología que busca contar de manera empírica las partículas de polvo presentes en el entorno, ya sean en el aire o al costado del camino. Estos métodos a su vez, pueden ser clasificados en dos sub-categorías, Móviles y Estáticos. Los primeros, corresponden a los sistemas que van acoplados a un vehículo, el cual transita por el camino de estudio y los Estáticos, son dispuestos en el camino de tal manera que captan las partículas de polvo depositadas en recipientes ubicados estratégicamente al costado de estos.

2.3.2.1. Métodos Estáticos:

Corresponde a aquellos métodos de medición de polvo, en que los captadores de partículas se encuentran en puntos fijos del camino de pruebas. A continuación se señalan breves descripciones de estos métodos, expuestos por la Pontificia Universidad Católica de Chile en la Tesis de Magister de Juan Pablo Bellolio el 2005:

- a) ASTM D - 1739: La sedimentación es una técnica simple de muestreo usado para determinar la cantidad de partículas o polvo precipitado desde la atmósfera. El método requiere del uso de colectores abiertos (Figura N°2c), usualmente de vidrio o plástico. Luego de un tiempo de exposición (alrededor de 1 mes), el material acumulado es expresado en términos de peso por área por 30 días. Este método depende básicamente de la gravedad y por lo tanto, está limitado a partículas de tamaño igual o mayor a $2\mu\text{m}$. Esta técnica presenta muchas desventajas, dentro de las cuales se puede mencionar el período de tiempo para una medición y el efecto del viento en las mediciones (Sanders y Addo, 2000).



Figura 2-c: Colectores de Partículas - Sanders y Addo, 2000.

- b) Wellman y Barraclough: En una investigación para el USDA Forest Service, en esta observaron y midieron el polvo generado por el tráfico en el camino para distintos tipos de agregados. La técnica de medición empleaba métodos estacionarios y fotométricos. Un equipo fotoeléctrico estacionario (Figura N°2d) fue utilizado para medir la densidad del polvo generado por el tráfico, mientras que el polvo que decantaba fue recolectado por baldes, de acuerdo a ASTM D-1739 (Figura anterior). Aunque el medidor fotométrico entregaba resultados inmediatos en terreno, la

medición sólo reflejaba lo que ocurría en un único punto del camino. “El estudio concluyó que la cantidad de polvo emitido esta relacionada con la velocidad del vehículo, peso neto, número de ruedas y la forma del vehículo. Además, se obtuvo una relación entre la densidad obtenida y el polvo decantado” (Bellolio, 2005).

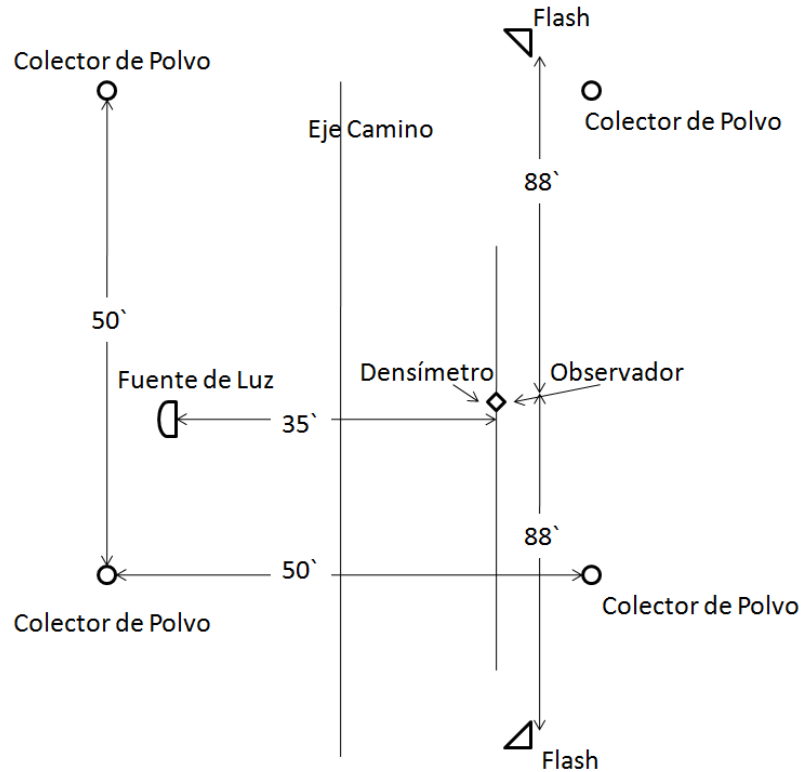


Figura 2-d: Esquema de densímetro (Sanders y Addo, 2000)

- c) Hoover: En 1973, Hoover usó la técnica de sedimentación colocando baldes a los costados del camino, con el fin de averiguar la naturaleza de la generación de polvo y su distribución.

El polvo acumulado en los colectores era pesado de manera de conocer la efectividad relativa de los supresores aplicados en los distintos tramos. En 1981, con el apoyo de la Universidad del Estado de Iowa, en un esfuerzo por cuantificar la cantidad de polvo que decantaba fuera del camino y con el fin de determinar la efectividad de los distintos supresores de polvo, Hoover nuevamente utilizó colectores de acuerdo a lo señalado por ASTM D-1739. Los datos fueron analizados graficando la cantidad de polvo acumulado/acre/día/100 vehículos versus la distancia desde el centro del camino. Hoover con su investigación observó que la caída de polvo, en cualquier dirección, se veía afectada por la dirección y velocidad del viento, la topografía del camino, la vegetación, la humedad del ambiente, el tipo de superficie del camino, entre otros factores. Como conclusión se señala que ASTM D-1739 no está exenta de problemas, de acuerdo a las observaciones realizadas en este estudio y debido a que se pierde mucho tiempo en el laboratorio para determinar el peso del polvo depositado en los recipientes (Sanders y Addo 2000).

2.3.2.1 Métodos Móviles:

El control de emisiones de polvo en estos casos, se realiza con equipamientos móviles especiales, los cuales buscan cuantificar objetivamente la cantidad de partículas de polvo PM10 (decimos *PM diez*, el cual significa *partículas* de hasta 10 micrometros en tamaño), PM2,5 y PM1 presentes en el camino.

Algunos factores que influyen en las mediciones con cualquier equipo pueden ser:

- Adición de arena PM10 en los caminos, lo que lleva a un aumento en estas partículas, debido al desgaste de los gránulos de arena por acción del tráfico vehicular.
- Influencia sustancial en los niveles de emisión en función del tipo de neumático usados, ya sean estos de verano o invierno. (Pirjola et. al, 2010)
- Aumento de los niveles de emisión con el aumento de velocidad del vehículo. (Pirjola et. al, 2010)

- a) Universidad de Colorado: Este equipo desarrollado por Sander y Addo, corresponde a un dispositivo denominado Polvometro (Dustometer), el cual va conectado detrás de una de las ruedas traseras del vehículo de investigación. Su forma de trabajo consiste, en tomar muestras continuas de polvo, a medida que avanza por el camino de prueba.

El Aparato consta de:

- I. Un contenedor de metal conteniendo un papel filtro de fibra de vidrio de 10x8 pulgadas (25,4x20,3 cm.), montado sobre el parachoques de una camioneta de ¼ ton. en el costado izquierdo trasero.
- II. Un generador eléctrico.
- III. Una bomba succionadora de gran caudal. La caja del filtro posee una abertura de 12x12 pulgadas (30,5 x 30,5 cm.) la cual está cubierta por una malla coladora de 450 micrones que da la cara a la rueda. Esta malla previene la introducción de partículas distintas de polvo en el filtro durante las mediciones. (Bellolio 2005).

Además, el Equipo cuenta con un software de monitoreo, el cual está configurado para analizar las muestras y el escurrimiento del agua en la superficie de prueba, en el caso que existiera escurrimiento producto de las lluvias.

Para realizar la prueba, el vehículo se desplaza a una velocidad de 45 MPH (72km/h), produciendo polvo en suspensión por la acción neumático- superficie de contacto, este MP es captado por el papel filtro, en la bomba succionadora, siendo retirado una vez acabada la experiencia, analizado y pesado en el laboratorio, obteniéndose así la cantidad total de polvo del camino. (Sanders y Addo, 2000)



Figura 2-e: Disposición del Polvometro en Vehículo de Prueba - Sanders y Addo, 2000

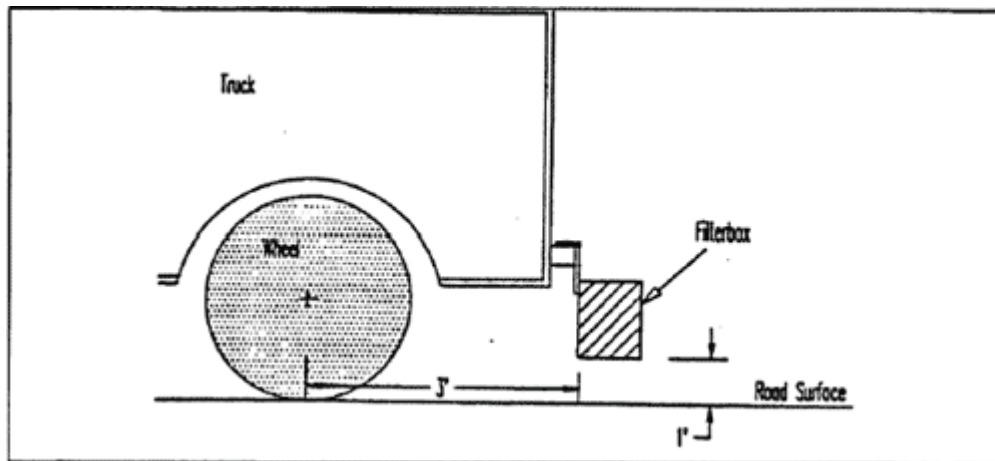


Figura 2-f: Esquema de colocación del Polvometro - Sanders y Addo, 2000

b) SCAMPER (Estados Unidos) - EMMA (Suecia):

El Laboratorio EMMA - SCAMPER, consiste en:

- Tres entradas de tubo metálico, por los cuales entran partículas de polvo: Dos entradas son montadas detrás de las ruedas delanteras, y otra se sitúa debajo del vehículo, en el parachoques delantero (Hussein et. al 2008) como se muestra en la siguiente figura:

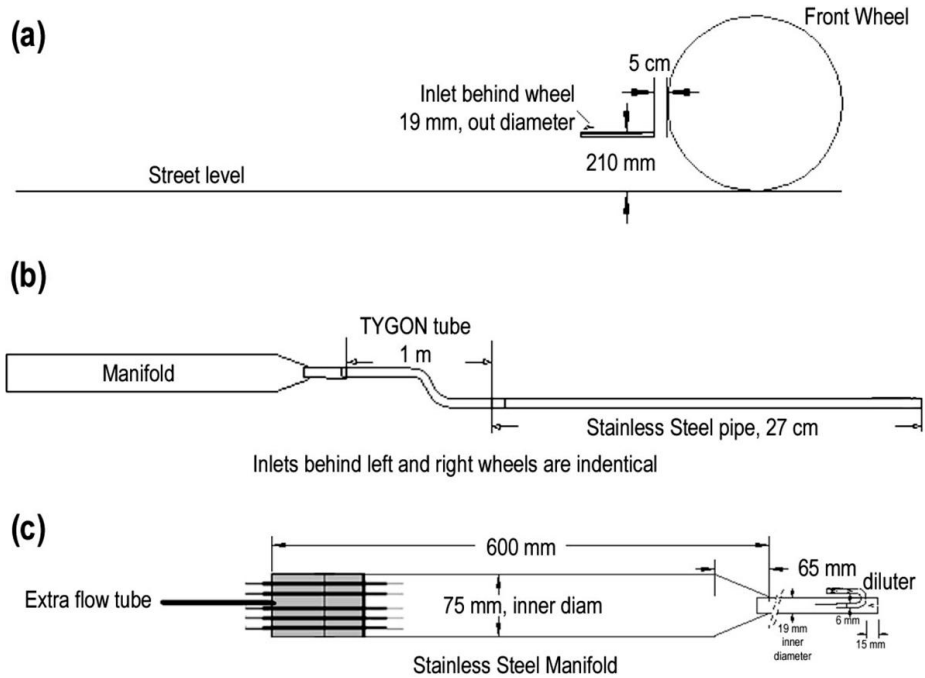


Figura 2-g: Un esquema que muestra la configuración del diagrama, línea de muestreo con las ruedas delanteras del sistema de Emma.

En la figura 2-g: Tenga en cuenta que las dos líneas de muestreo son idénticas a los lados derecho e izquierdo. (a) La distancia y la ubicación de la entrada detrás de la rueda, (b) las líneas de muestreo entre la entrada y el colector, y (c) el diseño del colector. (Pirjola et. al, 2010)

- Un instrumento GRIMM, para medir la distribución de partículas de tamaño entre 0,25 y hasta 30 mm. El Sistema GRIMM, es un Precipitador electrostático, este dispositivo se utiliza para atrapar partículas mediante su ionización, atrayéndolas por una carga electrostática inducida.
- Un sistema GPS, el cual nos proporciona la posición y la velocidad del vehículo en un intervalo de 1 s.
- Los datos son recopilados y mostrados por un ordenador que viaja a bordo del vehículo. (Pirjola et. al, 2010)

c) SNIFFER – Finlandia:

- El Instrumento se encuentra en una van Volkswagen LT35 diesel con una longitud de 5.585 mm, una anchura de 1.933 mm, una altura de 2.570 mm y un peso total máximo de 3.550 kg.
- Las muestras se obtienen a través de dos sistemas diferentes de entrada de apertura hacia el sentido de la marcha: por encima del parabrisas a una altura de 2,4 m, y encima de la defensa a una altura de 0,7 m.
- Sniffer mide la concentración de polvo suspendido detrás de su rueda trasera izquierda cerca de la fuente de emisiones de polvo.

- El polvo de la muestra se recoge a través de una entrada de forma cónica con una superficie de 0.20m x 0.22m. en la distancia de 5 cm. de la llanta en un tubo vertical con un diámetro de 0,1 m. El borde inferior de la entrada de forma cónica es de 7 cm. por encima de la superficie de la calle, y el borde superior es tan alta como lo permite la geometría de los guardabarros.
- Un tubo de acero inoxidable (diámetro de 0,1 m) pasa por la parte trasera a la parte superior de la camioneta. Un motor eléctrico situado en el techo del vehículo produce un flujo de aire constante de aproximadamente 2000 L/min.
- El número de concentración y distribución del tamaño de las partículas esta en el rango de tamaño de 7 nm a 10 μ m, que se miden por dos Elpis (Impactor baja presión eléctrica; Dekati Ltd.) con una resolución de tiempo de 1 s.
- La concentración de PM10 se controla detrás de la rueda de TEOM (microbalanza oscilante de elemento cónico), que ahorra un 30-s en ejecución la concentración de masa promedio cada 10 s.
- Sniffer proporciona mediciones de las concentraciones de gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO), y dióxido de carbono (CO₂), sobre el parabrisas o por encima del parachoque delantero.
- Una estación meteorológica se sitúa en el techo a una altura de 2,9 m proporcionando los parámetros meteorológicos. Velocidad relativa del viento, temperatura y humedad relativa.
- Un sistema de posicionamiento global muestra la velocidad de la camioneta y la ruta de conducción. (Pirjola et al. 2010).



Figura 2-h: Equipamiento del Sniffer - Pirjola et al. 2010

- d) DustMate – Chile (MPC – 1): Este es un método desarrollado por Juan Pablo Bellolio y apoyado por el DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, denominado MPC – 1. Se puede observar que este equipo es similar a los desarrollados por la Universidad de Colorado y el RDM desarrollado por la Universidad de Cornell en conjunto con el USDA Forest Service.

El equipo utiliza un aparato portátil llamado “DustMate” (de Turnkey Instrument), el cual contiene una bomba en su interior que permite obtener una muestra del aire circundante. El equipo cuenta además con un fotómetro láser que permite cuantificar el número y tamaño de las partículas en suspensión, que posee el flujo de aire del volumen conocido entregado por la bomba, la cual aspira a 600 cc/min. Una vez realizada la medición, el equipo “DustMate” se conecta al computador para poder transferir los datos obtenidos. (Bellolio, 2005)

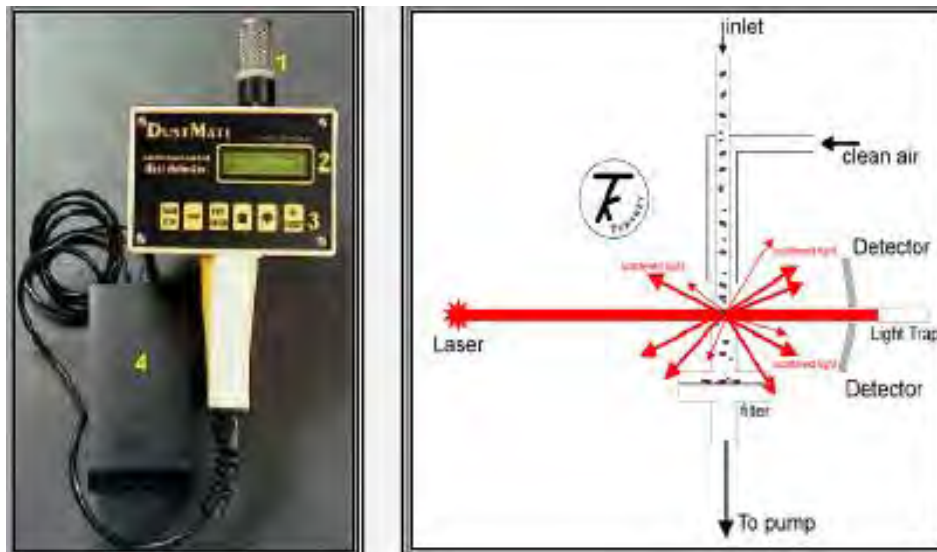


Figura 2-i: Esquipo DustMate y Esquema de Funcionamiento - Bellolio, 2005



Figura 2-j: Partes del MPC – 1 - Bellolio, 2005



Figura 2-k: Ubicación del MPC-1 en camioneta - Bellolio, 2005

Como se observa en las figuras presentadas anteriormente, el DustMate (en adelante MPC – 1), va ubicado en el parachoques del vehículo de prueba, dispuesto cuidadosamente detrás de una

de las ruedas traseras, aspirando el polvo producido por la interacción neumático-superficie de rodado.

Si bien es cierto, este método es similar a los expuestos anteriormente, presenta ventajas considerables. “A diferencia del equipo utilizado por la Universidad de Colorado, que realiza una medición del total de polvo generado, sin poder diferenciar entre zonas de mayor o menor emisión dentro del tramo. El MPC-1 permite medir la concentración de polvo en cada punto del tramo evaluado y no como un todo, de esta manera se pueden apreciar diferencias dentro de los tramos y permite identificar la emisión de cada punto por separado”.(Bellolio, 2005)

La siguiente figura nos da un ejemplo de esta ventaja.

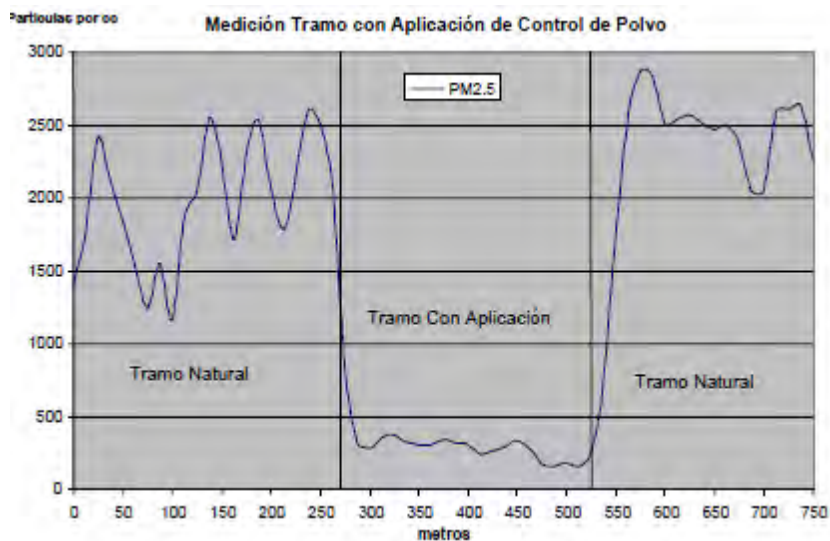


Figura 2-1: Ejemplo de identificación de tramos - Bellolio, 2005

Como se observa en la figura N° 2l, existe una disminución considerable de las emisiones de polvo, en el tramo del camino que presenta tratamiento con un supresor, diferenciándose claramente de los tramos sin éste.

Parámetros Considerados para las mediciones con MPC – 1.

- I. Intervalo de Medición: Los intervalos de medición varían de 1s a 60 min, dependiendo del nivel de detalle que se requieran para las mediciones.
- II. Ubicación de la Toma de Muestra: Para la obtención de los valores, se opta por fijar la posición de la toma de aire vertical, a la misma altura del eje de las ruedas del vehículo y horizontalmente en línea recta del neumático. Figura N°2k
- III. Parámetros de Medición: El equipo entrega valores de Material Particulado de MP10, MP2,5 y MP1.

- IV. Tipo de Vehículo: Las mediciones deben ser realizadas con el mismo vehículo, y con el mismo neumático, para evitar variaciones considerables en la acción neumático-superficie de contacto.
- V. Velocidad de Tránsito: Se estimó una velocidad de 50Km/h. para caminos con tratamiento y de 40 - 45Km/h sin éste.

Además de estas consideraciones, la metodología desarrollada por el DICTUC, cuenta con una “Planilla de Control”, la cual busca objetivizar las mediciones.

Proyecto				
Tramo de Prueba				
N° Muestra				
Fecha				
Hora inicio				
Hora Termino				
Clima				
Temperatura	uncial	final	promedio	
Humedad Relativa	uncial	final	promedio	
Operador				
	2,1b-S	2,1a-S	2,1b-N	2,1a-N
Tiempo Entrada				
Tiempo Salida				
Observaciones				

Figura 2-m: Formato de la Planilla de Control - DICTUC

Cabe señalar que para objeto de la investigación, utilizaremos principalmente la metodología MPC -1, con algunas modificaciones, las cuales serán descritas en el Capítulo N°3.

2.4. Materiales Supresores de Polvo:

Corresponden a todos aquellos materiales y sustancias utilizadas para disminuir o aplacar definitivamente las partículas de polvo presente en los caminos.

En la actualidad, “los métodos de control de polvo de los caminos, consisten en fumigación con productos químicos, principalmente compuestos de cloro y adhesivos resinosos a la utilización de geotextiles en la reconstrucción de carreteras” (Colorado Centro de Información de Transporte, 1989). El uso de estos supresores de polvo puede justificarse cuando:

1. El tráfico es bajo o la pavimentación no es factible por falta de fondos.
2. El costo de la aplicación de supresor es baja.
3. Cuando la construcción de pavimentos definitivos está previsto.

Los Supresores de Polvo utilizados son derivados de la lignina, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, cloruro de sodio, el tejido de carreteras, adhesivos resinosos, agua, etc. La selección de un determinado inhibidor depende no sólo de sus características actuales, sino también del tipo y volumen del tráfico, la condición de la carretera y el costo del producto para lograr el nivel deseado de control de polvo. (Colorado Centro de Información de Transporte, 1989).

Existen dos métodos principales para la aplicación de los Supresores del Polvo:

- Rociados por vía tópica: Consiste en rociar la superficie del camino, una vez que este ha sido tratado, es decir, se le aplicó moto niveladora y rodillo, quedando un camino con mejor compactación y pendientes de escurrimiento bien marcadas. Este método es simple y rápido. Los supresores aplicados de esta forma son efectivos para periodos cortos de tiempo, teniendo que ser aplicado nuevamente la próxima temporada. En esta categoría entran sales tales como, el cloruro de calcio y cloruro de magnesio, y otros productos derivados del aceite de soja.
- Mezclados in-situ: Este método implica adicionar el supresor al material que será agregado a la carretera, una vez que esta ha sido escarificada. Este método no solo logra suprimir las partículas de polvo, sino también, ofrece una mejor carpeta de rodado, mejorando el terreno para una sub-base y base de una futura pavimentación con un material superior. Aquí podemos encontrar sales como el Cloruro de sodio.

Algunos materiales más utilizados como Supresores de Polvo.

2.4.1 Cloruro de Calcio:

“Corresponde al grupo de sales higroscópicas tales como cloruro de magnesio, especialmente han sido utilizados para el tratamiento de superficies sin pavimentar la carretera desde el siglo pasado. Debido a sus propiedades higroscópicas que no sólo retarda la evaporación de la superficie de la carretera durante el calor del día, pero saca la humedad de su entorno (medio

ambiente) para producir una salmuera que a su vez, mantiene la humedad de la superficie de la carretera” (Sander y Addo, 2000).

La solubilidad del cloruro de calcio en comparación con el cloruro de magnesio, aumenta más rápidamente al aumentar la temperatura. Esto significa que el cloruro de calcio produce una salmuera a baja humedad relativa y bajo condiciones de calor seco, que causan los mayores problemas de control de polvo. Un estudio realizado en el Instituto Real de Tecnología de Suecia, cuantifica la diferencia entre los dos agentes de control de polvo en caminos de grava real y el cloruro de calcio que se encuentra el 18 % más eficaz que el cloruro de magnesio (Reyier, J., 1972), pero el Cloruro de calcio es más caro, así que por lo general, una mezcla de sal común y cloruro de calcio se utiliza para reducir los costos, mientras que el control del polvo sea eficaz. (Laboratorio Larkin, 1986).

2.4.2. Cloruro de Magnesio (Bischofita):

La Bischofita es una sal hexahidratada, la cual se puede aplicar a una gran variedad de suelos, incluso no plásticos con pocos finos; y buena calidad de rodado, similar a los caminos pavimentados. La bischofita es un compuesto químico natural (sales de magnesio) que facilita la captación y retención de agua en zonas semi –desérticas (propiedades higroscópicas), logrando un mejoramiento sustantivo de las capas de rodadura, eliminando las calaminas, el polvo y las deformaciones, reduciendo la conservación rutinaria a un mínimo. (Hinrichsen, 2005). La empresa que lo comercializa en nuestro país es RoadMag, distribuido y aplicado por Vialcorp.

Entre sus características encontramos:

- I. **Higroscopicidad:** Absorbe agua del ambiente para humedades relativas > 32%.
- II. **Ligante:** Liga partículas finas estabilizando la carpeta de rodadura.
- III. **Soporte a la tracción:** Cristaliza los finos en la superficie.

La Bischofita en nuestro país es obtenida en el Salar de Atacama (II Región - Chile), del subsuelo del Salar se extrae una salmuera rica en minerales, la cual es depositada en piscinas de evaporación, al evaporar el agua precipita por fases de las distintas sales, una de las cuales es el Cloruro de Magnesio. (Boletín RoadMag)

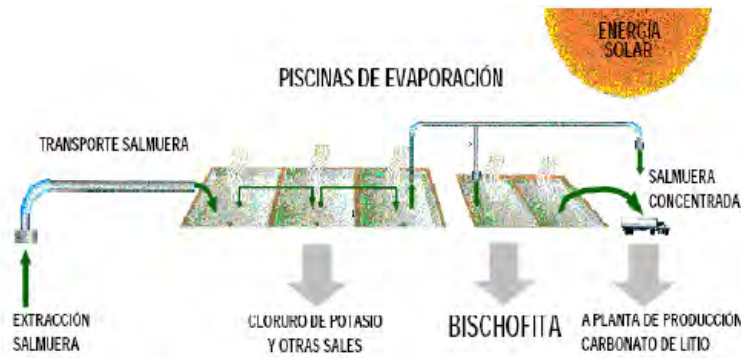


Figura 2-n: Esquema del proceso de extracción de la Bischofita - Boletín RoadMag

La Bischofita, puede ser utilizada tanto como Estabilizante, como producto Supresor del Polvo:

I. Estabilización:

En qué consiste: Se mezcla el suelo que conforma la carpeta de rodado con una cierta cantidad de cloruro de magnesio, ya sea seco o en salmuera. Luego se agrega agua para obtener una humedad cercana a la óptima, y posteriormente el material es extendido y compactado. La estabilización también permite controlar el polvo de los caminos no pavimentados.

Aplicabilidad:

- Caminos estándar medio-alto de transitabilidad
- Larga vida útil proyectada (años)
- Tránsito de vehículos livianos
- Buena calidad de materiales (Boletín RoadMag)

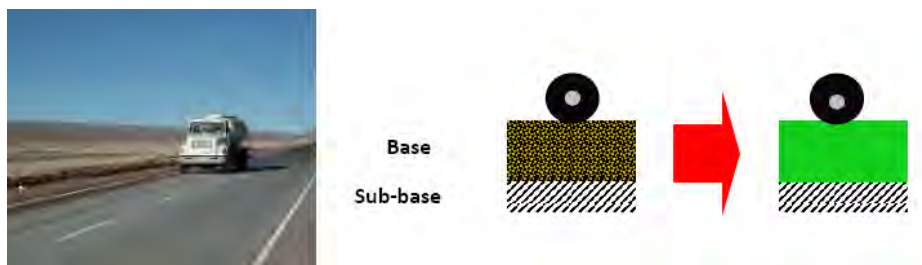


Figura 2-o: Imagen de un Camino Estabilizado con Bischofita y un Esquema de su aplicación en la Base del camino - Boletín RoadMag

II. Tratamiento Supresor de Polvo:

En qué consiste: Se aplica un riego de salmuera en una dosis promedio de 4 l/m² sobre una superficie del camino compactada y libre de deterioros superficiales, la cual debe poseer un bombeo entre 4 y 6%. La salmuera es una mezcla homogénea de MgCl₂ y agua, cuya concentración típica de cloruro de magnesio es entre 24 y 30%.

Aplicabilidad

- Plataformas de alto desgaste y sollicitaciones
- Caminos alto tráfico minero
- Estándar medio-bajo de transitabilidad
- Caminos de uso temporal (meses)
- Áreas generadoras de polvo
- Prácticamente cualquier tipo de material de base (Boletín RoadMag)



Figura 2-p: Riego superficial de Bischofita – Elaboración propia

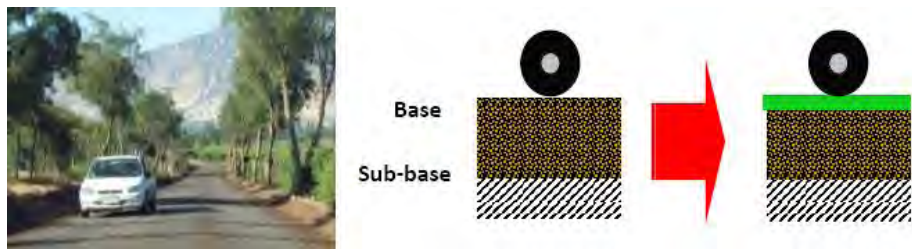


Figura 2-q: Imagen de un Camino con Riego Superficial de Bichofita y un Esquema de su aplicación en la Base del camino - Boletín RoadMag.

2.4.3 La Borra:

La borra acidulada aceite de soja es un subproducto del proceso de refinación cáustica de aceite de soja. Es un supresor de polvo en caminos de grava, que favorece al medio ambiente, ya que es un material biodegradable. Cuando se utiliza en los niveles sugeridos, este material no migra a las aguas subterráneas, ni daña los cultivos agrícolas. Cuando la borra de aceite de soja se aplica a los caminos, penetra bajo la superficie de la carretera y actúa como un escudo protector para el camino. (Minnesota Soybean, 1998)

2.4.4. Cloruro de Sodio (Halita):

La sal es un estabilizante natural, que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, lo que contribuye a aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, y por lo tanto a la disminución de la permeabilidad. Su uso es para todo tipo de suelo, pero su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico.

“El Cloruro de Sodio (sal común) presenta grandes ventajas sobre los otros elementos estabilizadores por la gran cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación”. (Hinrichsen, 2005)

En nuestro país, este producto es extraído principalmente de Salar Grande de Tarapacá en la Primera Región, sin observaciones especiales con relación al transporte, compuesto en un 98% por cloruro de sodio (NaCl) y un 2% de arcilla /limos. La empresa que la comercializa es Super Sal Lobos S.A. con el nombre de Road Salt.

Como se aplica esta tecnología.

La estabilización con sal, tiene múltiples aplicaciones y no solo en caminos donde pueden estabilizarse carpetas de rodado, bases, sub – bases, suelos naturales o subrasantes, sino también pistas de aterrizaje en aeródromos, playa de estacionamiento, en centros de consumo, supermercados, colegios, multicanchas, patio de recreación, estadios y otras áreas como bodegas a la intemperie y patios industriales, veredas entre otros. Es en resumen adaptable a otros usos en una gran variedad.

“Sobre las superficies estabilizadas con sal se puede imprimir, ejecutar doble tratamiento, asfaltar u hormigonar sin otra limitación de las propias de los productos a utilizar”. (Hinrichsen, 2005)

En la estabilización con sal como cualquier otro procedimiento, la calidad del trabajo terminado dependerá de los materiales que se usen y de que el constructor se ciña a una buena técnica de construcción y a las recomendaciones generales entregadas por el proveedor.

La maquinaria y su correcto uso, unido a condiciones mínimas en cuanto a saneamiento, pendientes longitudinales y transversales que permitan el escurrimiento de las aguas lluvias,

una compactación mínima a un nivel de densidad de 95% y una homogeneización adecuada, permitirá tener una carpeta de rodado.(Sociedad Punta de Lobos S.A.)

Ventajas:

1. El Cloruro de Sodio (sal común), presenta algunas ventajas sobre otros elementos estabilizadores, una de ellas es la cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación.
2. Es un estabilizador natural.
3. Mejora la resistencia y cohesión de los suelos
4. Ocupa la maquinaria típica en caminos.
5. Requiere de un periodo de curado de 15 días a temperatura ambiente. (Dependiendo del clima), recomendación que propone el Laboratorio de Vialidad para ver si aumenta la resistencia del suelo y verificar si se comporta mejor en el tiempo.
6. El tránsito no se interrumpe durante la ejecución de la obra ni durante el periodo de curado.
7. Ausencia de polvo, calamina, material suelto, y ahuellamiento del camino.
8. Bajo punto de congelamiento.
9. Caminos tratados con Sal demandan mantención mínima, su reparación es sencilla y económica.
10. Se puede aplicar productos asfálticos u otro tipo de pavimento sobre ella.
11. Otra ventaja es la reducción en forma considerable del ruido en el exterior del vehículo, debido al texturado superficial más cerrado con la que queda la carpeta con sal.
12. El cloruro de sodio proporciona un aumento en la densidad del camino, permitiendo mejorar su resistencia a la tracción y compresión.
13. Caminos tratados con Sal demuestran una reducción del material fino en suspensión (polvo) de un 99%.
14. La elaboración de caminos con NaCl, no revisten riesgos a la salud de las personas.

Desventajas:

1. El uso de la sal produce problemas de corrosión en los vehículos.
2. En el momento en que la humedad ambiental sea alta, las superficies se tornan resbaladizas, sobre todo si presentan algún grado de plasticidad, aumentando el riesgo de accidente.
3. Una elección incorrecta de materiales y una mala homogeneización de los componentes de la mezcla, pueden conducirnos a un fracaso, es decir, capa de desgaste, calamina, con hoyos y dispareja.
4. Caminos tratados con Sal demandan vigilancia luego de terminado el proceso de estabilizado: a pesar de que el camino puede ser utilizado inmediatamente luego de terminar con la compactación de la carpeta, se deberá tomar como precaución que los vehículos no frenen bruscamente ni que aceleren de forma que estos patinen, durante el periodo que dure el fragüe de la carpeta (10 a 15 días).
5. Se debe chequear periódicamente el sistema de drenaje adoptado, especialmente después de lluvias o precipitaciones intensas, en este tipo de solución se debe cuidar que el camino no sufra cortes debido al paso del agua que rompan la continuidad de éste.
6. Caminos tratados con Sal pueden causar efectos significativos sobre el medio ambiente: El Cloruro de Sodio en altas concentraciones registra impactos que hablan de daños a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial y agua potable. (Sociedad Punta de Lobos S.A.)

2.4.5. Otras soluciones.

Descritas en la Tesis Nicole Hinrichsen de la Universidad Austral de Chile, tanto para estabilizar los caminos y suprimir los efectos del polvo, pueden ser métodos más definitivos como los siguientes:

“Sellos (Sellos de agregados): El ítem sellos se refiere a las soluciones tradicionales de tratamientos superficiales simples (TSS), Este tipo de tratamiento combina la aplicación de emulsiones asfálticas con cobertura de agregado granulares”. (Hinrichsen, 2005)

La cal: Este método de estabilización con cal se utiliza con doble propósito; mejorar la resistencia o capacidad de soporte (CBR) del suelo y reducir su plasticidad. Las partículas de arcilla, debido a su composición mineralógica, tienen exceso de aniones los cuales atraen los cationes del agua; haciendo que esta se adhiera a ellas, formando una agua pelicular.

Asfalto: La estabilización con asfalto consiste en adicionar un producto bituminoso que puede ser asfalto líquido, asfalto cortado o emulsiones asfálticas. Especialmente recomendado para

suelos de baja plasticidad, donde se realiza la impermeabilización del suelo al recubrir sus partículas con una película de asfalto.

Cemento: Este proceso de estabilización se realiza produciendo la compactación de una mezcla de suelo, cemento y agua, con lo cual se logra un suelo que se comporta favorablemente a la deformación y cambio de humedad.

El cemento sirve para estabilizar todo tipo de suelos, excepto aquellos ricos en materia orgánica y suelos de alto contenido de sulfato. La limitante para este tipo de estabilización es que, para que sea efectiva y económica en comparación a las otras, el suelo debe ser gravoso, arenoso o limoso arcilloso de plasticidad baja media. Si el límite plástico es mayor a treinta por ciento, es difícil lograr una mezcla homogénea.

2.5. Registros de la aplicación de estos productos en nuestro país.

Caminos Básicos 5000, que comenzó el año 2004 y que inicialmente se extendería hasta el 2006, pero que en la actualidad se sigue desarrollando, es un programa que está orientado a mejorar los caminos rurales del país utilizando materiales alternativos.

2.5.1. Objetivos Técnicos del Programa

- Aplicar mejoras en superficies de caminos no pavimentados, no abordados en los programas tradicionales, alcanzando una mayor serviciabilidad y abordar con un mayor criterio social aquellos caminos con bajo volumen de tránsito, donde no es posible justificar económicamente la construcción de obras de pavimento.
- Aplicar soluciones básicas que otorguen una mayor calidad de vida a los usuarios y habitantes colindantes de estos caminos.
- Reducir costos de conservación por la adecuada aplicación de soluciones básicas económicas.
- Fortalecer el ámbito técnico de la ingeniería y la investigación, aprovechando nuevas tecnología y aplicarlas en los planes de conservación.

2.5.2. Tipos de Soluciones Básicas.

- Estabilización con Bischofita
- Estabilización con sal
- Capas de protección – capro
- Cape seal
- Imprimaciones reforzadas
- Sellos (tss – tsd)
- Otras

Cuadro de Cantidad de Obra Total 2008 – 2010

	Valores			
Rótulos de fila por Región	Suma de Km 2008	Suma de Km 2009	Suma de Km 2010	subtotal
1	81,1	40,0		121,1
Bischofita	15,6			15,6
Borra Asfáltica				0,0
Cloruro de Sodio	65,5	40,0		105,5
Tratamiento Superficial Simple				0,0
2	87,9	73,0	178,2	339,1
Bischofita	87,9	73,0	178,2	339,1
Cape Seal				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Imprimación Reforzada				0,0
3	127,2	110,3	105,4	342,8
Bischofita	127,2	110,3	105,4	342,8
Bischofita y Cloruro de Sodio				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Lechada Asfáltica				0,0
4	117,1	106,6	69,6	293,3
Bischofita	108,2	73,6	25,4	207,2
Cloruro de Sodio		15,9	36,1	52,0
Imprimación Reforzada	0,9	4,0		4,9
Lechada Asfáltica		0,7		0,7
Tratamiento Superficial Simple	8,0	12,5	8,1	28,6
5	92,0	44,9	71,8	208,7
Otta Seal				0,0
Sello Asfáltico				0,0
Tratamiento Superficial Simple	92,0	44,9	71,8	208,7
6	77,0	116,8	128,7	322,6
			2,8	2,8
Cape Seal				0,0
Carpeta de Mezcla Asfáltica				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Doble Tratamiento	65,5	95,0	125,9	286,4

Superficial				
Fito Soil				0,0
Lechada Asfáltica		2,1		2,1
PROES				0,0
Tratamiento Superficial Simple	11,6	19,7		31,3
7	45,7	63,0	8,2	116,9
Bischofita		28,8		28,8
Cape Seal	2,0	5,1		7,1
Carpeta de Mezcla Asfáltica	6,1			6,1
Cloruro de Sodio	2,3	11,7		14,0
Doble Tratamiento Superficial		4,9		4,9
Tratamiento Superficial Simple	35,3	12,5	8,2	56,0
8	1,6	22,1	6,3	30,0
Bischofita		2,4		2,4
Carpeta de Mezcla Asfáltica		1,6		1,6
Cloruro de Calcio				0,0
Doble Tratamiento Superficial	1,6	18,0	6,3	25,9
Otta Seal				0,0
Sello Asfáltico				0,0
9	59,1	30,5	12,4	101,9
Bischofita				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Doble Tratamiento Superficial	59,1	30,5	12,4	101,9
Imprimación Reforzada				0,0
Sello Asfáltico				0,0
Tratamiento Superficial Simple				0,0
10	49,3	14,6	56,6	120,5
Cape Seal				0,0
Carpeta de Mezcla Asfáltica		5,2	18,4	23,6
Cloruro de Sodio				0,0
Doble Tratamiento Superficial	41,1	9,4	38,2	88,8
Otta Seal	8,2			8,2

11	14,4	13,5		27,9
Cloruro de Sodio	1,0	13,5		14,5
Fito Soil	13,4			13,4
12	8,5	20,0	22,3	50,8
Cape Seal				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Otta Seal	8,5	20,0	22,3	50,8
13	106,4	64,9	44,9	216,2
Cape Seal				0,0
Carpeta de Mezcla Asfáltica	32,6	22,3	33,9	88,8
Doble Tratamiento Superficial	26,7			26,7
Fito Soil				0,0
Lechada Asfáltica				0,0
Otta Seal		2,6		2,6
PROES	6,0			6,0
Tratamiento Superficial Simple	41,1	40,0	11,0	92,1
14		15,5	49,1	64,6
Cape Seal		15,5	49,1	64,6
Carpeta de Mezcla Asfáltica				0,0
Cloruro de Sodio				0,0
Doble Tratamiento Superficial				0,0
Otta Seal				0,0
15	21,0		17,7	38,7
Cloruro de Sodio	21,0		7,2	28,2
Doble Tratamiento Superficial				0,0
Tratamiento Superficial Simple			10,5	10,5
Total general	888,2	735,5	771,2	2.395,0

Tabla 2-c: Caminos Básicos 2008 - 2010 - Vialidad

2.5.3. Trabajos Realizados en la Región de los Ríos.

Bajo el contexto del Proyecto de Caminos 5000, es que la Dirección de Vialidad de la Región de los Ríos, ha implementado desde el año 2010, el mejoramiento de caminos secundarios y rurales.

Los caminos seleccionados para esta temporada, fueron los siguientes:

Nombre de los Caminos Tratados - Temporada 2012
Cruce T-716 (Rapaco) – Folleco
Cruce Ruta 208 (Rapaco) - Los Conales
Cruce Ruta 210 (La Unión) - Cruce T-790 (La Poza)
Crucero – Chirre
Cruce T-929 (Crucero) - Cun Cun
Cruce T-87 (Circunvalación) - Cruce T-87 (Estación Crucero)
Cruce Ruta 5 (la plaza) - cruce ruta 208
Cuesta Quinta - Lago Pullehue
Cabo Blanco - Las Marias
El Arenal - Sta Elvira
Acceso parque Saval
Los Molinos – Curiñanco
Mafil – Mulpun
Cruce T-87- Huinqueco
Cruce T-71 Lago Ranco
Hueinahue - Paso Carrirriñe
Lago Ranco Quillaico
Coñaripe - los Cajones
Torobayo - Curiñanco (sector chavelita)
pullehue - Los tallos
Paillaco - La Luma
Ciruelos – Panguinilahue
Angachilla

Tabla 2-d: Caminos tratados - Temporada 2012- Vialidad Región de los Ríos 2012

3 Estudio de las emisiones de material particulado en caminos no pavimentados de la Región de los Ríos.

3.1. Descripción de la toma de muestras.

Como se ha descrito en el capítulo anterior, alrededor del mundo se han desarrollado diferentes metodologías que buscan medir las partículas de polvo emitidas por los vehículos en caminos no pavimentados. En el caso particular de nuestro país, el DICTUC de la Pontífice Universidad Católica de Chile, utilizando el equipo portátil “DustMate” desarrollo una metodología denominada “MPC-1” (ver Capítulo 2).

Para la presente investigación, además de utilizar el equipo “DustMate” con la metodología “MPC-1”, se implementará un sistema de toma de muestras estáticas, las cuales contarán con la ayuda del equipo británico “DustMate”, además de otros elementos, que serán descritos a continuación. Esta metodología tiene como objetivo describir el comportamiento de la nube de polvo entorno al camino de prueba.

3.2. Metodología desarrollada.

3.2.1 Elementos utilizados para el desarrollo de esta metodología:

DustMate:



Boquilla Toma de Aire:



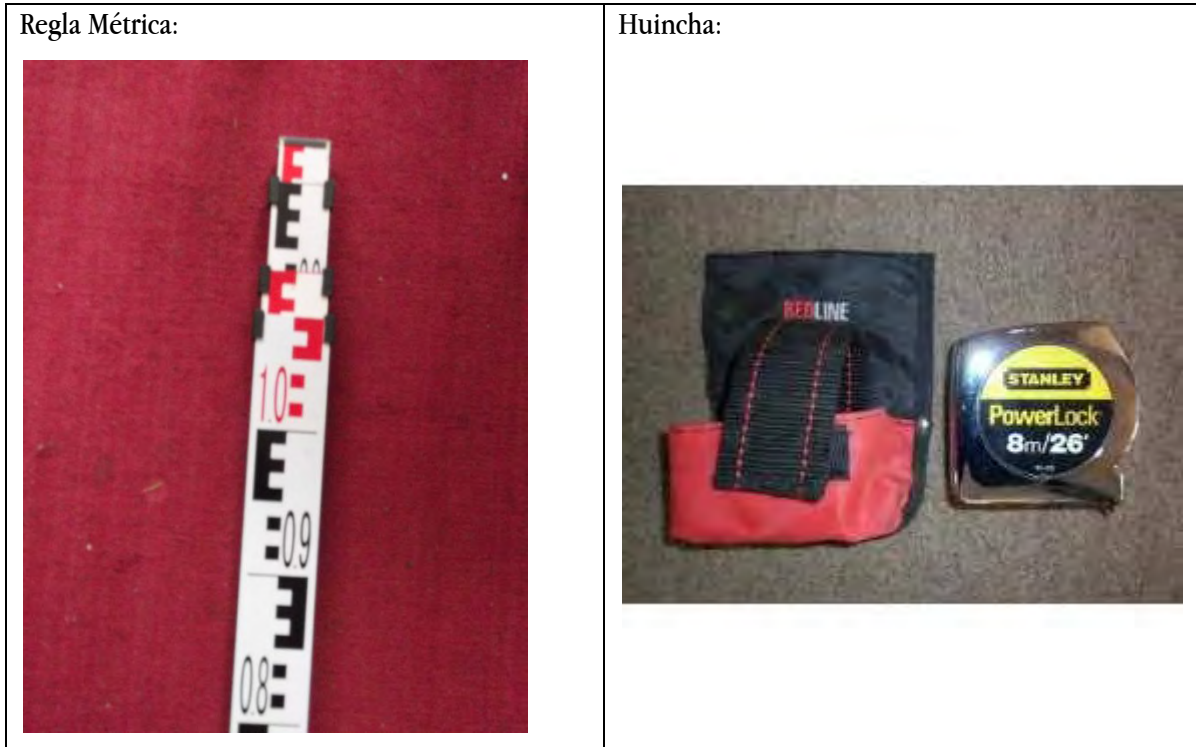


Figura 3-a: Elementos utilizados para la medición – Elaboración Propia

3.2.2. Metodología.

El camino de prueba utilizado corresponde a la ruta T-616 que va desde el Cruce longitudinal de la ruta T-207, a la localidad de Reumén .

La experiencia consistió en, hacer circular por la ruta un vehículo de prueba, específicamente un Jeep Vitara JLX año 93, neumático 235/70/R15, el cual se desplazó desde la señal 8.160 a la 8.400, a una velocidad constante de 50 km/h, esta velocidad fue señalada en el capítulo anterior, como la óptima para realizar las mediciones, con una velocidad del viento de 2 km/h. dirección Sur. A su vez el equipo DustMate se encontraba en la señal 8.340, atada a la regla métrica, a la altura que se deseara realizar la medición o desplazándose equidistante de la misma señal hacia el interior del predio que se encontraba al costado del camino.

Una vez, que el vehículo salía de la señal 8.160, el operador del DustMate comenzaba la toma de muestras, y se detenía 2 minutos después que el vehículo llegaba a la señal 8.400.

Los resultados obtenidos en estas mediciones, sólo son comparables entre sí, y para estudiar la diferencia en cantidad de polvo recopilada por el equipo “DustMate” en el día particular de las mediciones, para otras experiencias, ya sea para un mismo camino u otras localidades, se deberán

considerar cambios en la velocidad y dirección del viento, composición granulométrica y humedad del suelo, ya que son los únicos factores que menciona la literatura para hacer comparaciones de esta naturaleza. Cabe señalar que estas variables no se consideran ya que no corresponden al caso de estudio de esta tesis, que sólo busca establecer la franja al costado del camino que ve afectada por la nube de polvo.



Figura 3-b: Puntos de referencia de las mediciones – Elaboración Propia.

3.2.3. Clasificación de las mediciones.

Las tomas de muestras pueden clasificarse en dos categorías, las primeras consistían en realizar mediciones de emisión de polvo inmediatamente al costado del camino donde termina el cierre fiscal,

variando la altura de la boquilla de la toma de aire. Las otras medidas corresponden a la emisión del material particulado a medida que el instrumento se aleja del costado de la ruta, manteniendo constante la altura de la toma de aire.

3.2.3.1. Mediciones al Costado del Camino variando la Altura.

El objetivo principal de esta medición, consistía en establecer a que alturas las emisiones de polvo al costado del camino eran más abundantes, para ello, se fijó la toma de aire del equipo DustMate, a una altura inicial de 0,5 m, hasta llegar a 2,5 m, cambiando la posición de la toma de aire cada 0,5 m.

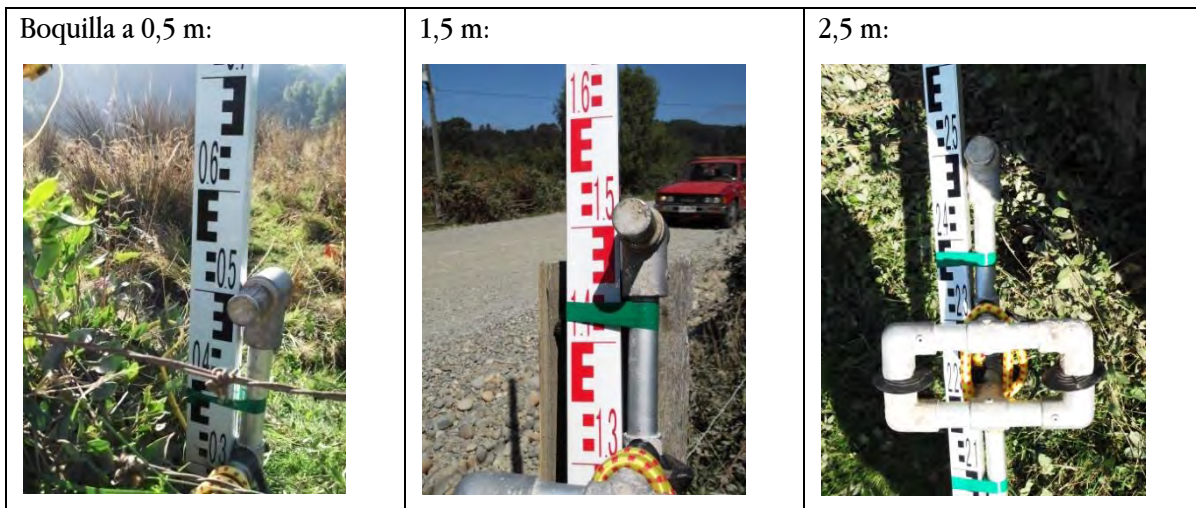


Figura 3-c: Posición de la Toma de Aire – Elaboración Propia.

3.2.3.2. Mediciones alejándose del camino.

Esta toma de muestra tiene como objetivo primordial establecer a qué distancia viaja la nube de polvo desprendida por los vehículos que transitan por el camino, y a qué altura de la boquilla de la toma de aire, las concentraciones de polvo son más abundantes. Para ello la toma de aire del DustMate, fue fijada inicialmente a 1,5 m, y se fue desplazando hacia el interior del predio, cada 5 m, partiendo desde el cierre fiscal, hasta unos 15 m. hacia el interior del predio.



Fotografía a 10 m de cierre Fiscal.

Figura 3-d: Fotografía a 10 m de cierre Fiscal.

3.2.4. Recopilación y análisis de Datos.

Los datos entregados por DustMate, son descargado al ordenador por medio del Software AirQ32, quien entrega toda la información tomada por DustMate, y de esta forma los datos son evaluados con el Software Microsoft Excel, para una mejor y más amigable interpretación. La totalidad de los datos entregados por el programa, se encuentran en el Anexo N°1.

3.2.4.1. Tablas de Resultados de Medición de Partículas inmediatamente al Costado del Camino, variando la altura de la Toma de Aire.

H=0,5m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	17859,3	13041,4	8625,3
Max. Cantidad de Partículas/segundo	1377	958	605,4
Promedio de Partículas/segundo	283,5	207,0	136,9

H=1,0m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	22252,8	14633,8	9546,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	3196,0	1901,5	1218,2
Promedio de Partículas/segundo	483,8	318,1	207,5

H=1,5m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	7180	4478,4	2979,5
Max. Cantidad de Partículas/segundo	1061,8	642,2	424,4
Promedio de Partículas/segundo	211,2	131,7	87,6

H=2,0m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	2686,6	1821,3	1147,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	986,4	625,8	386,2
Promedio de Partículas/segundo	70,7	47,9	30,2
H=2,5m	PM10	PM2,5	PM1

Total de Partículas en la medición.	14364,6	10132,4	6733,7
Max. Cantidad de Partículas/segundo	2006,1	1280,9	807,0
Promedio de Partículas/segundo	319,2	225,2	149,6

Tabla 3-a: Cantidad de partículas vs Altura toma de Aire - Elaboración propia

3.2.4.2 Gráficos de Resultados de Medición de Partículas inmediatamente al Costado del Camino, variando la altura de la Toma de Aire.

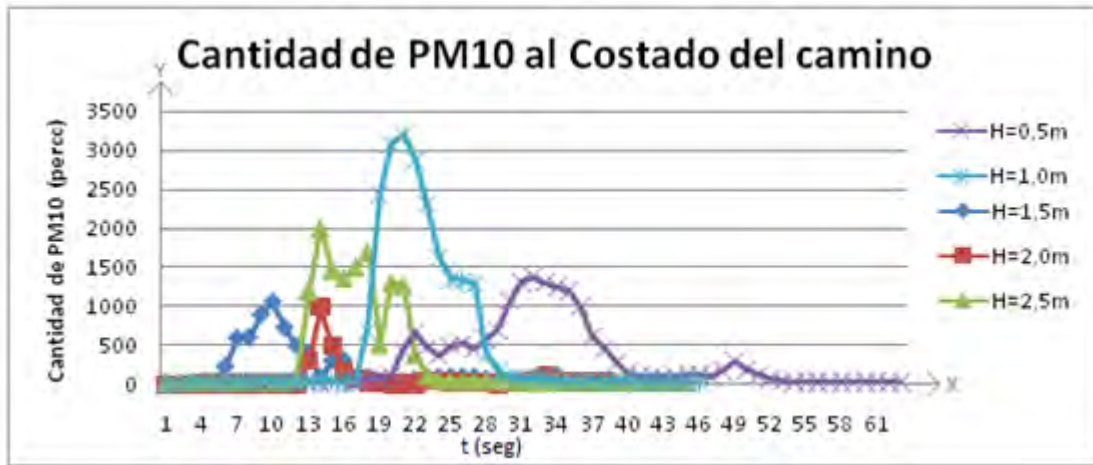


Figura 3-e: Grafico "Cantidad de PM10 al costado del camino" - Elaboración propia

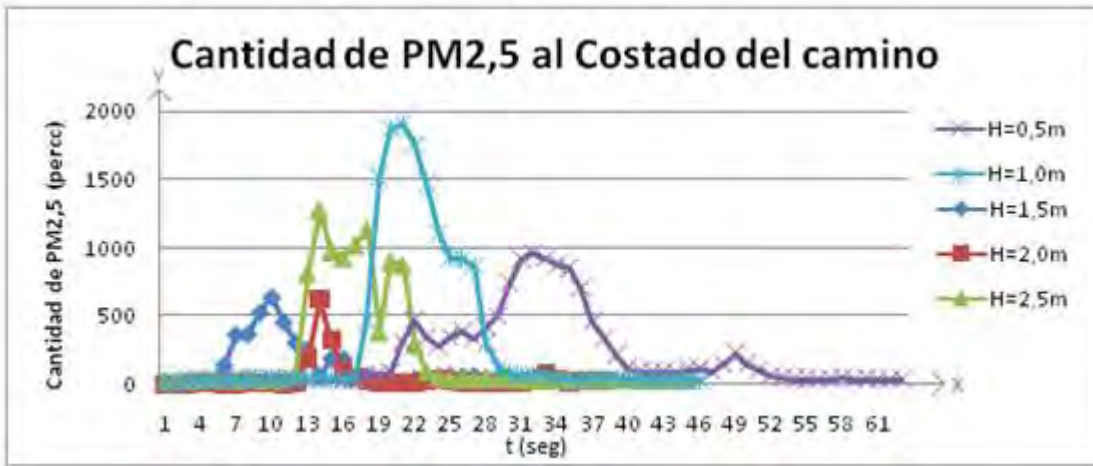


Figura 3-f: Grafico "Cantidad de PM2,5 al costado del camino" - Elaboración propia

3.2.4.2. Resultados de Medición de Partículas variando la distancia de la toma de Aire al Costado del Camino y su posición en altura.

Tabla N°3b: Altura de Toma de Aire = 1,5m.

H=1,5 m; D=0m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	7180	4478,4	2979,5
Max. Cantidad de Partículas/segundo	1061,8	642,2	424,4
Promedio de Partículas/segundo	211,2	131,7	87,6
H=1,5 m; D=5m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	2068,9	1482,6	950,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	390,6	267,7	167,1
Promedio de Partículas/segundo	47,0	33,7	21,6
H=1,5 m; D=10m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	1581,9	1117	707,5
Max. Cantidad de Partículas/segundo	317,8	218,4	131,9
Promedio de Partículas/segundo	41,6	29,4	18,6
H=1,5 m; D=15m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	1059,5	851,4	600,1
Max. Cantidad de Partículas/segundo	24,6	19,3	12,6
Promedio de Partículas/segundo	12,3	9,9	7,0

Tabla 3-b: Altura 1,5 m vs Distancia al camino - Elaboración propia

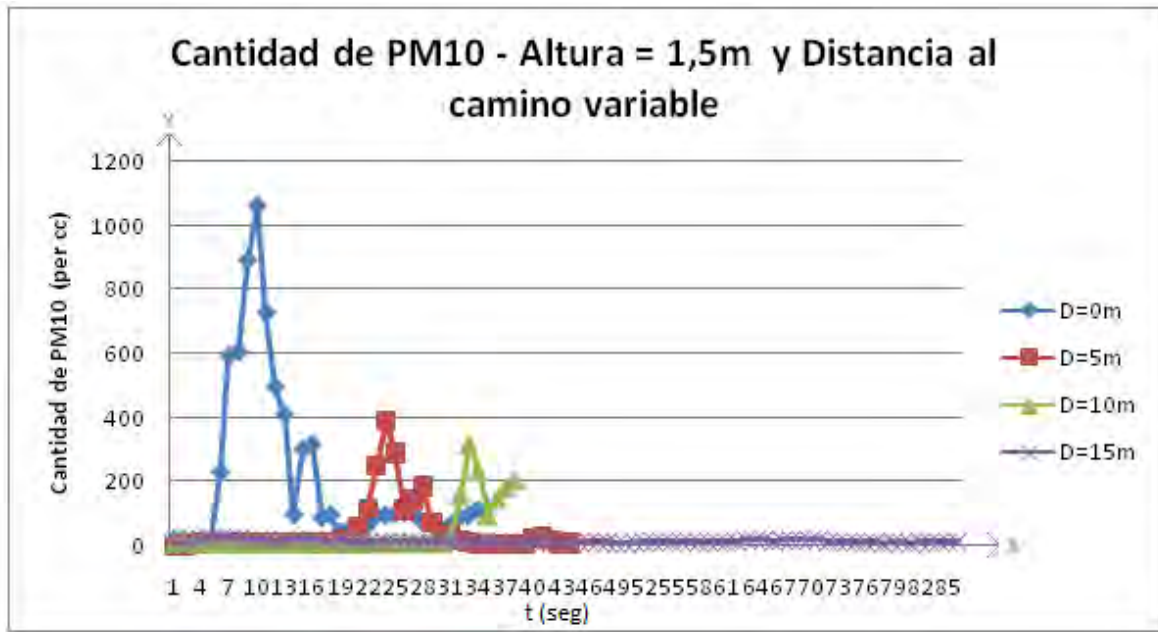


Figura 3-g: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H=1,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

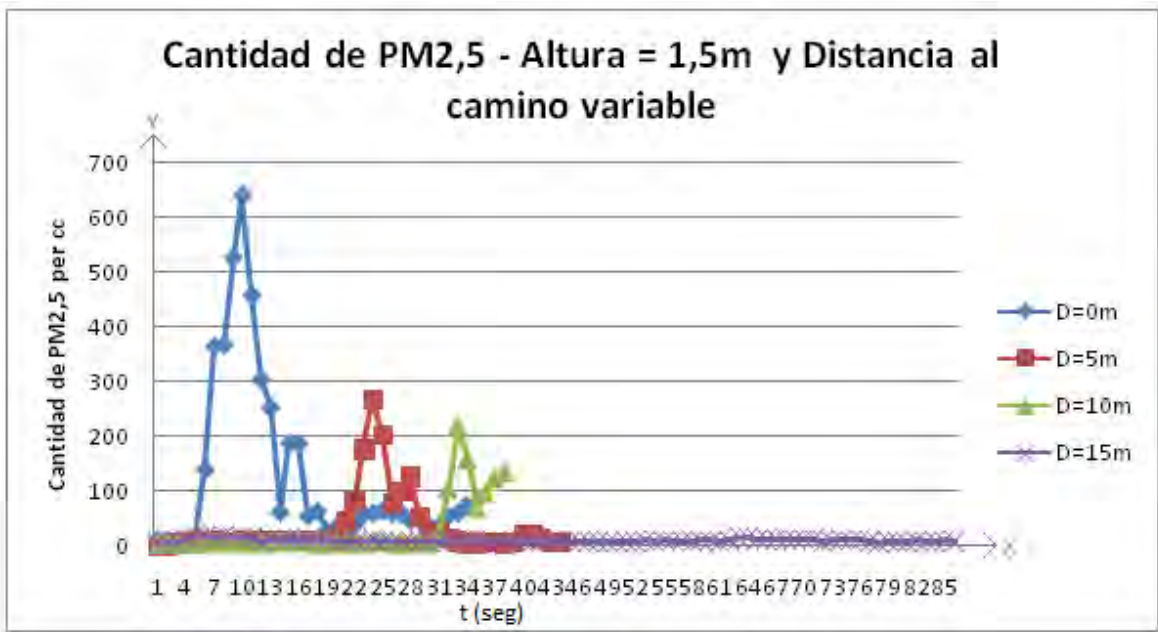


Figura 3-h: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H=1,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

Tabla N°3c: Altura de la Toma de Aire = 2,0m

H=2,0 m; D=0m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	2686,6	1821,3	1147,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	986,4	625,8	386,2
Promedio de Partículas/segundo	70,7	47,9	30,2
H=2,0 m; D= 5m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	3442,8	2374,6	1477,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	542,5	360,2	220,8
Promedio de Partículas/segundo	95,6	66,0	41,0
H=2,0 m; D= 10m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	6305,1	4322,4	2686,8
Max. Cantidad de Partículas/segundo	704,3	475,8	290,7
Promedio de Partículas/segundo	165,9	113,7	70,7
H=2,0 m; D= 15m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	1046,9	794	532
Max. Cantidad de Partículas/segundo	119,4	83,8	52,5
Promedio de Partículas/segundo	23,3	17,6	11,8

Tabla 3-c: Altura 2,0 m vs Distancia al camino - Elaboración propia

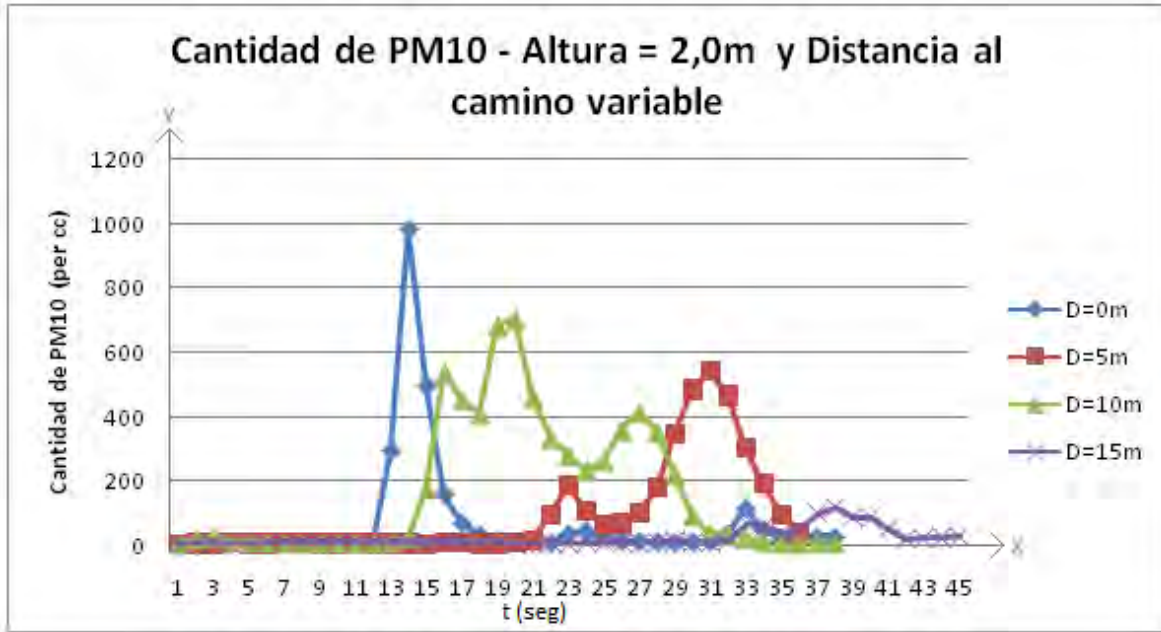


Figura 3-i: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H=2,0m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

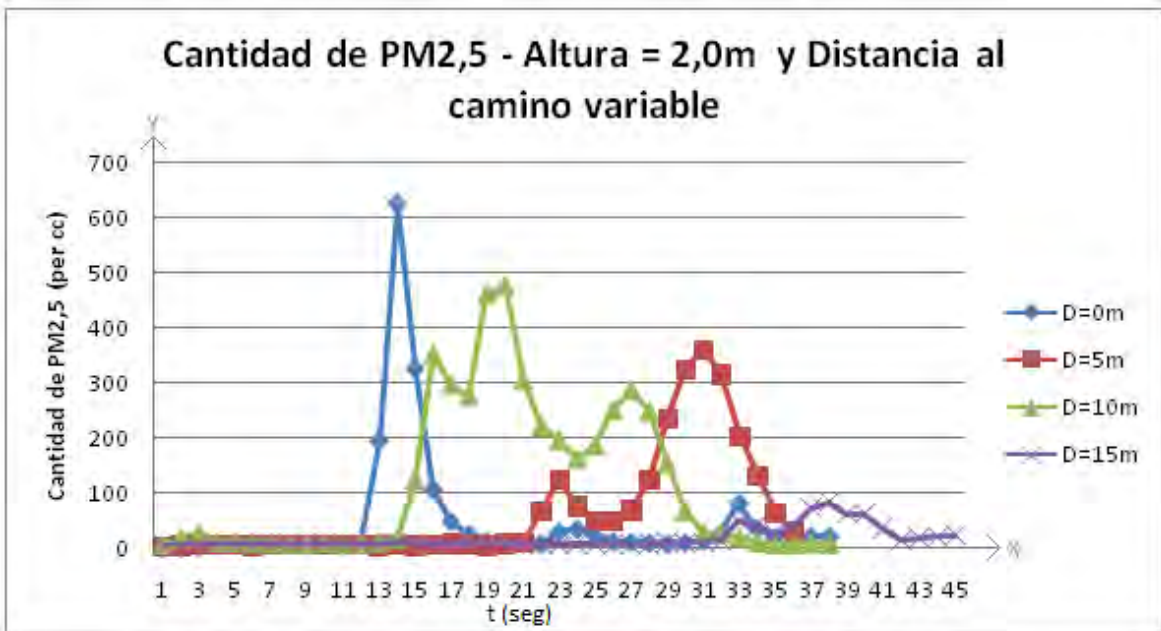


Figura 3-j: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H=2,0m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

Tabla N°3d: Altura de la Toma de Aire = 2,5m

H=2,5 m; D=0m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	14364,6	10132,4	6733,7
Max. Cantidad de Partículas/segundo	2006,1	1280,9	807,0
Promedio de Partículas/segundo	319,2	225,2	149,6
H=2,5 m; D=5m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	5251,2	4056,3	2840,6
Max. Cantidad de Partículas/segundo	814,6	583,3	371,2
Promedio de Partículas/segundo	128,1	98,9	69,3
H=2,5 m; D=10m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	12616,5	9502,7	6381
Max. Cantidad de Partículas/segundo	776,4	558,2	354
Promedio de Partículas/segundo	213,8	161,1	108,2
H=2,5 m; D=15m	PM10	PM2,5	PM1
Total de Partículas en la medición.	3443,4	3049,2	2409,7
Max. Cantidad de Partículas/segundo	209,6	157,4	104,8
Promedio de Partículas/segundo	57,4	50,8	40,2

Tabla 3-d: Altura 2,5 m vs Distancia al camino - Elaboración propia

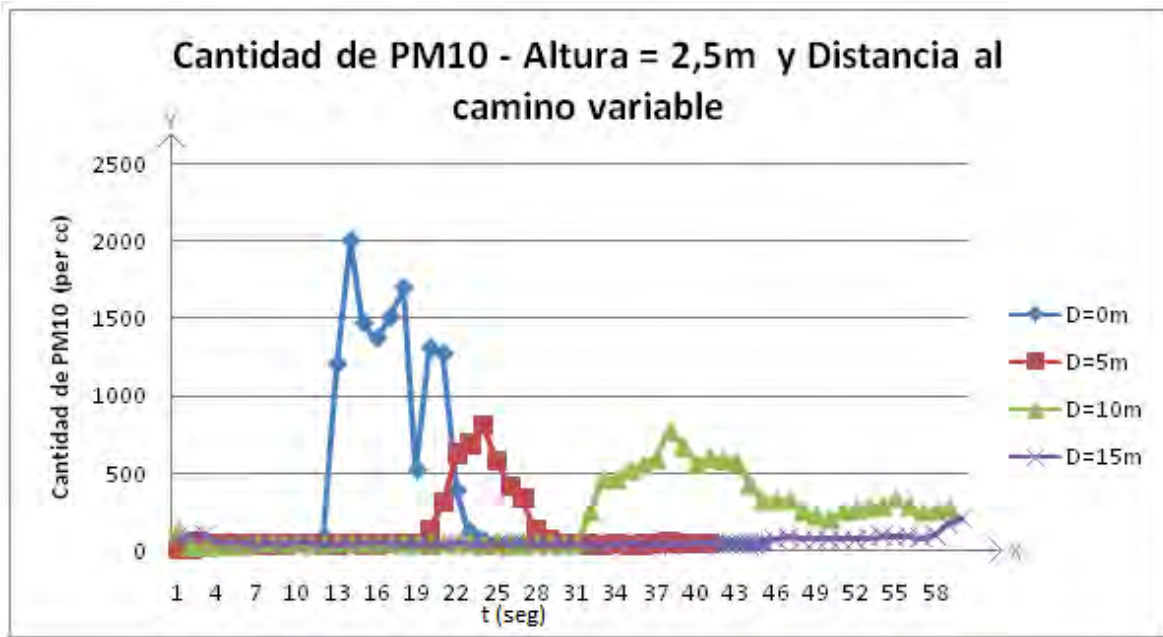


Figura 3-k: Grafico de Cantidad de partículas PM10; H=2,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

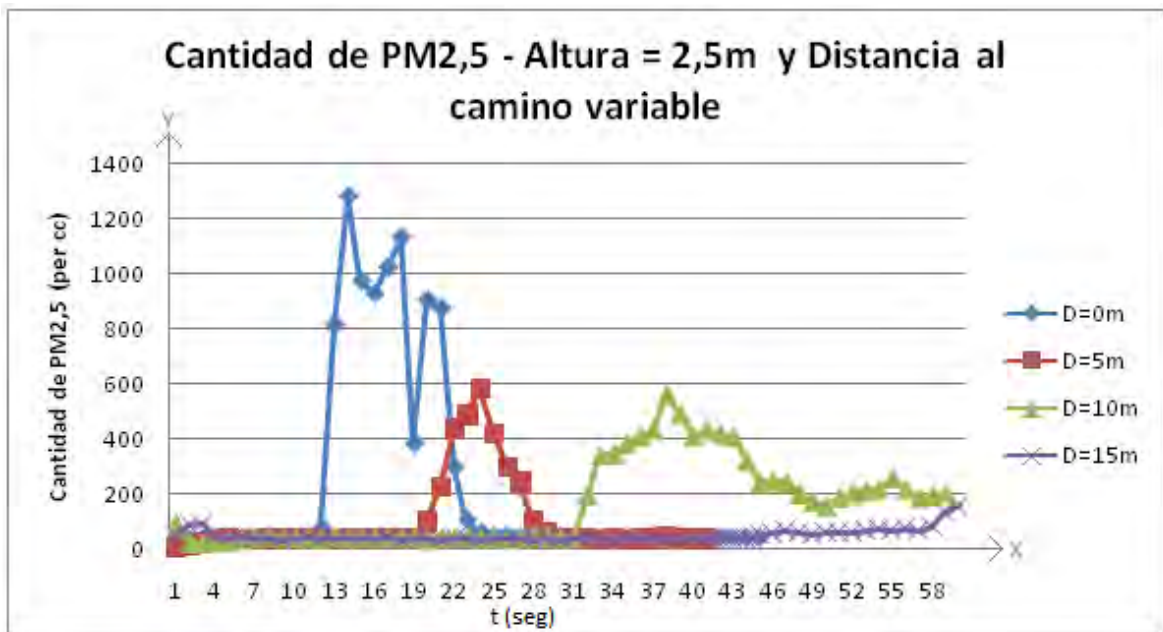


Figura 3-l: Grafico de Cantidad de partículas PM2,5; H=2,5m Distancia al camino Variable - Elaboración propia

3.2.4.3. Observaciones y Conclusiones de las Toma de Muestras

- Al revisar estas tablas, a simple vista se puede establecer que al ubicar el DustMate a $H = 0,5$ y $H=1,0$ m y al costado del camino, capta una mayor cantidad de partículas de polvo, que a las otras alturas de prueba.
- A una distancia de 0m del cierre fiscal y a 1,5m de la toma de aire, las mayores cantidades de partículas de polvo se observan en el momento preciso que el vehículo de prueba transita frente a la toma de aire. A medida que el dispositivo se aleja del camino, las lecturas de las mayores concentraciones de partículas se demoran entre 1 y 2 minutos antes de ser registradas.
- Si la boquilla se encuentra a 15m del cierre fiscal y a 1,5m de altura, la lectura de partículas cae considerablemente, esto se ve reflejado en los valores promedios partículas por segundo.
- Cuando se sube la altura de la toma de aire a 2 metros, las mayores concentraciones de polvo son registradas en torno a los 5m y 10m de distancia al cierre fiscal, decreciendo considerablemente a los 15 m, donde decaen al igual que en el punto anterior.
- Las lecturas entregadas por la toma de aire a 2,5 metros de altura, al costado del camino, muestran que al igual que a $H=0,5$ m y $H=1,0$ m, la presencia de partículas es muy alta, esto debido principalmente, a que en esta altura existe una mayor cantidad de partículas de menor tamaño (PM_{2,5} y PM₁), las cuales al ser más pequeñas y por acción de la fricción de los neumáticos son elevadas más rápidamente y captadas por el equipo a estas alturas.
- Es a los 15m de distancia la cierre fiscal, que la boquilla a 2,5 m de altura, registra una alta cantidad de partículas de polvo, comparado con las otras mediciones, esto como se señaló anteriormente, se debe a las partículas pequeñas las cuales son más propensas a viajar a una mayor distancia por la acción del viento.
- Además al revisar detenidamente la tabla $D=15$ m y $H=2,5$ m, se puede inferir, que si se prolonga el tiempo de medición en este caso, aumentaría la cantidad de partículas registradas, esto debido a que en los últimos segundos de la medición es cuando mayor presencia de partículas por segundo son captadas por DustMate.
- Después de leer y analizar estos datos, surgen una serie de opciones que se pueden tomar para realizar otros análisis a futuro y de esta manera ajustar con mayor precisión el comportamiento de la nube de polvo, estas alternativas pueden ser:
 1. Realizar mediciones a más de 2,5 metros de altura de la toma de aire, con un tiempo más prolongado, así establecer si aumenta la cantidad de partículas de polvo.

2. Tomar muestras con vehículos mayores, es decir, camiones de a lo menos de 2500 kg, y establecer el comportamiento de la nube de polvo que este genere. De esta manera demostrar si emite mayor cantidad de partículas de polvo y si estas se desplazan a una mayor altura y distancia.
- Comportamiento de la nube de polvo con vehículo de prueba Jeep Vitara JLX - 1993, neumático 235/70/R15, velocidad del viento 2 Km/h dirección Sur:
 1. La mayor concentración de partículas de polvo al costado del camino, se encuentran en torno a los 0,5m y 1m, destacándose de manera importante partículas PM_{2,5} y PM₁ a 2,5 metros de altura.
 2. La distancia mínima que recorre la nube de polvo es de 15 metros desde el cierre fiscal al interior de un predio, esto basado en los registros de las tomas de aire en la posición H=1,0m y H=2,0m. Es posible que alcance distancia superiores a 15 m, cuando la boquilla de la toma de aire está a 2,5 metros de altura.

Con esta información se puede establecer aproximadamente cual es la franja al costado del camino que se ve afectado por el polvo y poder determinar que edificaciones, aéreas deportivas y cultivos se encuentran en las zonas problemáticas de polvo.

3.3. Mediciones realizadas con Método MPC -1.

Debido a las condiciones climáticas y no contar con el equipo DustMate por más tiempo en la estación seca, las mediciones con el método MPC -1 serán evaluadas de acuerdo a muestras realizadas en la Región del Maule el año 2006, en el camino La Montaña del kilometro 18 al 22, comuna de Teno, las cuales corresponden a medidas de material particulado PM-10 y PM-2,5.

Siguiendo la Metodología propuesta por el DICTUC de la Pontificie Universidad Católica de Chile, y que se describió en el capítulo 2 de la presente tesis. El Sr. Felipe Domínguez en conjunto con la empresa Salmag, realizó un seguimiento al camino de La Montaña, desde el 18 de Enero de 2006, al 21 de junio del mismo año, donde se hicieron una serie de observaciones sobre la cantidad de polvo desprendido del camino antes de aplicar el riego de Bischofita, hasta la llegada de las lluvias. En el caso de la Región del Maule el periodo de la estación seca es más extensa que la de la Región de los Ríos, que solo llega dos meses, con algunas lluvias estivales intermitentes.

3.3.1. Montado del equipo para las mediciones.



Figura 3-m: Montaje equipo DustMate – Domínguez, 2006

3.3.2. Recopilación y análisis de Datos.

Los datos entregados por DustMate están en la unidad de medida de cantidad de partículas por cm^3 , como explicamos anteriormente, estos son descargados al ordenador, y evaluados con el Software Microsoft Excel, las tablas de resultado en extenso se encuentran en el Anexo N°1. Las muestras fueron tomadas en un vehículo que circulaba a 50km/h.

En la Primera visita al camino “La Montaña”, el día 18 de enero de 2006, correspondientes a una carpeta de rodado sin tratamiento de riego de Bischofita, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 3-e: Resumen de lecturas 18 de Enero de 2006.

Valores de Cantidad de Partículas	PM-10	PM-2,5
Valor Mínimo	710,9	350,0
Valor Máximo	5220,1	4673,4
Valor Promedio	3227,2	2731,6

Estos valores están asociados a las siguientes condiciones visuales.



Figura 3-n: Vehículo Circulando por camino sin tratamiento - Bellolio, 2005.

Que según lo expuesto en el capítulo anterior, bajo la evaluación de Jones y Paige-Green (2000), estaría en el tramo de nota “5”, que significa “Peligrosa pérdida de visibilidad, significativa disconformidad”. Ahora, si este mismo tramo es evaluado por U.S. Army (1987), esta nube de polvo estaría asociada Media severidad; corresponde a la altura de polvo entre 1 a 2 metros.

De esta manera podemos lograr una relación, entre las evaluaciones visuales expuestas en esta tesis, y los valores numéricos entregados por el equipo DustMate.

Una vez realizada esta primera visita a “La Montaña”, se realiza el riego de Bischofita en una dosis de 3 kg/m², cambiando totalmente las emisiones de material particulado, las cuales fueron registradas el día 10 de marzo del mismo año, con los siguientes resultados.

Tabla 3-f: Resumen de lecturas 10 de Marzo 2006

Valores de Cantidad de Partículas	PM-10	PM-2,5
Valor Mínimo	9,5	2,7
Valor Máximo	304,8	297,9
Valor Promedio	36,4	31,3

Una vez aplicado el producto, se observa claramente una disminución considerable de las emisiones de material particulado, para cuantificar la eficiencia del producto, utilizaremos la siguiente relación:

$$Eficiencia = 100 \times \left[1 - \frac{PM \text{ despues}}{PM \text{ antes}} \right]$$

En este caso al evaluar los promedios de PM – 10 de Antes y Después de la aplicación, tenemos:

$$Eficiencia = 100 \times \left[1 - \frac{36,4}{3227,2} \right]$$

$$\underline{\underline{Eficiencia = 98,87\%}}$$

Para el PM – 2,5, tenemos:

$$Eficiencia = 100 \times \left[1 - \frac{31,3}{2731,6} \right]$$

$$\underline{\underline{Eficiencia = 98,85\%}}$$

Se realiza una tercera visita al camino tratado con Bischofita, el día 27 de abril de 2006, en este periodo ya se han precipitado las primeras lluvias, y los datos obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 3-g: Resumen de lecturas 27 de Abril 2006

Valores de Cantidad de Partículas	PM-10	PM-2,5
Valor Mínimo	78,8	77,4
Valor Máximo	579,8	557,1
Valor Promedio	133,0	128,0

Al realizarse esta nueva visita posterior al riego con bischofita, se observa aun una presencia de los efectos del producto muy alta, a continuación calcularemos la eficiencia actual.

En este caso al evaluar los promedios de PM – 10 de Antes y Después de la aplicación, tenemos:

$$Eficiencia = 100 \times \left[1 - \frac{133}{3227,2} \right]$$

$$\underline{\underline{Eficiencia = 95,59\%}}$$

Para el promedio de PM – 2,5; tenemos:

$$Eficiencia = 100 \times \left[1 - \frac{128}{2731,6} \right]$$

$$\underline{\underline{Eficiencia = 95,31\%}}$$

En la última Visita realizada al camino “La Montaña” el día 21 de junio, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3-h: Resumen de lecturas 21 de Junio 2006

Valores de Cantidad de Partículas	PM-10	PM-2,5
Valor Mínimo	309,9	266,8
Valor Máximo	2260,7	1820,0
Valor Promedio	513,2	424,6

$$\underline{\underline{Eficiencia PM-10 = 84,09\%}}$$

$$\underline{\underline{Eficiencia PM-2,5 = 84,45\%}}$$

3.3.3. Observaciones y Conclusiones de las Mediciones en “La Montaña”.

Pasados 5 meses de la aplicación, el porcentaje de eficiencia tanto para PM10 y PM2,5 se encuentra en torno al 84%. La disminución del efecto, el deterioro de la superficie y la aparición de polvo visual se deben a las lluvias acumuladas en la zona, las cuales debilitan la cohesión superficial y han generado que el material suelto realice un efecto abrasivo contra la carpeta.

Del seguimiento de esta experiencia mediante las mediciones del DustMate se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El volumen de tránsito no afecta en forma negativa a la eficiencia del producto.
2. La dosis recomendada para control de polvo (3 kg/m²) cumplió eficientemente, no siendo necesario aplicaciones de conservación durante el período seco
3. Tras la aplicación y durante todo el período seco (enero-marzo) el porcentaje de eficiencia se mantuvo siempre en valores cercanos al 98%.
4. Tras la aparición de las primeras lluvias de abril, el tramo aplicado con producto alcanzó a fin de ese mes un 95%.
5. El abatimiento de partículas medidas a fines de junio es de un 84% en el tramo aplicado. Con este porcentaje de abatimiento se puede ya apreciar visualmente la presencia de polvo.
6. El tramo no aplicado (km 22 en adelante) presenta un promedio de 1390 PM10, lo que equivale a un 65% de abatimiento natural de partículas producto de las lluvias.
7. El tramo tratado con Bischofita siempre ha presentado mejor apariencia que el resto del camino.
8. Ni la aplicación de Bischofita y ni el escurrimiento de producto hacia los sectores laterales durante las lluvias afectó en ninguna forma la vegetación colindante. (Domínguez, 2006)

3.3.4 Graficas de Eficiencia de la Bischofita.

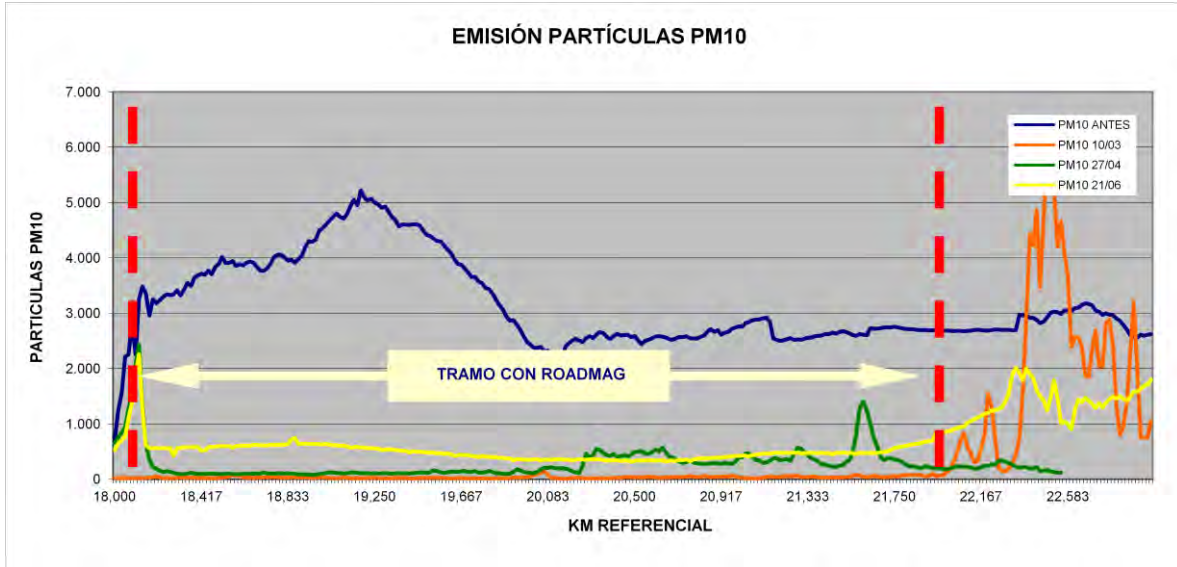


Figura 3-o: Grafica de Eficiencia de Riego de Bischofita en PM10 – Domínguez, 2006

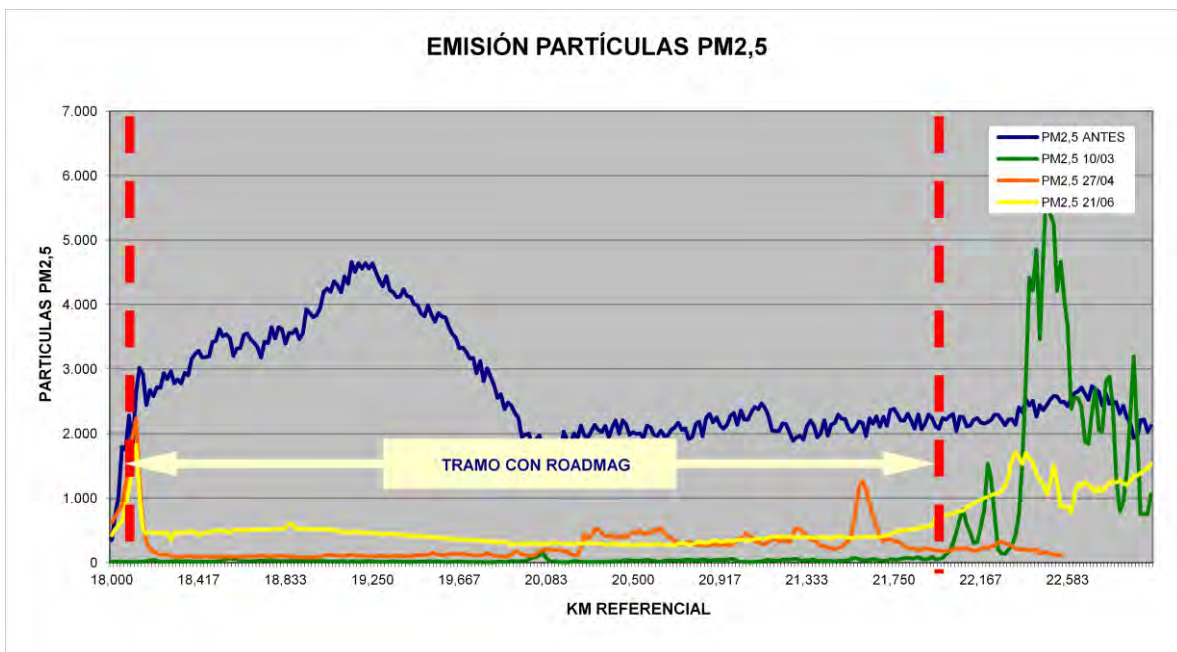


Figura 3-p: Grafica de Eficiencia de Riego de Bischofita en PM2,5 – Domínguez, 2006

El detalle de las tablas, de donde se obtuvieron estos datos, se encuentran en el Anexo N°1 de la presente Tesis.

3.3.5 Recomendaciones:

Realizar un muestreo de partículas con el equipo DustMate montado sobre un camión de carga tipo, de manera de cuantificar nivel de emisiones de vehículos pesado.

4 Estudio comparativo de costos entre materiales Supresores de Polvo.

El presente capítulo tiene como objetivo realizar una evaluación económica privada y social, entre los tratamientos de supresión de polvo, Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio Hexahidratado y un tratamiento superficial de asfalto, este último sólo será considerado en la evaluación privada, debido que para hacer comparaciones sociales, sólo se pueden incluir opciones que tengan beneficios prácticamente iguales, y esto sólo se ve entre los tratamientos supresores de polvo con las sales.

Este estudio surge por una preocupación del Departamento de Conservación de la Dirección de Vialidad de la Región de los Ríos, por reiterados reclamos realizados por las juntas de vecinos del Sector de Arenal, Punucapa y Angachilla el 2010, quienes se quejaban por las grandes emisiones de polvo entorno a los caminos y las peticiones de confort y seguridad vial de caminos rurales hechas por Don Luis Reyes alcalde de Río Bueno y la Srta. Hilda Carvallo alcaldesa de La Unión el 2011.

Frente a esta necesidad el Departamento de Conservación en el marco de estudio de la presente tesis, solicitó un análisis económico, con formato de Evaluación de Proyectos Privados entre los tratamientos de supresión de polvo, Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio Hexahidratado y un Tratamiento Superficial de Asfalto. A su vez adjuntamos una evaluación social de las alternativas de tratamientos de las dos sales.

4.1. Parámetros a considerar en el análisis económico.

- a) El análisis, se realizará en base a un tramo de 1 Km y un ancho promedio de 6 m, con 0,5 m de berma a cada lado en el caso de tratamiento asfáltico.
- b) El tiempo por el cual se analizarán cada proyecto de Supresión de Polvo, será de corto (1 año), mediano (7 años) y largo plazo (20 años).

4.2. Bases de cálculo.

Se expondrán las condiciones y forma de aplicar cada uno de los materiales al tramo de camino de 1 Km, estableciendo sus cantidades y condiciones previas de la carpeta.

4.2.1. Cloruro de Sodio.

Para el caso del NaCl, nos basaremos en los datos obtenidos en la Tesis de Nicole Hinrichsen, de la Universidad Austral de Chile, la cual establece que en general las bases son las mismas para los tres tipos de carpeta con sal o para un tratamiento simple.

- i. El material se encuentra en el camino.
- ii. Acordonar el material existente y despedrarlo, sacando el sobre tamaño superior a 2”.
- iii. Agregar sal (NaCl) de Sal Lobos en 1.8% en peso seco del material compactado. Para la estimación de costos se toman como promedio los siguientes datos:

- Densidad del material compactado 2.16 ton/m³ (95% del proctor modificado)
- Espesor de la carpeta 0.15 m.
- Ancho del camino 6,0 m.
- Bermas de 0.5 m. c/u.
- 1.8% c/r al peso seco de sal a agregar.

Por consiguiente se requieren 33 kg de sal por metro lineal de carpeta. (Hinrichsen, 2005)

4.2.2. Cloruro de Magnesio Hexahidratado.

Para la bischofita, el material presente en el camino, será el utilizado para llevar a cabo la aplicación de la solución.

- i. El material se encuentra en el camino.
- ii. El tratamiento previo al camino, será tener un grado de humedad (el cual se cumple en toda la región), perfilado y compactado, logrando homogeneidad sin material suelto.
- iii. Se determina que la densidad de la solución aplicada en la Región será de 1,25 kg/l, teniendo un rendimiento de 3 litros por metro cuadrado en la zona sur.
- iv. El Rociado de la solución de Agua-Bischofita, se realiza a velocidad constante del vehículo y con una penetración de 1 cm. la carpeta del camino. (Información Viacorp, 2012).

4.2.3. Tratamiento superficial asfáltico simple.

Para este caso utilizaremos las mismas especificaciones para la base, señaladas en el tratamiento con Cloruro de Sodio.

Los tratamientos superficiales abarcan desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico o emulsión bituminosa, a múltiples aplicaciones de materiales asfálticos sobre las que se distribuyen agregados pétreos.

El Tratamiento Superficial Simple, consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta.

4.3 Costos Asociados a cada uno de los tratamientos.

Los valores presentados a continuación, corresponden a los consultados a las diferentes empresas prestadoras de servicios de Arriendo de maquinarias, distribuidores de NaCl, Bischofita y Asfalto. Entre las Empresas consultadas fueron, SKC Rental S.A., Sociedad Punta de Lobos S.A, Constructora SV, Asfaltos Chilenos S.A. La determinación de la cantidad de Obreros, captases y cantidad de equipos necesarios para llevar a cabo los trabajos fueron entregados por Profesionales en el rubro, destacando el aporte de Carlos Conejeros Jefe Subdepartamento Administración Directa Vialidad Región de Los Ríos y Pablo García Constructor Civil Inacap.

En una primera instancia se realizó un estudio de los valores de cada uno de los materiales y prestación de servicios, los últimos 8 y/o 5 años, para de esta forma poder entender el comportamiento del mercado, y así poder proyectar los valores futuros a través de un ajuste de “Mínimos Cuadrados”. Además para esta investigación se agregó el comportamiento del valor del Petróleo, el cual influye fuertemente en el rubro de la construcción, tanto en lo referente a las maquinarias, como a sus subproductos utilizados como materias primas para la realización de diferentes obras constructivas.

El detalle de las curvas y precios obtenidos se encuentra desarrollados con mayor profundidad en el Anexo N°2

4.3.1 Costo de construcción carpeta de rodado.

Maquinas	Valor Maquinaria por hora (\$)	Rendimiento (h/m ³)	Costo material por m ³ (\$)
Cargador	32.580	50	652
Chancadora	32.250	6	5.375
Motoniveladora	33.254	90	369
Aljibe	120.000	90	1.333
Rodillo	19.548	90	217
Transporte	15.000	12	1.250
		Total sin Impuesto	9.197

Para 1 km de camino, tenemos 900 m³, con un valor de \$8.277.300.-

4.3.2 Costo del NaCl según lo requerido para elaboración de carpeta de rodado

Producto Estabilizante	Carpeta de rodado (m3)	Cantidad de estabilizante requerido (kg)	Precio por kilogramo de sal (\$)	Valor total de producto requerido (\$)
NaCl	900	32.400	72	2.332.800

Estos valores corresponden, al material instalado en Valdivia, es decir incluyen costos de traslado.

4.3.3 Costo de estabilizar el camino con Cloruro de Sodio

Según lo descrito en la Tesis de Nicole Hinrichsen, para llevar a cabo la estabilización con Cloruro de Sodio, es necesario contar cuatro Jornales y un Capataz, considerando que según nuestra investigación actualmente el día de trabajo para un Jornal es de \$10.000 C/L.Sociales y para un Capataz es de \$15.000 C/L. Sociales.

Costo Carpeta de Rodado (\$)	Costo Estabilizar con NaCl (\$)	Costo M.O colocación de material (\$)	Costo del estabilizante por metro cúbico de suelo (\$/m3)	Valor total de 1 km de camino (\$)
8.276.962	2.332.800	55.000	11.850	10.664.762

4.3.4 Costo de mantención camino con Cloruro de sodio

Para el caminos con sal NaCl con una granulometría controlada se consideraran mantenciones todos los meses del año, la cual consistirá en compactar la superficie con una motoniveladora una vez al mes por diez meses y una vez al año se le agregara un 30% de la sal con respecto a la sal colocada inicialmente(Hinrichsen, 2005). Este mantenimiento a contar del año siguiente de haber aplicado la estabilización con Cloruro de Sodio.

Valor Maquinaria por 10 meses (\$)	Costo M.O colocación de material - 2013 (\$)	30 %Cant. de estabilizante requerido (kg)	Precio por kilogramo de sal 2013 (\$)	Valor total de producto requerido (\$)
1.844.410	58.234	10.800	74,4	803.520

Mantención Año 2013, para el tratamiento con Cloruro de Sodio corresponde a: \$2.706.164.-

La vida útil se considerara de tres año ya que para el cuarto año el camino se construirá nuevamente, por lo tanto, con las mantenciones del año, que corresponderá a perfilado y compactado del camino, mas una incorporación de sal una vez al año. Al cuarto año el camino se hará de nuevo.

4.3.5 Costos Riego con Bischofita

Producto	Superficie de carpeta de rodado (m ²)	Valor Tratamiento Riego (\$/Kg)**	Valor para 1 km de carpeta de rodado (\$)
Bischofita	6.000	440	2.640.000

**Valor Incluye Aplicación con Camión Aljibe y personal a cargo.

4.3.6 Costo de Construcción de la Carpeta y riego con Bischofita

Costo Carpeta de Rodado (\$)	Costo Estabilizar con NaCl (\$)	Costo del estabilizante por metro cúbico de suelo (\$/m ²)	Valor total de 1 km de camino (\$)
8.276.962	2.640.000	10.917	9.825.266

4.3.7 Costo de mantención camino con Bischofita

Para un camino tratado con riego superficial de bischofita, se debe considerar el reperfilado de la carpeta, por medio de una Motoniveladora previo a la aplicación del producto, además terminado el periodo estival de Diciembre - Marzo, cada dos meses se debe repetir la operación de reperfilado por los 8 meses siguientes. Cabe señalar que en aquellos caminos rociados con bischofita no es necesario realizar bacheo.

Valor Reperfilado: \$50.600/Km, es decir, anualmente \$202.400.-

Vialidad Región de los Ríos, estima que para este tipo de caminos secundarios, se debe hacer una reposición completa de la carpeta cada 5 años.

4.3.8 Costo de carpeta de Rodado de Tratamiento Superficial Simple (TSS).

Carpeta Asfáltica	Valor por m ² (\$)
Preparación Subrasante	612
Imprimación	1.509
Tratamiento Simple	3.800
Total sin impuesto	5.921

Producto	Superficie de carpeta de rodado (m ²)	Valor Tratamiento Superficial Simple TSS (\$)	Valor para 1 km de carpeta de rodado con TSS (\$)
TSS	6.000	5.921	35.526.000

4.3.9 Costo de Construcción de la Carpeta y base Estabilizada

Costo Base Estabilizada (\$)	Costo Aplicación de TSS (\$)	Costo de la carpeta de rodado (\$/m ²)	Valor total de 1 km de camino (\$)
8.276.962	35.526.000	48.670	43.802.962

4.3.10 Costo de Mantenimiento de carpeta con TSS.

La vida útil de un Tratamiento Superficial Simple se estima en 6 años, y las mantenciones comenzarán el tercer año de uso, ya que antes no las necesita. El séptimo año el tratamiento se deberá hacer de nuevo.

La programación de estas mantenciones debe planearse de tal forma que la intervención comience a ejecutarse en forma ideal durante la primavera, pero en ningún caso en tiempos de lluvia.

Según la Información entregada por Profesionales del Rubro, para un camino de estas características, los metros cuadrados de mantención ascienden en promedio a 20 m² por año, y serán llevadas a cabo con Tres Jornales y un Capataz, movilizándolo el material en una camioneta.

La primera mantención a realizarse en 2015, tenemos:

Valor día de Camioneta (\$)	Costo M.O colocación de material - 2015 (\$)	Valor Asfalto 2015 (\$/m ²)	Costo de mantención de la carpeta de rodado (\$/m ²)	Valor total de Mantención(\$)
42.185	52.113	4.728	9.443	188.858

4.4 Evaluación de los Costos Proyectados y los Costos Actualizados de cada Alternativa.

Una vez expuestas la forma de evaluación de cada una de las alternativas de proyecto se determinaron los costos de mantención y de operación cada una de ellas (estabilización con Cloruro de Sodio, Riego con Bischofita y un Tratamiento Superficial Simple). El escenario de evaluación a futuro será el mismo para ambos casos, se utilizan los valores proyectados en el Anexo N°2.

Para poder comparar estos dos proyectos que tienen distinta duración, se contempla un período de análisis bastante superior al de la alternativa con mayor vida útil. Dado que en el caso de la aplicación de las sal, se debe renovar el camino al inicio del cuarto año, con el riego de bischofita cada cinco años y que en el caso del Tratamiento Superficial Simple, el camino debe renovarse al inicio del séptimo año se considerara un período de a lo menos 20 años, periodo al cual se ha desarrollado el análisis de precios y proyectado por ajuste de Mínimos cuadrados.

4.4.1 Estabilización con Cloruro de Sodio

Tabla 4-a: Costos de Estabilización con Cloruro de Sodio con precios ajustados a 20 años.

NaCl	2012	2013	2014	2015	2016
Inversión Inicial	10.664.762	0	0	0	13054589
Costo de Mantención	0	2705832	2861806	3017779	
Costo Anual	10.664.762	2.705.832	2.861.806	3.017.779	13.054.589
Costo Acumulado	10.664.762	13.370.595	16.232.401	19.250.180	32.304.769

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0	0	0	15692071	0	0	0	18329553
3329726	3485699	3641673		3953619	4109593	4265566	
3.329.726	3.485.699	3.641.673	15.692.071	3.953.619	4.109.593	4.265.566	18.329.553
35.634.495	39.120.194	42.761.867	58.453.938	62.407.557	66.517.150	70.782.716	89.112.269

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	20967035	0	0	0	23604517
4577513	4733486	4889460		5201406	5357380	5513353	
4.577.513	4.733.486	4.889.460	20.967.035	5.201.406	5.357.380	5.513.353	23.604.517
93.689.782	98.423.269	103.312.728	124.279.764	129.481.170	134.838.550	140.351.903	163.956.421

Costo Estabilizar con Cloruro de Sodio con los Valores proyectados a 20 años \$163.956.421.-

4.4.2 Riego Superficial de Bischofita

Tabla 4-b: Costos de Riego Superficial de Bischofita con precios ajustados a 20 años.

Bischofita	2012	2013	2014	2015	2016
Inversión Inicial	9825266	2753571	2879643	3005714	3131786
Costo de Mantención	202400	216250	230100	243949	257799
Costo Anual	10.027.666	2969821	3109742	3249664	3389585
Costo Acumulado	10.027.666	12.997.487	16.107.230	19.356.893	22.746.478

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
13519485	3383929	3510000	3636071	3762143	17457565	4014286	4140357
257799	271649	285499	299348	313198	340898	354748	368597
13777284	3655577	3795499	3935420	4075341	17798462	4369033	4508955
36.523.763	40.179.340	43.974.839	47.910.259	51.985.600	69.784.062	74.153.096	78.662.050

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
4266429	4392500	20844357	4644643	4770714	4896786	5022857	24231149
382447	396297	410147	423997	437846	451696	465546	479396
4648876	4788797	21254504	5068639	5208561	5348482	5488403	24710545
83.310.926	88.099.723	109.354.226	114.422.866	119.631.426	124.979.908	130.468.311	155.178.856

Costo Riego Superficial de Bischofita con los Valores proyectados a 20 años \$155.178.856.-

4.4.3 Tratamiento Superficial Simple de Asfalto

Tabla 4-c: Costos de Tratamiento Superficial Simple de Asfalto con precios ajustados a 20 años.

Asfalto	2012	2013	2014	2015	2016
Inversión Inicial	43802962	0	0	0	0
Costo de Mantención	0	0	0	188857	199694
Costo Anual	43.802.962	0	0	188857	199694
Costo Acumulado	43.802.962	43.802.962	43.802.962	43.991.820	44.191.513

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0	0	52871445	0	0	0	0	0
210530	221367	0	0	0	264713	275549	286386
210530	221367	52871445	0	0	264713	275549	286386
44.402.044	44.623.410	97.494.856	97.494.856	97.494.856	97.759.568	98.035.118	98.321.504

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	73700138	0	0	0	0	0	0
297222	0	0	0	340568	351405	362241	373078
297222	73700138	0	0	340568	351405	362241	373078
98.618.726	172.318.864	172.318.864	172.318.864	172.659.432	173.010.837	173.373.079	173.746.157

Costo Tratamiento Superficial Simple de Asfalto con los Valores proyectados a 20 años \$173.476.157.-

4.5 Análisis comparativo Evaluación de Costos Proyectados.

El Análisis comparativo de cada uno de los proyectos propuestos, se realizara sobre el cálculo del Valor Actualizado Neto (VAN) de cada uno de estos. Utilizaremos este indicador económico, ya que es el más útil para evaluar proyectos a largo plazo. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con la Inversión inicial. (Estrada, 2006).

El Banco Central de Chile, estableció que para el año 2011 la Tasa de Interés para las inversiones será de un 4%, la cual utilizaremos para el cálculo de la VAN Privada (Banco Central de Chile, 2011).

En nuestro caso, los flujos que serán analizados corresponden a costos e inversiones, es decir, el menor valor de VAN, indicará que se incurren en menores Gastos para llevar a cabo el Proyecto.

Calculo de la VAN:

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

$$VAN = -Inv. Inicial + SUMA [Flujo Neto Operacional/(1+i)]^n$$

4.5.1 Calculo de la VAN con Tasa de 4% por Proyecto.

Estabilizado con Cloruro de Sodio	
VAN	\$ 103.220.494,13

Riego Superficial de Bischofita	
VAN	\$ 97.424.374,67

Tratamiento Superficial Simple	
VAN	\$ 123.685.767,46

Observando en una primera instancia las Tablas 4a, 4b, 4c y comparar sus costos acumulados, el proyecto de Estabilizar con Cloruro de Sodio y el Riego Superficial con Bischofita, presentan costos asociados muy similares, es más, en algunas ocasiones durante los primeros 10 años de análisis de costos, el proyecto vinculado al Cloruro de Sodio es más económico que la alternativa con Bischofita. Pero al continuar con el análisis en el tiempo, la Bischofita estabiliza sus precios y de los 10 años en adelante, se consolida como una opción más económica.

Por otra parte la alternativa de Tratamiento Superficial Simple de Asfalto, si bien, sus costos se acercan considerablemente a las otras alternativas durante el año 2018, en adelante a este periodo, siempre se comporta como la opción de proyecto con los costos más elevados.

Si finalmente centramos el análisis en el VAN de cada uno de los proyectos estudiados, transcurridos los 20 años de estudio, las diferencias en los costos actualizados son evidentes. Se observa claramente que el Riego Superficial con Bischofita es el proyecto más económico de los tres propuestos.

4.6 Evaluación Social de Proyectos.

La evaluación social de proyectos requiere que tanto costos como beneficios sean expresados a valores que son realmente significativos para la sociedad en su conjunto. Para ello es necesario ajustar los precios de mercado de manera de reflejar adecuadamente estos valores sociales (MIDEPLAN, 2011).

Utilizando las mismas bases de cálculo descritas en el apartado 4.2 y la estructura constructiva expuesta en el apartado 4.3 y siguiendo la guía de “Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos” y la “Pauta Corrección de Precios Sociales en la Evaluación Social de Proyectos”, ambos documentos facilitados por la Secretaria Regional del Ministerio de Planificación Social de la Región de los Ríos, se desarrollará la evaluación social de los proyectos supresores de polvo con Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio.

4.6.1 Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos

El objetivo del cálculo de los precios sociales de los factores básicos es contar con valores que reflejen el verdadero costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de estos factores durante la ejecución y operación de un proyecto de inversión. (MIDEPLAN, 2011)

A continuación citaremos todos los precios de la guía “Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos”:

Precios Sociales para la Mano de Obra:

El costo social de la mano de obra se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$PS = g \times PB$, donde:

PS: precio social de la mano de obra,

g: factor de corrección según tabla siguiente, y

PB: salario bruto o costo para el empleador de la mano de obra (costo privado).

Categoría de la Mano de Obra	Factor de Ajuste (g)
Calificada	0,98
Semi calificada	0,68
No calificada	0,62

Tabla 4-d: Factores de Ajuste - MIDEPLAN 2011

Precios Sociales de la Divisa:

El tipo de cambio social (TCs), o precio social de la divisa, deberá calcularse sobre la base del tipo de cambio del dólar observado (TC obs).

La fórmula para el cálculo del precio social de la divisa es:

$$TCs = FD \cdot TC \text{ obs, donde}$$

FD = factor de ajuste de la divisa

El factor de ajuste de la divisa a emplear será 1,01 para el año 2013 y en adelante.

4.6.2 Estimación de Porcentajes de Materiales y Mano de Obra por Proyecto

La estimación se realizará, en base a los costos presentes en la Evaluación Privada, y se clasificarán en los costos de construcción y de mantención de cada uno de los proyectos.

Construcción de Proyecto con Cloruro de Sodio (NaCl)		
Materiales 90%	Nacional 60%	Transables 30%
	Importado 40%	No Transables 70%
Mano de Obra 10%	No Calificada	70%
	Semi Calificada	10%
	Calificada	20%

Tabla 4-e: Porcentajes de Construcción con NaCl - Elaboración Propia

Mantención Anual de Proyecto con Cloruro de Sodio (NaCl)		
Mantención con Servicios Contratados 30%		Mantención con Recursos Propios 70%
Materiales 50%	Nacional 80%	Transables 80%
	Importado 20%	No Transables 20%
Mano de Obra 50%	No Calificada	70%
	Semi Calificada	10%
	Calificada	20%

Tabla 4-f: Porcentajes de Mantención con NaCl - Elaboración Propia

Construcción de Proyecto con Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)		
Materiales 80%	Nacional 70% Importado 30%	Transables 30% No Transables 70%
Mano de Obra 20%	No Calificada Semi Calificada Calificada	60% 20% 20%

Tabla 4-g: Porcentajes de Construcción con MgCl - Elaboración Propia

Mantenimiento Anual de Proyecto con Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)		
Mantenimiento con Servicios Contratados 20%	Mantenimiento con Recursos Propios 80%	
Materiales 50%	Nacional 90% Importado 10%	Transables 80% No Transables 20%
Mano de Obra 50%	No Calificada Semi Calificada Calificada	60% 20% 20%

Tabla 4-h: Porcentajes de Mantenimiento con MgCl - Elaboración Propia

4.6.2 Evaluación de los Costos Sociales Proyectados y los Costos Sociales Actualizados de cada Alternativa

La evaluación de los Costos Sociales de cada proyecto, consistirá en la combinación de varios datos tales como, la evaluación de costos privados del apartado 4.4.1 y los porcentajes expresados en las tablas presentadas anteriormente. Estos valores serán ingresados en la “Pauta Corrección de Precios Sociales en la Evaluación Social de Proyectos”, la cual será presentada íntegramente en el Anexo N°2.

A continuación se presentan las tablas resúmenes a 20 años de vida de cada proyecto.

4.6.3 Estabilización con Cloruro de Sodio

Tabla 4-i: Costos Sociales de Estabilización con Cloruro de Sodio con precios ajustados a 20 años

NaCl	2012	2013	2014	2015	2016
Inversión Inicial	10.285.413	0	0	0	12590233
Costo de Mantencion	0	2547805	2694669	2841533	
Costo Anual	10.285.413	2.547.805	2.694.669	2.841.533	12.590.233
Costo Acumulado	10.285.413	12.833.218	15.527.887	18.369.420	30.959.653

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0	0	0	15133899	0	0	0	17677564
3135262	3282126	3428990		3722718	3869582	4016446	
3.135.262	3.282.126	3.428.990	15.133.899	3.722.718	3.869.582	4.016.446	17.677.564
34.094.915	37.377.040	40.806.030	55.939.929	59.662.647	63.532.229	67.548.676	85.226.240

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	20221230	0	0	0	22764896
4310175	4457039	4603903		4897631	5044495	5191360	
4.310.175	4.457.039	4.603.903	20.221.230	4.897.631	5.044.495	5.191.360	22.764.896
89.536.415	93.993.454	98.597.357	118.818.587	123.716.219	128.760.714	133.952.074	156.716.970

Costo Social de Estabilizar con Cloruro de Sodio con los Valores proyectados a 20 años \$156.716.970.-

4.6.3 Estabilización con Cloruro de Magnesio

Tabla 4-j: Costos Sociales de Estabilización con Cloruro de Magnesio con precios ajustados a 20 años

MgCl ₂	2012	2013	2014	2015	2016
Inversión Inicial	9214329	2582353	2704019	2825685	2947351
Costo de Mantencion	159404	202671	212220	221768	231317
Costo Anual	9.373.733	2785024	2916239	3047453	3178668
Costo Acumulado	9.373.733	12.158.757	15.074.996	18.122.449	21.301.117

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
12659818	3178640	3300306	3421971	3543637	16354841	3799012	3920678
241726	260696	270674	280652	290631	300803	322480	332808
12901545	3439335	3570979	3702624	3834268	16655644	4121492	4253486
34.202.661	37.641.997	41.212.976	44.915.600	48.749.868	65.405.512	69.527.004	73.780.490

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
4042344	4164010	19530565	4407341	4529007	4650673	4772339	22706289
343136	353463	455968	482613	495936	509258	522581	653226
4385479	4517473	19986533	4889954	5024943	5159932	5294920	23359516
78.165.970	82.683.443	102.669.976	107.559.930	112.584.873	117.744.805	123.039.725	146.399.241

Costo Social de Estabilizar con Cloruro de Magnesio con los Valores proyectados a 20 años
\$146.399.241.-

Como se señaló al comienzo del Capítulo, se compararán los proyectos de supresión de polvo con tratamiento con Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio. Esto debido a que ambas soluciones entregan el mismo nivel de benéfico tanto en el confort en el tránsito de la ruta y seguridad vial de esta, como en la eliminación del material particulado que afecta a las comunidades adyacentes a los caminos de carpeta granular.

Es por este motivo que se considerará como parámetro de comparación el cálculo del VAN social para cada uno de estos dos proyectos, utilizando la Tasa Social de Descuento de un 6%, fijada por el MIDEPLAN para este año. De esta manera el cálculo del VAN social queda de la siguiente manera:

VALOR ACTUAL NETO Social (VAN)s

$$\text{VANs} = -\text{Inv. Inicial} + \text{SUMA} [\text{Flujo Neto Operacional}/(1+i)]^n$$

Estabilizado con Cloruro de Sodio	
VANs	\$ 80.581.653,45

Riego Superficial de Bischofita	
VANs	\$ 74.827.910,48

Centrándonos en el análisis del VANs de ambos proyectos estudiados, transcurridos los 20 años de estudio, las diferencias en los costos actualizados son evidentes. Se observa claramente que el Riego Superficial con Bischofita es el proyecto más económico de los tres propuestos. Es por este motivo que se recomienda llevar a cabo este tipo de solución en la Región de los Ríos para la supresión del polvo en temporada Seca.

5 Sistema integrado de decisión para determinar que caminos deben ser tratados con Supresor de Polvo.

El conjunto de capítulos anteriores, sugiere el desarrollo de un análisis integrador sobre que caminos deben ser tratados con Supresores de Polvo, y es por este motivo que a través del presente capítulo, se desarrollará una revisión de los principales factores que afectan a la producción de polvo en los caminos con carpeta granular y en conjunto con Vialidad Región de Los Ríos, establecer cuáles de estos factores tienen una mayor relevancia a la hora de decidir si es necesario aplicar una solución en contra del polvo, producido por el tránsito de vehículos en el sector.

5.1. Parámetros a considerar en el análisis para la Toma de Decisión.

5.1.1. Tránsito Medio Diario:

En el caso del Estado de Colorado E.E.U.U. la Ley de Aire Limpio de 1982 (Título 25) concretamente en la sección III.D.2.a (i) (B) del Reglamento 1, los estados de los requisitos generales dice que, "Cualquier propietario u operador responsable de la construcción o mantenimiento de los caminos (nuevos o existentes), sin pavimentar en donde el tráfico de vehículos sea de más de 150 vehículos por día (promedio en cualquier periodo consecutivo de 3 días) donde se emiten partículas de polvo fugitivos, estará obligado a utilizar todos los métodos existentes en la práctica que son tecnológicamente viables y económicamente razonable de supresores de polvo, con el fin de minimizar las emisiones resultantes del uso de la carretera tales." (Sander y Addo, 1993).

En este sentido se puede decir que existe una directa relación, entre el grado de generación de polvo y el T.M.D. la cual se ve reflejada en la Tabla N°5a:

Problema de Generación de Polvo	TDM (veh/día)	TIPO DE CARPETA	Problema de Generación de Polvo	TDM (veh/día)	TIPO DE CARPETA
5	200	Ripio	5	120	Tierra
4	150	Ripio	4	100	Tierra
3	100	Ripio	3	80	Tierra
2	80	Ripio	2	60	Tierra
1	50	Ripio	1	40	Tierra

Tabla 5-a: Sanders & Addo, Relación entre el Polvo y TMD

5.1.2. Calidad del aire:

A contar del día 1º de enero del año 2012, la Norma Chilena Primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, será de ciento veinte microgramos por metro cúbico normal ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para Material Particulado Fino MP2,5, en cuyo caso se

mantendrá el valor de la norma establecida en el inciso primero. La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10 es cincuenta microgramos por metro cúbico normal ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) como concentración anual. (norma ambiental).

Además la Organización Mundial de la Salud, en la Tabla N°5b, establece los riesgos a la salud de las personas, dependiendo la cantidad de “ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ”

Problemas a la Salud	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-3 (OI-3)*	75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	50	25	Basado en la relación entre los niveles de MP de 24 horas y anuales.

Tabla 5-b: Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones de 24 horas

Para realizar las mediciones de la masa de partículas de polvo presentes en un determinado sector, podemos utilizar varios métodos, pero uno más sencillo y rápido, es a través del equipo DustMate, el cual en una de sus opciones de Modo de Trabajo, utiliza la toma de muestras en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una resolución de $0,1\mu$ hasta 6000μ . (Turnkey Instruments Ltd, 2002)

Opciones de Medición con el equipo DustMate:

Para efectos del monitoreo del Material Particulado Respirable MP10, los métodos de medición serán:

- Método gravimétrico de muestreo de alto volumen equipado con cabezal PM-10;

- Método gravimétrico de muestreo de bajo volumen equipado con cabezal PM-10;
- Método por transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. Microbalanza de oscilación de sensor en voladizo con cabezal PM-10;
- Métodos basados en el principio de atenuación beta.

También podemos utilizar otras opciones de toma de muestras:

- Una primera opción para determinar la Masa total de partículas de polvo, es situar el equipo DustMate, en un lugar específico al costado del camino, de preferencia entorno a los 0,5 ó 1m. de altura del suelo (Ver Capítulo 3), por un periodo de 24 hrs. continuadas, y luego obtener el total de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la muestra.
- Utilizando el Sistema de medición de la norma ASTM D - 1739: La sedimentación es una técnica simple de muestreo usado para determinar la cantidad de partículas o polvo precipitado desde la atmósfera. El método requiere del uso de colectores abiertos (ver capítulo 2), usualmente de vidrio o plástico. Luego de un tiempo de exposición (alrededor de 24 hrs), el material acumulado es expresado en términos de peso por área hrs. por 24. Este método depende básicamente de la gravedad y por lo tanto está limitado a partículas de tamaño igual o mayor a $2\mu\text{m}$. (Sanders y Addo, 2000).

Para la toma de decisión, se acatará la Normativa vigente, es decir, si los valores en la calidad del Aire se encuentra superiores o igual a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para PM10 y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en el caso de PM2,5; se aplicará inmediatamente Supresor de Polvo, en los casos que las cantidades de MP sean menores a estos valores, se someterán a análisis los otros parámetros.

5.1.3. Cantidad de Partículas de Polvo y Visibilidad:

Como se ha observado a lo largo de la investigación, la cantidad de partículas de polvo desprendidas en un camino, va en directa relación con los problemas de visibilidad y confort en la vía, que afectan directamente a la seguridad vial, lo que puede llevar a producir accidentes en los caminos con carpeta granular. Es por este motivo importante generar una relación numérica entre estas variables.

La Tabla N°5c. presenta una tabla de desempeño de acuerdo al nivel de visión, desde el punto de vista del conductor, según un rango de emisión. Esta tabla está basada en las mediciones realizadas con el MPC-1. (Bellolio, 2005)

Relación entre la Visibilidad y la Cantidad de partículas en el camino		
Nivel de Visión	Puntaje	Emisiones (partículas por cc de PM 2,5)
Excelente	1	0 – 399
Bueno	2	400 – 799
Regular	3	800 – 1199
Malo	4	1200 – 1599
Pésimo	5	1600 y más

Tabla 5-c: Relación entre Visibilidad y Partículas de Polvo - Bellolio, 2005

Para el Caso de la visibilidad si no se cuenta con el equipo DustMate, podemos utilizar la evaluación visual del U.S. Army, Parámetros de Polvo.

Nivel de Visión	Puntaje	Altura Nube de Polvo (m)
Excelente	1	0
Bueno	2	0,5
Regular	3	1,0
Malo	4	1,5
Pésimo	5	2,0

Tabla 5-d: Relación entre visibilidad y Altura de la nube de polvo.

5.1.4. Cantidad de Beneficiarios y Distancia de las Viviendas:

La Dirección de Vialidad de la Región de Los Ríos, cuenta con un parámetro para analizar la cantidad de beneficiarios para sus diferentes proyectos de mejor vial, el que cuantifica la cantidad de viviendas presentes en el sector, el cual se asocia a las familias que viven en el inmueble y de esa manera establecer el número de beneficiarios.

Además sostiene que siempre que exista en el sector lugares y/o edificios de alta concurrencia comunitaria como, Escuelas, Jardines Infantiles, Salas Cunas, Consultorio, Templos, Sede Social o sitios de interés turístico o arqueológico, se le aplica el mayor puntaje posible, ya que en algunos momentos, sobre todo en época estival, la afluencia de público es muy alta, por lo que el número de beneficiarios aumenta.

También, según las mediciones realizadas en Capítulo 3 de la presente tesis, se deduce, que mientras más cercano al cierre Fiscal se encuentren tanto viviendas como cultivos, mayor será la cantidad de material particulado depositados sobre sus superficies.

Las conclusiones respecto al comportamiento de la nube de polvo, estableció que para un vehículo de prueba pequeño, el desplazamiento de las partículas de polvo es próximo a los 15 m de distancia del cierre Fiscal, y alcanza una altura de 3 m. para condiciones de altas velocidades del viento y tránsito de vehículos de mayor envergadura, las distancias y alturas de la nube de polvo se prevén mayores.

Con los datos recopilados en esta experiencia, se desarrolla la siguiente tabla, que relaciona la cantidad de polvo con la distancia y altura de la toma de aire del equipo DustMate.

Concentración de Polvo	Altura (m)	Concentración de Polvo	Distancia (m)
Alta Considerable (> 15.000 MP10)	0,5	Muy Alta (> 20.000 MP10)	0
Muy Alta (> 20.000 MP10)	1,0	Alta Considerable (> 15.000 MP10)	5
Elevada (> 5.000 MP10)	1,5	Alta (> 10.000 MP10)	10
Considerable (> 1.000 MP10)	2,0	Elevada (> 5.000 MP10)	15
Alta (> 10.000 MP10)	2,5	Regular (> 1.000 MP10)	20

Tabla 5-e: Relación entre Altura, Distancia y Partículas de Polvo – Elaboración Propia.

Luego se realiza la siguiente relación entre el número de beneficiarios y la distancia de estos al camino, tomando en cuenta la información entregada por vialidad y los datos de las mediciones.

Cantidad de Beneficiarios	Puntaje
Menos de 2 familias por Km	1
De 2 a 5 familias por Km	2
De 6 a 8 familias por Km	3
Más de 8 familias por Km	4
Presencia de Infraestructura Social	5

Tabla 5-f: Relación entre Beneficiarios y puntaje para supresor de polvo

Los puntajes entregados por estas tablas deberán ser multiplicados por 1 ó 0,5, dependiendo su cercanía al camino, es decir, si los beneficiarios en promedio se encuentran a menos de 15 metros del cierre fiscal, se le multiplicará por “1” y si están situados a mas de 15 metros se le asignara la ponderación de “0,5”, de esta manera obtendremos finalmente el puntaje para la evaluación, si es necesario aplicar Supresor de Polvo.

5.1. 5. Presencia de Actores Productivos:

Si se observa alguna actividad productiva, ya sean del tipo, Agrícola, Pecuario, Turística, Forestal, etc. La Dirección de Vialidad de la Región de Los Ríos establece que considerará la aplicación de Supresor de Polvo.

De esta manera la tabla asociada a este ítem, queda de la siguiente forma:

¿Existe Actividad Productiva?	Puntaje
Sí	5
No	1

Tabla 5-g: Existencia de Actividad Productiva y puntaje.

5.2. Ponderaciones de los Factores que influyen en la Producción de Polvo.

Una vez presentados los factores de análisis, no encontrándose información en tesis indexadas y publicaciones en revistas científicas, se realizó una reunión con la Dirección de Conservación Regional de Vialidad de Los Ríos, quienes como expertos en la materia, recomendaron los porcentajes de importancia de los parámetros, los cuales se presentan a continuación:

Tránsito Medio Diario (T.M.D.): 40%; Visibilidad: 30%; Cantidad de Beneficiarios: 20%; Actores Productivos: 10%.

La Calidad del Aire queda exenta de este porcentaje, ya que su evaluación se apega a la Normativa Ambiental, cual establece si se cumple o no se cumple, si ocurre esto último, la aplicación de Supresor de Polvo es obligatoria.

5.3. Algoritmo de Decisión.

A continuación se presenta algoritmo para la toma de decisión, el cual se encuentra en dos formatos, un diagrama de flujos y una tabla de cálculo, donde se introducen cada una de las variables y nos entrega la respuesta si es necesaria la aplicación del Supresor de Polvo.

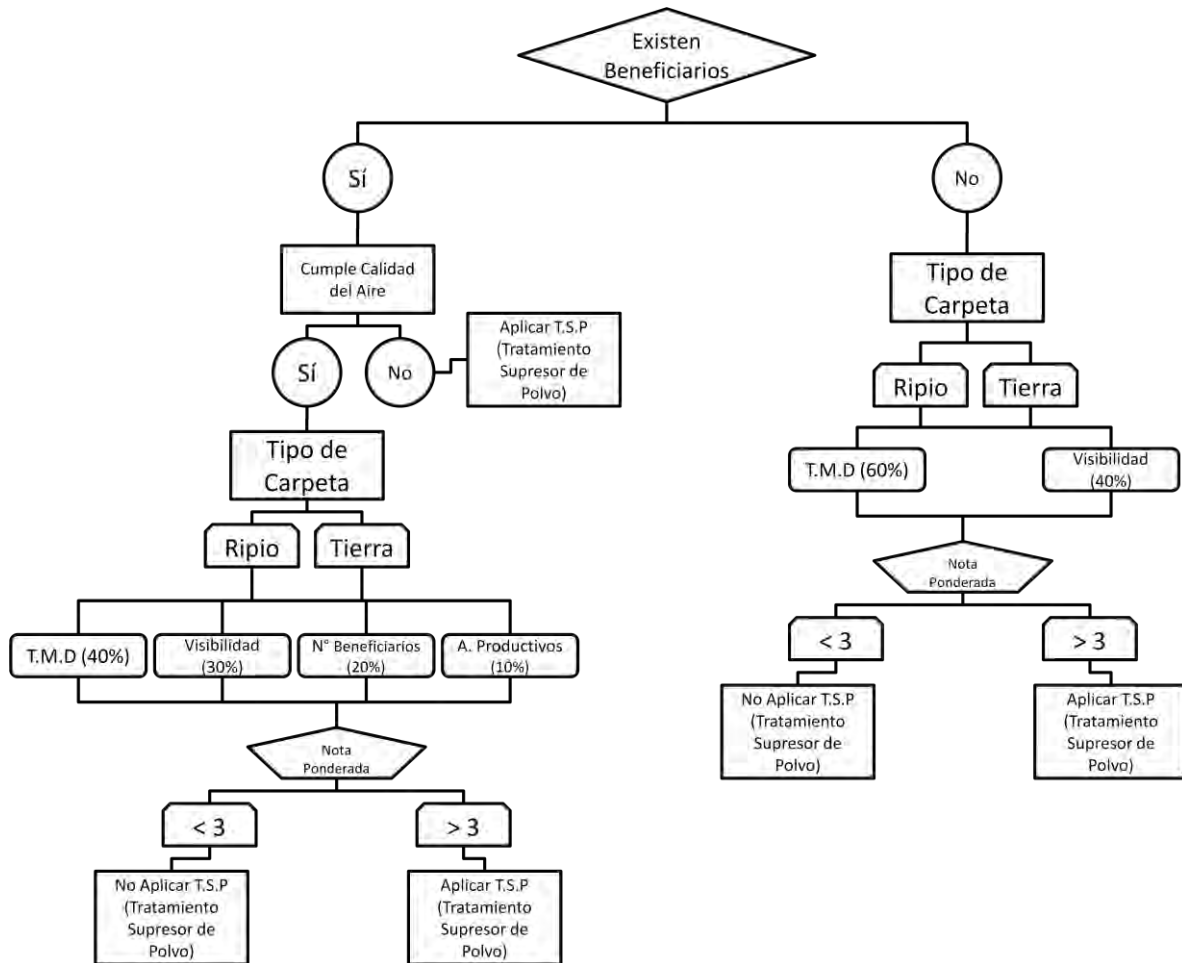


Figura 5-a: Diagrama de Flujo para Toma de Decisión

Se considerará los valores de 1 a 5 para la evaluación y “3” como límite de decisión, tanto por la información de la actual matriz de evaluación que posee Vialidad Región de Los Ríos para sus proyectos, como por la revisión bibliográfica y experiencia de la tesis, la cual señala que el rango donde se encuentra el límite para decidir sobre la aplicación de supresor de polvo, está entre “2” y “4”, siendo por este motivo que se sitúa el “3” como valor propuesto para la decisión.

5.4. Tablas de Decisión.

Siguiendo el diagrama de decisión propuesto en la página anterior, se crean dos tablas en el Software Microsoft Excel 2007, programadas para los recibir datos expuestos anteriormente, analizarlos y entregar una respuesta frente a la necesidad de aplicar Supresor de Polvo en la ruta estudiada.

Inicialmente al usuario se le consultará por la presencia de personas que vivan o realicen una actividad entorno al camino estudiado, esta pregunta será: “¿Las Rutas Presentan Beneficiarios en torno a ellas?”, dependiendo de la respuesta a esta pregunta, se deberá utilizar una u otra tabla, si la respuesta es positiva, ocupamos la Tabla N°1, y si es negativa analizaremos el problema con la Tabla N°2.

5.4.1. Vista de la Tabla N°1 en Microsoft Excel 2007.

Factores Considerados como Productores de polvo y sus Puntajes			Si=1		No=0				
T.M.D - Ripio	T.M.D - Tierra	Puntaje	Nivel de Visión/ Altura Nube (m)	Puntaje	Cantidad de Beneficiarios	Puntaje			
50	40	1	Excelente = 0	1	Menos de 2 familias por Km	1			
80	60	2	Bueno = 0,5	2	De 2 a 5 familias por Km	2			
100	80	3	Regular = 1	3	De 6 a 8 familias por Km	3			
150	100	4	Malo = 1,5	4	Más de 8 familias por Km	4			
200	120	5	Pésimo = 2	5	Presencia de Infraestructura Social	5			
¿Existe Actividad Productiva?		Puntaje							
Sí		5							
No		1							
¿Las Rutas Presentan Beneficiarios entrono a ellas?			Responder Si=1; No=0	Utilizar Tabla N°1	*Multiplicar el Puntaje de los Beneficiarios por "1" si estan a menos de 15m al Camino **Multiplicar el Puntaje de los Beneficiarios por "0,5" si estan a más de 15m al Camino				
1									
Tabla N°1: Con Beneficiarios entorno a la Ruta									
Ruta - Rol	MP₁₀ (µg/m³)	Cumple Calidad del Aire	Tipo de Carpeta	T.M.D.	Visibilidad	Beneficiarios/Distancia al camino	Actores Productivos	Puntaje	Solución
		Continuar Analisis						0	No Aplicar Supresor
		Continuar Analisis						0	No Aplicar Supresor
		Continuar Analisis						0	No Aplicar Supresor
		Continuar Analisis						0	No Aplicar Supresor

Tabla 5-h: Planilla N°1 de Decisión de Aplicación de Supresor de Polvo.

La Tabla N°1, como señalamos anteriormente funciona en los casos que existan beneficiarios en torno al camino, luego debemos ingresar la cantidad de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), el Programa mediante una función lógica analiza este dato, si el valor es mayor a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el programa inmediatamente indicará que se debe aplicar Supresor de Polvo en la ruta, si el valor es menor a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sugerirá seguir con el análisis de las otras variables. A continuación se pregunta por el tipo de carpeta, para decidir cuál será el Tránsito Medio Diario (T.M.D.) que se considerará como umbral, el cual será ponderado en un 40%. El siguiente parámetro es la visibilidad, la cual dependiendo de la altura de la nube de polvo se le asignará un puntaje que se ponderará en 30%. Luego se consulta por la cantidad de los beneficiarios y

la distancia que estos se encuentran al Cierro Fiscal del camino, si la distancia es menor a 15 metros el puntaje de la cantidad de beneficiarios deberá multiplicarse por “1”, si la distancia es mayor a 15 metros, multiplicaremos por “0,5”, este factor tiene una ponderación del 20%. Finalmente se analiza si en el entorno de la ruta existe alguna actividad productiva, si es así obtiene un puntaje de “5” y sino solo obtendrá 1 punto, ponderado un 10%. Una vez ingresados todos estos datos el programa sumará el puntaje total de la ruta, e indicará si es mayor que “3”, que es necesario realizar tratamiento de Supresor de Polvo, y si es menor dirá que la ruta no necesita Supresor de Polvo.

5.4.2 Vista de la Tabla N°2 en Microsoft Excel 2007.

Factores Considerados como Pruducidores de polvo y sus Puntajes			Si=1	No=0	
T.M.D - Ripio	T.M.D - Tierra	Puntaje	Nivel de Visión/ Altura Nube (m)	Puntaje	
50	40	1	Excelente = 0	1	
80	60	2	Bueno = 0,5	2	
100	80	3	Regular = 1	3	
150	100	4	Malo = 1,5	4	
200	120	5	Pésimo = 2	5	
¿Las Rutas Presentan Beneficiarios entrono a ellas?			Responder Si=1; No=0 0	Utilizar Tabla N°2	
Tabla N°2: Sin Beneficiarios entorno a la Ruta					
Ruta - Rol	Tipo de Carpeta	T.M.D.	Visibilidad	Puntaje	Solución
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor
				0	No Aplicar Supresor

Tabla 5-i: Planilla N°2 de Decisión de Aplicación de Supresor de Polvo.

Para el caso de la Tabla N°2, la respuesta la pregunta de la existencia de Beneficiarios en torno a la ruta, es negativa, por ende sólo se consideran como importantes dos parámetros señalados por Vialidad de Los Ríos, estos son el Tránsito Medio Diario (T.M.D.) y la Visibilidad en la ruta. Primero se nos consultará por el tipo de carpeta, para decidir cuál será el T.M.D. que se considerará como umbral, el cual será ponderado en un 60%. A continuación el siguiente parámetro, la visibilidad, que al igual que en la tabla N°1 dependerá de la altura de la nube de polvo se le asignará un puntaje que se ponderará en un 40%. Finalmente, ingresados todos estos datos el programa sumará el puntaje total de la ruta, e indicará, si es mayor que “3”, es necesario realizar Tratamiento de Supresor de Polvo, y si es menor dirá que la ruta no necesita Supresor de Polvo.

5.5. Aplicación de la Toma de Decisión.

Supondremos dos ejemplos para aplicar el programa de toma de decisión, si bien no se cuenta con el 100% de los datos de las rutas, podemos inferir para efectos prácticos todas las variables consideradas para el análisis.

5.5.1 Ruta: Los Molinos – Curiñanco; tramo de 7 km, ancho promedio 6 m.

Este Camino fue visitado el día 30 de Noviembre del 2011, previo a la aplicación de Supresor de Polvo.

MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T.M.D. Ripio	Visibilidad	Cantidad de Beneficiarios	Actores Productivos
< 120 por su Proximidad al Mar	> 150	Mala	Presencia de Infraestructura Social	Turismo

Al ingresar estos datos al Programa obtenemos lo siguiente:

Ruta - Rol	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cumple Calidad del Aire	Tipo de Carpeta	T.M.D.	Visibilidad	Beneficiarios/Distancia al camino	Actores Productivos	Puntaje	Solución
Los Molinos - Curiñanco	100	Continuar Analisis	Ripio	5	4	5	5	4,7	Aplicar Supresor

Por lo tanto, como el puntaje ponderado es 4,7 mayor que 3, se debe Aplicar Supresor de Polvo.

5.5.2 Ruta: Cruce Longitudinal T-207 – Reumén, tramo de 5 km, ancho promedio 6 m.

Este Camino fue visitado el día 10 de Marzo de 2012.

MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T.M.D. Ripio	Visibilidad	Cantidad de Beneficiarios	Actores Productivos
< 120	> 100	Mala	5 Familias por Km	No hay

Al ingresar estos datos al Programa obtenemos lo siguiente:

Ruta - Rol	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cumple Calidad del Aire	Tipo de Carpeta	T.M.D.	Visibilidad	Beneficiarios/Distancia al camino	Actores Productivos	Puntaje	Solución
Cruce Longitudinal T-207 – Reumén	100	Continuar Analisis	Ripio	3	4	2	1	2,9	No Aplicar Supresor

Por lo tanto, como el puntaje ponderado es 2,9 menor que 3, No se debe Aplicar Supresor de Polvo.

5.6. Observaciones de la Toma de Decisión.

El programa que contiene las Tablas 1 y 2, será adjuntado en un CD-ROM junto con la presente tesis, de tal forma de poder ser grabado en diferentes equipos en los que sea necesario realizar el análisis de las rutas que postulen a ser tratadas con Supresor de Polvo.

Tanto los puntajes como las ponderaciones, si bien han sido probadas en una serie situaciones ficticias, pueden estar sujetos a cambios, dependiendo de su comportamiento con los datos reales de las rutas que serán propuestas para ser tratadas con Supresor de Polvo en la Temporada Estival 2012-2013.

Para que este Algoritmo de Decisión sea aplicado a otras regiones del país, se deberá en una primera instancia, analizar el comportamiento de sus ponderaciones con la realidad del entorno en los cuales se encuentran emplazados los caminos.

El principal objetivo del presente capítulo se estima cumplido, debido a que la decisión sobre la aplicación de supresor en un determinado camino, deja de ser subjetivo, y pasa a estar sujeto al análisis cuantitativo de las variables que generan en menor o mayor medida el Material Particulado en la Ruta.

6 Conclusiones y Recomendaciones.

Una vez acabado este estudio referente a la problemática de las emisiones de polvo en caminos y los materiales supresores, se obtienen una serie de conclusiones y recomendaciones, surgidas tanto de la consulta bibliográfica, como de los trabajos prácticos desarrollados en esta materia.

6.1. Conclusiones Generales.

- Existen una gran cantidad de Supresores de Polvo en todo el mundo, pero son muy pocos los conocidos por los Administradores de caminos en nuestro país, y una pequeña cantidad de las regiones decide implementar un programa de Supresión de Polvo en sus caminos.
- En Chile, la aplicación de las sales como el Cloruro de Sodio y el de Magnesio, se han convertido en los principales métodos de Supresión de Polvo, ya que, de muy buena forma durante todo el año en las regiones del Norte y en época estival en el Sur del país se han aplicado.
- La Organización Mundial de la Salud, ha señalado que los riesgos en diversos efectos a la salud de las personas, aumentan con la exposición a ciertas cantidades de Material Particulado.
- En la Región de los Ríos, una vez realizado el seguimiento a los caminos tratados con Supresor de Polvo de Cloruro de Magnesio, se ha logrado establecer, los deterioros mas reiterativos en la carpeta de rodado, son los baches y calaminas, debido principalmente a condiciones del tráfico, la materialidad de la carpeta, la no compactación del camino y las abundantes lluvias en la región.

6.2. Conclusiones Principales.

- Las mediciones realizadas con el equipo DustMate, en las diferentes posiciones de muestreo entorno al camino, son de gran utilidad para determinar el movimiento y comportamiento de la nube de polvo generada por los vehículos que transitan por la ruta, ya que se logra establecer que hasta los 15m. de distancia al camino la cantidad de MP es muy elevada, lo cual puede afectar a viviendas y cultivos.

- Gracias a la determinación del comportamiento de la nube de polvo, se pudo ajustar los valores de los beneficiarios y la distancia de estos al camino, depurando la puntuación de este factor en el algoritmo de decisión.
- Para la determinación de la cantidad de partículas presentes en la ruta, el equipo DustMate se presenta como una alternativa práctica y efectiva, debido a que su tamaño es pequeño y de fácil utilización, además sus datos una vez descargados al computador pueden ser analizados inmediatamente.
- Según los resultados obtenidos en el camino de prueba “La Montaña” en la región del Maule, la efectividad del Cloruro de Magnesio como Supresor de Polvo, después de su primer mes de aplicación es evidente, obteniendo un rendimiento de más de un 98%, y ya a los cinco meses tiene una eficiencia de sobre un 84% con respecto al camino sin tratar.
- Se observa en este camino de prueba, que tanto el riego con Bischofita, ni su distribución por el tránsito vehicular y/o por el escurrimiento producto de las lluvias, afectó en ninguna medida a la vegetación colindante al camino.
- Una de las desventajas asociadas tanto a la estabilización con cloruro de sodio, como al riego con bischofita, es la adherencia de la solución de salmuera a las partes metálicas de los vehículos que transitan por la ruta tratada, ya que una exposición prolongada a estos elementos puede llevar a una corrosión severa de estos vehículos.
- Tanto el cloruro de sodio como la bischofita producen un efecto positivo en la relación humedad y densidad del suelo. Estos efectos se ven reflejados en la disminución de la humedad óptima y un aumento de la densidad compactada.
- El proyecto de Estabilizar con Cloruro de Sodio y el Riego Superficial con Bischofita, presentan costos asociados muy similares, es más, en algunas ocasiones durante los primeros 10 años de análisis de costos, el proyecto vinculado al Cloruro de Sodio es más económico que la

alternativa con Bischofita. Pero al continuar con el análisis en el tiempo, la Bischofita estabiliza sus precios y de los 10 años en adelante, se consolida como la opción más económica.

- Por otra parte la alternativa de Tratamiento Superficial Simple de Asfalto, si bien, sus costos se acercan considerablemente a las otras alternativas durante el año 2018, en adelante a este período, siempre se comporta como la opción de proyecto con los costos más elevados.
- El realizar una recopilación de los parámetros que deben ser considerados para decidir si es necesario la aplicación de un Supresor de Polvo en una determinada ruta, lleva a la problemática de la generación de polvo a un análisis más global del entorno, objetivizando las decisiones de su aplicación.
- La matriz de decisión, permite a la Administración Pública de caminos, generar un programa de gestión y mantenimiento de sus rutas no pavimentadas, eligiendo de manera más objetiva a los beneficiarios y realizando una mejor planificación en los gastos por este concepto.

6.3. Recomendaciones Generales.

- Al recorrer los caminos tratados con el riego superficial de bischofita en la Región de Los Ríos, se logra establecer sus principales problemas y recomendaciones para solucionarlos:
- Material suelto y deformaciones en la carpeta de rodado (baches), para este problema se recomienda que además de realizar el correspondiente reperfilado antes de la aplicación de la Bischofita, también se debe repasar el camino con un rodillo, para obtener una carpeta mucho más regular y aumentar su densidad.
- Desborde de aguas y/o acumulación del Producto al costado del camino, estas irregularidades son frecuentes después de suscitarse gran cantidad de lluvias y son producto del porcentaje de inclinación que se da a la carpeta de rodado, es por este motivo, que se debe revisar el cálculo de sus pendientes, a aquellos caminos que fueron señalados con este problema, para poder evitarlo la próxima temporada.
- Exceso de velocidad en la ruta, esto ocurre principalmente en aquellas rutas, en que la aplicación ha quedado en muy buenas condiciones y los vehículos deciden transitar a velocidades muy elevadas, pudiendo provocar accidentes en la ruta, para ello, se recomienda la

instalación de Señalética, que indiquen a los conductores la velocidad máxima permitida para transitar.

- Pérdida de Material granular o fino, este fenómeno se observa en caminos que no presentan la proporción ideal de fino/granular, lo que acompañado de un alto tránsito vehicular, lleva a la pérdida de material. Para ello se recomienda realizar un recebo a la carpeta que ayude a entregar la porción adecuada de material, acompañado de una compactación que densifique la carpeta.
- Cuando en un mismo camino existen tramos buenos y malos el problema no estuvo en el producto si no en factores externos, tales como mala preparación de la superficie, salida de canales, mala calidad del material granular, etc. Un problema de dosis se aprecia cuando el 100% del tratamiento se encuentra débil.
- Según la literatura revisada y las experiencias realizadas en esta investigación, se recomienda que la velocidad de muestreo tanto para mediciones estáticas como en movimiento debe ser de 50 Km/h, además, previo a tomar las muestras, es necesario realizar un recorrido de reconocimiento de la ruta, para establecer las condiciones en que ésta se encuentra.
- Tanto los puntajes como las ponderaciones, si bien han sido probadas en una serie de situaciones ficticias, pueden estar sujetos a cambios, dependiendo de su comportamiento con los datos reales de las rutas, que serán propuestas para ser tratadas con Supresor de Polvo en la Temporada Estival 2012-2013.
- Para que este Algoritmo de Decisión sea aplicado a otras regiones del país, se deberá en una primera instancia, analizar el comportamiento de sus ponderaciones con la realidad del entorno en los cuales se encuentran emplazados los caminos.

6.4. Recomendaciones para futuras investigaciones.

- La problemática de la generación de polvo en los caminos, las metodologías de supresión y medición, son un tema que paulatinamente se va extendiendo a lo largo de Chile, es por este motivo que se debe realizar más investigaciones en esta materia, para lograr mejores y prácticas soluciones para este problema.

- Se recomienda para el análisis de la nube de polvo, medir las emisiones producidas por un vehículo de mayor envergadura, es decir, un camión de a lo menos 2.500kg. de carga. Además, hacer mediciones con mayor viento en el sector, estableciendo cuanto más se desplaza la nube de polvo y como afecta las viviendas más alejadas del camino.
- Para revisar la efectividad del Supresor de Polvo, se recomienda montar el equipo DustMate sobre un camión de carga, de manera de cuantificar el nivel de emisiones de un vehículo pesado.
- Además del estudio económico de los costos de construcción y mantención de caminos con Supresores de Polvo, sería importante agregar al análisis, la corrosión de los vehículos, la pérdida de finos, los beneficios sociales y otros factores diferentes a los estudiados en esta tesis, que puedan ser relevantes para optar por una u otra alternativa.
- En el caso del estudio de visibilidad del camino, en cuanto a la distancia entre dos vehículos que transitan al mismo tiempo por la misma ruta uno detrás del otro, sería interesante implementar un sensor de luz, capaz de establecer a qué distancia entre los vehículos mejora o empeora la visibilidad, obteniendo otro parámetro para la matriz de decisión.

7 Bibliografía.

- AFP. 2004. "Deadly dust reduces life expectancy by up to two years in Europe: study". Ginebra. Agence France-Presse. (Disponible en: <http://www.terradaily.com/2004/041129185850.09hw5iw6.html>. Consultado el: 12 de diciembre de 2011).
- BANCO CENTRAL DE CHILE. 2011. "Informe de Estabilidad Finaciera". (Disponible en: http://www.bcentral.cl/publicaciones/politicas/pdf/ief2011_1.pdf. Consultado el: 15 de julio de 2011).
- BELLOLIO J. (2005). "Metodología para la medición de polvo generado por vehículos en caminos pavimentados". CIIV, Dictuc, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- COLORADO TRANSPORTATION INFORMATION CENTER. 1989. "Road Dust Suppressants". Bulletin #3. Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins Co, March. (Original no consultado, citado por: SANDERS T.; J. ADDO. 1993. Literature review. En su: Effectiveness and Environmental impact of Road dust suppressants. 1ª Ed. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO 80523. Pp: 4-10).
- CONOMA. 1998. "Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP_{10} ". D.S. N° 59/98 Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago de Chile. Pp 12.
- DOCKERY D.; C. ARDEN POPE, XIPING XU, JOHN D. SPENGLER, JAMES H. WARE, MARTHA E. FAY, BENJAMIN G. FERRIS, JR., FRANK E. SPEIZER. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, 329:1753–1759. (Original no consultado, citado por: OMS. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Editorial OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza. 25p).
- DOMINGUEZ, F. 2006. "Informe Eficiencia Roadmag", Medición de emisiones de polvo PM_{10} y $PM_{2,5}$ con DustMate". (Patente N°3). Santiago, Chile. Salmag. Pp 06.
- ESTRADA, J. 2006. "Finanzas en pocas palabras". 1ra Edición. Madrid, España. Editorial Pretencie-Hall. Pp 421.

JERRETT M. (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*,16:727–736. (Original no consultado, citado por: OMS. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Editorial OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza. 25p).

HESS-KOSA, K. 2001. "Indoor air quality sampling methodologies". 1ra Edición. Boca Ratón, Florida. Lewis Publishers. Pp 300.

HINRICHSEN N.; 2005. "Estudio de Comportamiento de Suelo Estabilizado con Sal: Frente a la Acción del Agua, para Distintas Mezclas". Tesis Universidad Austral de Chile, Fac. Cien. Ing.115p.

HUSSEIN, T.; C. JOHANSSON; H. KARLSSON; H. HANSSON. 2008. "Factors Affecting Non-Tailpipe Aerosol Particle Emissions from Paved Roads: On-Road Measurements in Stockholm, Sweden"; *Atmos. Environ.* 42. Pp: 688-702.

LARKIN LABORATORY. 1986. "Calcium Chloride and Magnesium Chloride for Dust Control". 1691 N. Swede Rd. Midland Michigan 48640. (Original no consultado, citado por: SANDERS T.; J. ADDO. 1993. Literature review. En su: Effectiveness and Environmental impact of Road dust suppressants. 1ª Ed. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO 80523. Pp: 4-10).

MALKOÇ S.; B. YAZICI; M. ALTAN; A. KOPARAL. 2010 "Street dust pollution of some metals along Eskisehir urban roads, Turkey". *ICENV*. Abril. Malezya-Pp:13-15.

MIDEPLAN.; 2011. "Precios Sociales para la Evaluación social de proyectos". Santiago, Chile. Ministerio de Desarrollo Social. (Disponible en: http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/postulacion_links/78_77_precios_sociales_nip_2012.pdf). Consultado el: 10 de Abril 2012.

- MINNESOTA SOYBEAN. 1998. "Questions and Answers: Road Dust Control with Soapstock-A Soybean Oil By-Product". *Road Management & Engineering Journal*. June 1. Pp: 15 - 20. Disponible en: <http://www.usroads.com/journals/rmej/9806/rm980604.htm>. Consultado el: 8 de Enero 2012.
- OMS. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Editorial OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza. 25p.
- ORMAZABAL, G. 2001. El IDS: Un nuevo sistema integrado de toma de decisiones para la gestión de Proyectos constructivos. Tesis Doctoral. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería de la Construcción. 682p.
- PIRJOLA L.; C. JOHANSSON; K. KUPIAINEN; A. STOJILJKOVIC; H. KARLSSON; T. HUSSEIN. 2010. "Road Dust Emissions from Paved Roads Measured Using Different Mobile Systems". *J. Air & Waste Manage. Association*. 60. Pp: 1422-1433.
- POPE CA; M J THUN, M M NAMBOODIRI, D W DOCKERY, J S EVANS, F E SPEIZER, C W HEATH JR. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151:669–674. (Original no consultado, citado por: OMS. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Editorial OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza. 25p).
- POPE CA; BURNETT RT, THUN MJ, CALLE EE, KREWSKI D, ITO K, THURSTON GD . (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287:1132– 1141. (Original no consultado, citado por: OMS. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Editorial OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza. 25p).
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2001. "Diccionario de la Lengua Española". 22ª Edición. Madrid. Espasa. Pp 1666.
- TURNKEY INSTRUMENTS LTD. 2002. "DustMate Operating Instructions". 3ª Edición. 1 Dalby Court, Gadbrook Business Centre, Northwich, England CW9 7TN. Turnkey Instruments Ltd. Pp 32.

Anexo N°1: Tablas completas de las mediciones con equipo DustMate – La Montaña Km 18 al 22 – Teno – Región del Maule.

1. Antecedentes del Camino.

Tipo de aplicación: Control de Polvo
 Camino: La Montaña Km 18 al 22
 Comuna: Teno
 Región: VII

2. Tabla de Datos 18 de Enero – 10 de Marzo 2006

Km referencial	MEDICIÓN ANTES DE LA APLICACIÓN			MEDICIÓN DESPUES DE LA APLICACIÓN		
	Fecha medición	PM10 ANTES	PM2,5 ANTES	Medición 10/03	PM10 10/03	PM2,5 10/03
18,000	18-01-2006 13:39	710,9	350,0	10-03-2006 14:36	18,6	14,4
18,017	18-01-2006 13:39	1221,6	730,4	10-03-2006 14:36	20,6	15,3
18,033	18-01-2006 13:39	1568,4	1039,3	10-03-2006 14:37	19,4	14,6
18,050	18-01-2006 13:39	2215,6	1794,6	10-03-2006 14:37	19,3	11,9
18,067	18-01-2006 13:39	2255,4	1753,4	10-03-2006 14:37	18,5	15,9
18,083	18-01-2006 13:39	2850,9	2281,8	10-03-2006 14:37	18,4	11,0
18,100	18-01-2006 13:40	2250,9	1792,6	10-03-2006 14:37	18,6	11,5
18,117	18-01-2006 13:40	3260,7	2645,0	10-03-2006 14:37	18,1	11,3
18,133	18-01-2006 13:40	3480,8	3020,7	10-03-2006 14:37	21,1	15,5
18,150	18-01-2006 13:40	3359,1	2922,1	10-03-2006 14:37	23,7	18,4
18,167	18-01-2006 13:40	2959,9	2444,9	10-03-2006 14:37	29,6	23,1
18,183	18-01-2006 13:40	3250,8	2677,9	10-03-2006 14:37	37,8	33,1
18,200	18-01-2006 13:40	3183,2	2583,4	10-03-2006 14:37	53	46,8
18,217	18-01-2006 13:40	3234,1	2716,1	10-03-2006 14:37	34,5	30,2
18,233	18-01-2006 13:40	3297,5	2711,7	10-03-2006 14:37	16,9	10,8
18,250	18-01-2006 13:40	3342,3	2937,5	10-03-2006 14:37	22	17,6
18,267	18-01-2006 13:40	3325,1	2845,2	10-03-2006 14:37	17,7	13,4
18,283	18-01-2006 13:40	3341,9	2968,8	10-03-2006 14:37	19,2	13,6
18,300	18-01-2006 13:40	3408,9	2781,1	10-03-2006 14:37	29,3	23,2
18,317	18-01-2006 13:40	3324,0	2840,7	10-03-2006 14:37	31,4	23,9
18,333	18-01-2006 13:40	3425,0	2778,7	10-03-2006 14:37	25	18,3
18,350	18-01-2006 13:40	3544,7	2940,0	10-03-2006 14:37	23	20,2
18,367	18-01-2006 13:40	3495,4	2902,9	10-03-2006 14:37	26,7	23,6
18,383	18-01-2006 13:40	3643,8	3161,8	10-03-2006 14:37	26,8	20,6
18,400	18-01-2006 13:40	3684,8	3236,7	10-03-2006 14:37	19,3	12,5
18,417	18-01-2006 13:40	3714,7	3285,6	10-03-2006 14:37	22,7	17,7
18,433	18-01-2006 13:40	3697,9	3181,3	10-03-2006 14:37	18,2	13,2
18,450	18-01-2006 13:40	3768,6	3187,7	10-03-2006 14:37	18,5	14,4
18,467	18-01-2006 13:40	3705,5	3197,0	10-03-2006 14:37	18,7	15,2
18,483	18-01-2006 13:40	3834,1	3420,4	10-03-2006 14:37	17,1	12,0
18,500	18-01-2006 13:40	3889,2	3437,4	10-03-2006 14:37	23,2	16,4
18,517	18-01-2006 13:40	4015,7	3618,7	10-03-2006 14:37	26,8	22,7
18,533	18-01-2006 13:40	3908,3	3509,1	10-03-2006 14:37	35,7	33,0
18,550	18-01-2006 13:40	3912,6	3541,9	10-03-2006 14:37	56,4	49,1
18,567	18-01-2006 13:40	3943,1	3476,4	10-03-2006 14:37	77,4	70,4
18,583	18-01-2006 13:40	3853,3	3206,2	10-03-2006 14:37	59,4	56,2
18,600	18-01-2006 13:40	3882,9	3320,3	10-03-2006 14:37	70,1	65,3
18,617	18-01-2006 13:40	3861,5	3326,7	10-03-2006 14:37	38,2	34,1
18,633	18-01-2006 13:40	3912,1	3531,7	10-03-2006 14:37	23,3	17,3
18,650	18-01-2006 13:40	3932,6	3553,4	10-03-2006 14:37	24,2	17,2
18,667	18-01-2006 13:40	3914,5	3461,4	10-03-2006 14:37	22,9	20,3
18,683	18-01-2006 13:40	3842,3	3406,2	10-03-2006 14:37	26,3	22,1
18,700	18-01-2006 13:40	3770,8	3332,4	10-03-2006 14:37	34,3	31,8
18,717	18-01-2006 13:40	3764,8	3182,3	10-03-2006 14:37	34	31,3
18,733	18-01-2006 13:40	3814,1	3422,5	10-03-2006 14:37	32,9	30,3
18,750	18-01-2006 13:40	3891,1	3405,7	10-03-2006 14:37	41,4	37,5
18,767	18-01-2006 13:40	4022,9	3652,1	10-03-2006 14:37	43,2	38,2
18,783	18-01-2006 13:40	4057,3	3478,1	10-03-2006 14:37	36,7	29,3

18,800	18-01-2006 13:40	4055,3	3650,4	10-03-2006 14:37	28,8	25,1
18,817	18-01-2006 13:40	4009,9	3618,0	10-03-2006 14:37	23,5	18,3
18,833	18-01-2006 13:40	3949,2	3396,3	10-03-2006 14:37	30,1	23,2
18,850	18-01-2006 13:40	3964,4	3561,3	10-03-2006 14:37	32,4	28,9
18,867	18-01-2006 13:40	3912,5	3555,4	10-03-2006 14:37	35,6	31,5
18,883	18-01-2006 13:40	3978,0	3621,0	10-03-2006 14:37	34,9	31,8
18,900	18-01-2006 13:40	4040,2	3466,3	10-03-2006 14:37	28,6	25,5
18,917	18-01-2006 13:40	4200,6	3557,7	10-03-2006 14:37	32	27,3
18,933	18-01-2006 13:40	4300,6	3931,0	10-03-2006 14:37	30,6	26,8
18,950	18-01-2006 13:40	4287,9	3867,9	10-03-2006 14:37	24,8	21,9
18,967	18-01-2006 13:40	4331,4	3804,9	10-03-2006 14:37	24,2	19,1
18,983	18-01-2006 13:40	4493,4	3843,4	10-03-2006 14:37	33,7	28,1
19,000	18-01-2006 13:40	4537,5	3947,8	10-03-2006 14:37	39,5	33,1
19,017	18-01-2006 13:40	4600,4	4195,2	10-03-2006 14:37	30,3	24,8
19,033	18-01-2006 13:40	4678,8	4249,1	10-03-2006 14:38	20,5	17,9
19,050	18-01-2006 13:40	4739,3	4202,4	10-03-2006 14:38	21,4	17,3
19,067	18-01-2006 13:40	4803,9	4365,0	10-03-2006 14:38	17,9	14,9
19,083	18-01-2006 13:40	4741,2	4298,8	10-03-2006 14:38	19,8	15,4
19,100	18-01-2006 13:41	4708,5	4193,1	10-03-2006 14:38	29,3	25,0
19,117	18-01-2006 13:41	4790,3	4435,1	10-03-2006 14:38	28,2	22,9
19,133	18-01-2006 13:41	4931,9	4325,3	10-03-2006 14:38	14,6	9,0
19,150	18-01-2006 13:41	5048,7	4657,6	10-03-2006 14:38	21,2	18,5
19,167	18-01-2006 13:41	4952,8	4507,9	10-03-2006 14:38	22,6	18,4
19,183	18-01-2006 13:41	5220,1	4643,7	10-03-2006 14:38	14,1	7,3
19,200	18-01-2006 13:41	5097,3	4560,6	10-03-2006 14:38	21,6	18,9
19,217	18-01-2006 13:41	5035,0	4642,1	10-03-2006 14:38	22,8	20,1
19,233	18-01-2006 13:41	5065,7	4561,3	10-03-2006 14:38	29,3	23,2
19,250	18-01-2006 13:41	5002,5	4637,6	10-03-2006 14:38	23,6	17,4
19,267	18-01-2006 13:41	4970,3	4501,9	10-03-2006 14:38	19,3	13,5
19,283	18-01-2006 13:41	4907,8	4382,4	10-03-2006 14:38	17,6	13,9
19,300	18-01-2006 13:41	4927,6	4285,2	10-03-2006 14:38	16,5	13,7
19,317	18-01-2006 13:41	4836,7	4439,8	10-03-2006 14:38	16,5	11,8
19,333	18-01-2006 13:41	4735,1	4227,5	10-03-2006 14:38	20,6	13,5
19,350	18-01-2006 13:41	4686,1	4190,3	10-03-2006 14:38	30,7	23,8
19,367	18-01-2006 13:41	4570,4	4114,2	10-03-2006 14:38	20,3	15,6
19,383	18-01-2006 13:41	4606,4	4126,8	10-03-2006 14:38	22,5	16,5
19,400	18-01-2006 13:41	4602,2	4239,8	10-03-2006 14:38	22,4	17,1
19,417	18-01-2006 13:41	4598,4	4133,8	10-03-2006 14:38	9,8	6,7
19,433	18-01-2006 13:41	4607,1	4119,5	10-03-2006 14:38	12,3	9,7
19,450	18-01-2006 13:41	4609,3	4008,0	10-03-2006 14:38	20	16,7
19,467	18-01-2006 13:41	4582,8	3990,9	10-03-2006 14:38	22,6	16,4
19,483	18-01-2006 13:41	4499,5	3862,9	10-03-2006 14:38	23,2	15,9
19,500	18-01-2006 13:41	4417,8	3819,3	10-03-2006 14:38	18,8	15,5
19,517	18-01-2006 13:41	4394,6	3989,0	10-03-2006 14:38	29,4	23,6
19,533	18-01-2006 13:41	4351,6	3839,4	10-03-2006 14:38	25,3	19,3
19,550	18-01-2006 13:41	4308,5	3731,6	10-03-2006 14:38	23,1	20,4
19,567	18-01-2006 13:41	4299,0	3870,5	10-03-2006 14:38	24	19,7
19,583	18-01-2006 13:41	4228,1	3815,3	10-03-2006 14:38	22,3	17,9
19,600	18-01-2006 13:41	4153,1	3802,1	10-03-2006 14:38	16,1	11,0
19,617	18-01-2006 13:41	4092,2	3653,2	10-03-2006 14:38	12,5	6,0
19,633	18-01-2006 13:41	3973,3	3550,0	10-03-2006 14:38	18,7	14,9
19,650	18-01-2006 13:41	3889,9	3485,5	10-03-2006 14:38	25,6	19,7
19,667	18-01-2006 13:41	3877,4	3321,5	10-03-2006 14:38	19,2	14,8
19,683	18-01-2006 13:41	3811,8	3334,3	10-03-2006 14:38	16,9	13,6
19,700	18-01-2006 13:41	3732,2	3269,1	10-03-2006 14:38	18,6	11,4
19,717	18-01-2006 13:41	3652,0	3162,6	10-03-2006 14:38	16,3	12,4
19,733	18-01-2006 13:41	3655,8	3175,0	10-03-2006 14:38	15,9	11,1
19,750	18-01-2006 13:41	3571,9	2936,7	10-03-2006 14:38	14,7	8,5
19,767	18-01-2006 13:41	3541,9	3126,1	10-03-2006 14:38	15,1	12,3
19,783	18-01-2006 13:41	3456,3	2811,6	10-03-2006 14:38	13,6	6,8
19,800	18-01-2006 13:41	3438,6	3013,1	10-03-2006 14:38	10,5	5,8
19,817	18-01-2006 13:41	3357,4	2879,6	10-03-2006 14:38	16,6	9,1
19,833	18-01-2006 13:41	3242,6	2747,8	10-03-2006 14:38	18,3	11,2
19,850	18-01-2006 13:41	3145,8	2551,1	10-03-2006 14:38	19,9	15,6
19,867	18-01-2006 13:41	3070,0	2611,0	10-03-2006 14:38	17,4	14,6
19,883	18-01-2006 13:41	2945,0	2379,2	10-03-2006 14:38	18,8	11,9
19,900	18-01-2006 13:41	2865,9	2482,4	10-03-2006 14:38	21,5	16,0
19,917	18-01-2006 13:41	2876,2	2432,7	10-03-2006 14:38	27,5	24,0
19,933	18-01-2006 13:41	2797,1	2318,8	10-03-2006 14:38	30	24,3
19,950	18-01-2006 13:41	2708,6	2245,1	10-03-2006 14:38	27,6	20,5
19,967	18-01-2006 13:41	2579,1	1950,3	10-03-2006 14:38	34	28,5
19,983	18-01-2006 13:41	2477,6	1988,9	10-03-2006 14:38	34,7	27,7

20,000	18-01-2006 13:41	2432,7	1996,8	10-03-2006 14:38	55	51,1
20,017	18-01-2006 13:41	2376,8	1812,4	10-03-2006 14:38	81,8	74,8
20,033	18-01-2006 13:41	2374,8	1899,3	10-03-2006 14:39	87,9	83,8
20,050	18-01-2006 13:41	2393,6	1974,5	10-03-2006 14:39	115,5	112,1
20,067	18-01-2006 13:41	2306,6	1711,9	10-03-2006 14:39	148,6	144,2
20,083	18-01-2006 13:41	2326,4	1874,0	10-03-2006 14:39	79,9	75,3
20,100	18-01-2006 13:42	2250,1	1850,0	10-03-2006 14:39	21,6	18,2
20,117	18-01-2006 13:42	2223,1	1809,5	10-03-2006 14:39	22,1	19,5
20,133	18-01-2006 13:42	2199,3	1845,6	10-03-2006 14:39	16,1	11,2
20,150	18-01-2006 13:42	2131,8	1601,0	10-03-2006 14:39	12	8,5
20,167	18-01-2006 13:42	2394,9	2033,3	10-03-2006 14:39	9,5	5,8
20,183	18-01-2006 13:42	2458,2	1909,9	10-03-2006 14:39	13,5	7,9
20,200	18-01-2006 13:42	2502,7	1860,5	10-03-2006 14:39	17,8	10,9
20,217	18-01-2006 13:42	2540,1	2007,6	10-03-2006 14:39	28,9	23,4
20,233	18-01-2006 13:42	2504,9	1930,8	10-03-2006 14:39	22,8	18,9
20,250	18-01-2006 13:42	2480,2	2121,9	10-03-2006 14:39	19,8	14,9
20,267	18-01-2006 13:42	2551,3	1971,7	10-03-2006 14:39	17,4	10,3
20,283	18-01-2006 13:42	2583,4	1942,2	10-03-2006 14:39	17,6	11,0
20,300	18-01-2006 13:42	2548,2	2039,7	10-03-2006 14:39	16,6	12,5
20,317	18-01-2006 13:42	2616,7	2132,8	10-03-2006 14:39	17,1	12,4
20,333	18-01-2006 13:42	2658,6	2054,9	10-03-2006 14:39	18,7	11,9
20,350	18-01-2006 13:42	2638,9	2023,8	10-03-2006 14:39	18,8	11,8
20,367	18-01-2006 13:42	2572,9	2120,4	10-03-2006 14:39	14,9	9,6
20,383	18-01-2006 13:42	2530,8	1941,0	10-03-2006 14:39	18,9	11,8
20,400	18-01-2006 13:42	2590,4	2097,4	10-03-2006 14:39	26,3	22,1
20,417	18-01-2006 13:42	2629,8	2201,9	10-03-2006 14:39	27,5	23,7
20,433	18-01-2006 13:42	2596,7	2003,9	10-03-2006 14:39	23	17,3
20,450	18-01-2006 13:42	2600,7	2205,8	10-03-2006 14:39	35,5	29,8
20,467	18-01-2006 13:42	2612,6	2141,8	10-03-2006 14:39	42,9	39,7
20,483	18-01-2006 13:42	2566,6	1983,6	10-03-2006 14:39	36,6	32,4
20,500	18-01-2006 13:42	2591,2	2021,4	10-03-2006 14:39	34,4	31,0
20,517	18-01-2006 13:42	2509,0	1996,3	10-03-2006 14:39	36,8	34,0
20,533	18-01-2006 13:42	2438,1	2000,7	10-03-2006 14:39	27,9	25,4
20,550	18-01-2006 13:42	2500,4	1934,6	10-03-2006 14:39	39,4	34,4
20,567	18-01-2006 13:42	2519,3	2121,4	10-03-2006 14:39	51,5	45,5
20,583	18-01-2006 13:42	2547,1	2098,2	10-03-2006 14:39	37,8	34,8
20,600	18-01-2006 13:42	2579,3	1983,9	10-03-2006 14:39	34,8	32,0
20,617	18-01-2006 13:42	2583,8	1965,0	10-03-2006 14:39	23,5	16,9
20,633	18-01-2006 13:42	2576,9	2047,2	10-03-2006 14:39	22,7	15,8
20,650	18-01-2006 13:42	2561,1	1966,3	10-03-2006 14:39	38,5	31,1
20,667	18-01-2006 13:42	2533,1	1973,8	10-03-2006 14:39	33,9	31,2
20,683	18-01-2006 13:42	2517,7	2059,6	10-03-2006 14:39	41,2	38,3
20,700	18-01-2006 13:42	2547,5	2096,1	10-03-2006 14:39	36,8	32,5
20,717	18-01-2006 13:42	2570,5	2170,2	10-03-2006 14:39	34,7	27,4
20,733	18-01-2006 13:42	2566,5	2059,5	10-03-2006 14:39	42,6	36,8
20,750	18-01-2006 13:42	2582,8	2082,0	10-03-2006 14:39	51,6	46,0
20,767	18-01-2006 13:42	2546,8	1916,7	10-03-2006 14:39	49,2	44,1
20,783	18-01-2006 13:42	2545,3	1948,1	10-03-2006 14:39	48,3	41,7
20,800	18-01-2006 13:42	2541,0	2142,8	10-03-2006 14:39	41,1	34,4
20,817	18-01-2006 13:42	2575,5	2186,3	10-03-2006 14:39	42,8	38,5
20,833	18-01-2006 13:42	2594,2	1962,1	10-03-2006 14:39	57,5	52,8
20,850	18-01-2006 13:42	2669,2	2246,3	10-03-2006 14:39	49,1	42,9
20,867	18-01-2006 13:42	2712,5	2308,0	10-03-2006 14:39	34,1	30,9
20,883	18-01-2006 13:42	2663,5	2175,2	10-03-2006 14:39	47,2	43,4
20,900	18-01-2006 13:42	2692,8	2250,5	10-03-2006 14:39	46,8	42,9
20,917	18-01-2006 13:42	2613,1	2127,9	10-03-2006 14:39	45,9	43,1
20,933	18-01-2006 13:42	2648,0	2077,2	10-03-2006 14:39	48,5	45,9
20,950	18-01-2006 13:42	2662,0	2139,2	10-03-2006 14:39	47,7	42,5
20,967	18-01-2006 13:42	2716,9	2276,9	10-03-2006 14:39	65,4	58,6
20,983	18-01-2006 13:42	2736,7	2320,3	10-03-2006 14:39	57,6	54,2
21,000	18-01-2006 13:42	2761,2	2138,3	10-03-2006 14:39	31	24,8
21,017	18-01-2006 13:42	2755,3	2361,4	10-03-2006 14:39	20,4	14,5
21,033	18-01-2006 13:42	2821,8	2215,6	10-03-2006 14:40	18,1	12,7
21,050	18-01-2006 13:42	2841,1	2218,1	10-03-2006 14:40	18,3	12,3
21,067	18-01-2006 13:42	2874,6	2335,9	10-03-2006 14:40	16,4	9,0
21,083	18-01-2006 13:42	2883,0	2411,9	10-03-2006 14:40	19,5	16,6
21,100	18-01-2006 13:43	2887,1	2378,0	10-03-2006 14:40	20,1	17,1
21,117	18-01-2006 13:43	2906,1	2468,1	10-03-2006 14:40	24,1	20,0
21,133	18-01-2006 13:43	2921,5	2390,2	10-03-2006 14:40	40,2	34,3
21,150	18-01-2006 13:43	2847,0	2263,6	10-03-2006 14:40	55,7	49,9
21,167	18-01-2006 13:43	2543,9	2049,1	10-03-2006 14:40	42	34,8
21,183	18-01-2006 13:43	2517,8	2038,9	10-03-2006 14:40	39,8	32,3

21,200	18-01-2006 13:43	2502,9	2041,7	10-03-2006 14:40	36	29,5
21,217	18-01-2006 13:43	2511,1	2157,7	10-03-2006 14:40	53,4	47,8
21,233	18-01-2006 13:43	2529,9	2149,6	10-03-2006 14:40	54,3	47,0
21,250	18-01-2006 13:43	2550,7	2012,4	10-03-2006 14:40	52,1	45,5
21,267	18-01-2006 13:43	2517,9	1891,2	10-03-2006 14:40	60,3	54,8
21,283	18-01-2006 13:43	2527,4	1941,3	10-03-2006 14:40	65,9	60,1
21,300	18-01-2006 13:43	2518,1	1966,6	10-03-2006 14:40	34,1	28,9
21,317	18-01-2006 13:43	2536,7	1908,5	10-03-2006 14:40	36,7	32,7
21,333	18-01-2006 13:43	2561,5	2111,4	10-03-2006 14:40	41	36,2
21,350	18-01-2006 13:43	2555,1	2202,2	10-03-2006 14:40	44,4	37,3
21,367	18-01-2006 13:43	2587,8	2125,3	10-03-2006 14:40	52,6	48,8
21,383	18-01-2006 13:43	2587,4	1942,6	10-03-2006 14:40	30,4	26,1
21,400	18-01-2006 13:43	2596,1	2004,7	10-03-2006 14:40	30,2	27,1
21,417	18-01-2006 13:43	2623,4	2204,6	10-03-2006 14:40	30,6	25,3
21,433	18-01-2006 13:43	2617,9	1969,2	10-03-2006 14:40	28,7	24,6
21,450	18-01-2006 13:43	2652,1	2136,5	10-03-2006 14:40	31,5	27,4
21,467	18-01-2006 13:43	2630,5	2169,4	10-03-2006 14:40	27,5	24,3
21,483	18-01-2006 13:43	2658,7	2291,9	10-03-2006 14:40	32,9	30,3
21,500	18-01-2006 13:43	2674,9	2230,9	10-03-2006 14:40	34,9	32,0
21,517	18-01-2006 13:43	2658,2	2226,4	10-03-2006 14:40	39,2	34,7
21,533	18-01-2006 13:43	2638,9	2083,8	10-03-2006 14:40	38,9	32,7
21,550	18-01-2006 13:43	2601,2	2023,3	10-03-2006 14:40	69,1	64,6
21,567	18-01-2006 13:43	2594,9	2090,4	10-03-2006 14:40	75,3	70,6
21,583	18-01-2006 13:43	2622,4	2186,1	10-03-2006 14:40	61,8	55,1
21,600	18-01-2006 13:43	2610,3	2165,7	10-03-2006 14:40	45,6	42,1
21,617	18-01-2006 13:43	2603,2	1965,0	10-03-2006 14:40	38,9	32,3
21,633	18-01-2006 13:43	2730,7	2235,1	10-03-2006 14:40	46,8	40,6
21,650	18-01-2006 13:43	2721,3	2154,5	10-03-2006 14:40	64	58,8
21,667	18-01-2006 13:43	2719,7	2266,5	10-03-2006 14:40	47,9	40,5
21,683	18-01-2006 13:43	2730,9	2107,7	10-03-2006 14:40	39,7	35,1
21,700	18-01-2006 13:43	2742,8	2259,8	10-03-2006 14:40	33,6	30,2
21,717	18-01-2006 13:43	2742,3	2121,8	10-03-2006 14:40	34,7	29,8
21,733	18-01-2006 13:43	2741,1	2365,2	10-03-2006 14:40	55,6	53,0
21,750	18-01-2006 13:43	2758,0	2382,6	10-03-2006 14:40	55,7	49,6
21,767	18-01-2006 13:43	2743,9	2305,8	10-03-2006 14:40	46,6	41,7
21,783	18-01-2006 13:43	2728,0	2207,9	10-03-2006 14:40	68,8	62,2
21,800	18-01-2006 13:43	2718,4	2201,1	10-03-2006 14:40	73,2	67,8
21,817	18-01-2006 13:43	2713,1	2307,0	10-03-2006 14:40	81,1	74,6
21,833	18-01-2006 13:43	2711,9	2201,6	10-03-2006 14:40	72,4	65,9
21,850	18-01-2006 13:43	2703,5	2076,1	10-03-2006 14:40	71,4	68,4
21,867	18-01-2006 13:43	2692,6	2296,2	10-03-2006 14:40	86,3	81,7
21,883	18-01-2006 13:43	2692,8	2070,4	10-03-2006 14:40	62,4	55,7
21,900	18-01-2006 13:43	2696,6	2151,7	10-03-2006 14:40	55,7	49,6
21,917	18-01-2006 13:43	2692,2	2297,0	10-03-2006 14:40	65,8	61,4
21,933	18-01-2006 13:43	2692,3	2242,1	10-03-2006 14:40	93,2	89,6
21,950	18-01-2006 13:43	2688,3	2117,2	10-03-2006 14:40	58,9	51,4
21,967	18-01-2006 13:43	2682,6	2074,8	10-03-2006 14:40	61,7	57,3
21,983	18-01-2006 13:43	2685,7	2238,8	10-03-2006 14:40	74,5	70,2
22,000	18-01-2006 13:43	2687,3	2218,7	10-03-2006 14:40	130,4	127,3

3. Tabla de Datos 27 de Abril – 21 de Junio 2006

Km referencial	MEDICIÓN DESPUES DE LA APLICACIÓN			MEDICIÓN DESPUES DE LA APLICACIÓN		
	Medición 27/04	PM10 27/04	PM2,5 27/04	Medición 21/06	PM10 21/06	PM2,5 21/06
18,000	27-04-2006 18:31:50	650,6	616,9	21-06-2006 16:15:50	525,7	422,6
18,017	27-04-2006 18:31:51	754,6	718,9	21-06-2006 16:15:51	651,5	521,8
18,033	27-04-2006 18:31:52	844,3	806,8	21-06-2006 16:15:52	703,3	585,5
18,050	27-04-2006 18:31:53	942,3	897,6	21-06-2006 16:15:53	776,1	636,3
18,067	27-04-2006 18:31:54	1285,1	1220,1	21-06-2006 16:15:54	1105,1	898,8
18,083	27-04-2006 18:31:55	1546,8	1465,8	21-06-2006 16:15:55	1387,9	1132,0
18,100	27-04-2006 18:31:56	2084,1	1943,8	21-06-2006 16:15:56	1907,0	1539,3
18,117	27-04-2006 18:31:57	2426,1	2228,7	21-06-2006 16:15:57	2260,7	1820,0
18,133	27-04-2006 18:31:58	1351,7	1267,8	21-06-2006 16:15:58	1264,3	1036,4
18,150	27-04-2006 18:31:59	654	617,4	21-06-2006 16:15:59	611,2	507,2
18,167	27-04-2006 18:32:00	352,9	337,7	21-06-2006 16:16:00	562,0	453,8
18,183	27-04-2006 18:32:01	224	211,9	21-06-2006 16:16:01	565,3	465,7
18,200	27-04-2006 18:32:02	186,7	174,4	21-06-2006 16:16:02	562,7	470,5
18,217	27-04-2006 18:32:03	153,9	144,3	21-06-2006 16:16:03	559,7	463,8
18,233	27-04-2006 18:32:04	129,7	121,5	21-06-2006 16:16:04	564,9	459,8
18,250	27-04-2006 18:32:05	140,7	128,1	21-06-2006 16:16:05	560,4	468,3
18,267	27-04-2006 18:32:06	135,5	122,8	21-06-2006 16:16:06	566,6	462,9
18,283	27-04-2006 18:32:07	116,4	109,3	21-06-2006 16:16:07	428,6	344,1
18,300	27-04-2006 18:32:08	100,2	94,9	21-06-2006 16:16:08	566,6	471,7
18,317	27-04-2006 18:32:09	95,7	92,5	21-06-2006 16:16:09	562,6	474,3
18,333	27-04-2006 18:32:10	93,1	90,2	21-06-2006 16:16:10	583,8	467,9
18,350	27-04-2006 18:32:11	97,4	92,7	21-06-2006 16:16:11	576,6	468,1
18,367	27-04-2006 18:32:12	114,6	107,2	21-06-2006 16:16:12	578,3	476,7
18,383	27-04-2006 18:32:13	103,4	94,6	21-06-2006 16:16:13	580,4	489,6
18,400	27-04-2006 18:32:14	96	90,9	21-06-2006 16:16:14	582,0	473,8
18,417	27-04-2006 18:32:15	93,1	89,6	21-06-2006 16:16:15	513,2	420,7
18,433	27-04-2006 18:32:16	96,1	90,5	21-06-2006 16:16:16	519,1	436,4
18,450	27-04-2006 18:32:17	101,4	96,4	21-06-2006 16:16:17	582,7	476,9
18,467	27-04-2006 18:32:18	96,9	91,3	21-06-2006 16:16:18	585,6	480,0
18,483	27-04-2006 18:32:19	98	92,1	21-06-2006 16:16:19	579,8	473,9
18,500	27-04-2006 18:32:20	93,3	87,6	21-06-2006 16:16:20	598,4	497,7
18,517	27-04-2006 18:32:21	95,9	90,3	21-06-2006 16:16:21	595,1	498,0
18,533	27-04-2006 18:32:22	97,5	92,8	21-06-2006 16:16:22	600,5	481,4
18,550	27-04-2006 18:32:23	101,3	96,8	21-06-2006 16:16:23	597,4	494,6
18,567	27-04-2006 18:32:24	88,2	84,6	21-06-2006 16:16:24	569,1	459,6
18,583	27-04-2006 18:32:25	93,4	89,8	21-06-2006 16:16:25	600,1	505,9
18,600	27-04-2006 18:32:26	91,2	88	21-06-2006 16:16:26	603,4	497,2
18,617	27-04-2006 18:32:27	98,9	95,6	21-06-2006 16:16:27	603,9	508,3
18,633	27-04-2006 18:32:28	93,5	90,6	21-06-2006 16:16:28	603,7	509,7
18,650	27-04-2006 18:32:29	102	98,2	21-06-2006 16:16:29	605,0	491,6
18,667	27-04-2006 18:32:30	99,1	94,6	21-06-2006 16:16:30	622,4	507,8
18,683	27-04-2006 18:32:31	103,1	98,6	21-06-2006 16:16:31	622,7	513,4
18,700	27-04-2006 18:32:32	103,2	99,7	21-06-2006 16:16:32	614,3	514,3
18,717	27-04-2006 18:32:33	120,7	112,8	21-06-2006 16:16:33	614,5	516,3
18,733	27-04-2006 18:32:34	108,8	105,6	21-06-2006 16:16:34	607,4	509,7
18,750	27-04-2006 18:32:35	99,6	96,5	21-06-2006 16:16:35	624,7	512,3
18,767	27-04-2006 18:32:36	98,8	95,5	21-06-2006 16:16:36	616,4	511,3
18,783	27-04-2006 18:32:37	107,6	104,1	21-06-2006 16:16:37	623,0	524,3
18,800	27-04-2006 18:32:38	106,5	103	21-06-2006 16:16:38	623,9	522,8
18,817	27-04-2006 18:32:39	104,6	101,2	21-06-2006 16:16:39	621,5	518,3
18,833	27-04-2006 18:32:40	105,5	102,9	21-06-2006 16:16:40	640,9	529,9
18,850	27-04-2006 18:32:41	98,1	96	21-06-2006 16:16:41	724,2	598,0
18,867	27-04-2006 18:32:42	97,5	93,5	21-06-2006 16:16:42	743,6	607,9
18,883	27-04-2006 18:32:43	85	82,7	21-06-2006 16:16:43	634,7	517,9
18,900	27-04-2006 18:33:00	88,2	86,6	21-06-2006 16:16:44	642,6	530,4
18,917	27-04-2006 18:33:01	86,6	84,5	21-06-2006 16:16:45	643,2	524,6
18,933	27-04-2006 18:33:02	84,6	80,7	21-06-2006 16:16:46	638,4	521,4
18,950	27-04-2006 18:33:03	80,6	79,1	21-06-2006 16:16:47	632,7	508,6
18,967	27-04-2006 18:33:04	81,7	79,9	21-06-2006 16:16:48	640,1	514,9
18,983	27-04-2006 18:33:05	96,3	94,5	21-06-2006 16:16:49	632,7	525,5
19,000	27-04-2006 18:33:06	97,8	95,2	21-06-2006 16:16:50	627,3	510,3
19,017	27-04-2006 18:33:07	111	107,7	21-06-2006 16:16:51	647,8	530,9
19,033	27-04-2006 18:33:08	124,7	122	21-06-2006 16:16:52	621,5	512,1
19,050	27-04-2006 18:33:09	122,8	120,4	21-06-2006 16:16:53	611,0	511,4
19,067	27-04-2006 18:33:10	113,6	109,7	21-06-2006 16:16:54	611,6	495,4

Andrés Marcelo García Ruiz – Estudio de Métodos de Supresión de Polvo en la Región de Los Ríos

19,083	27-04-2006 18:33:11	111,8	108,4	21-06-2006 16:16:55	602,9	490,5
19,100	27-04-2006 18:33:12	104,4	101,1	21-06-2006 16:16:56	605,4	485,0
19,117	27-04-2006 18:33:13	107,1	104,9	21-06-2006 16:16:57	593,0	477,4
19,133	27-04-2006 18:33:14	120,7	116,9	21-06-2006 16:16:58	563,1	462,5
19,150	27-04-2006 18:33:15	127,2	122,6	21-06-2006 16:16:59	581,1	476,5
19,167	27-04-2006 18:33:16	115,7	110,6	21-06-2006 16:17:00	584,9	487,8
19,183	27-04-2006 18:33:17	109,3	106,4	21-06-2006 16:17:01	569,5	466,8
19,200	27-04-2006 18:33:18	112,1	109,4	21-06-2006 16:17:02	577,4	476,9
19,217	27-04-2006 18:33:35	108,7	103,1	21-06-2006 16:17:03	559,2	453,0
19,233	27-04-2006 18:33:36	104,4	98,4	21-06-2006 16:17:04	562,9	473,0
19,250	27-04-2006 18:33:37	106	101,1	21-06-2006 16:17:05	557,5	460,7
19,267	27-04-2006 18:33:38	104,2	101,5	21-06-2006 16:17:06	554,3	460,7
19,283	27-04-2006 18:33:39	104,2	101,2	21-06-2006 16:17:07	526,8	441,3
19,300	27-04-2006 18:33:40	110,7	107	21-06-2006 16:17:08	539,1	432,2
19,317	27-04-2006 18:33:41	101,4	97,7	21-06-2006 16:17:09	538,6	445,3
19,333	27-04-2006 18:33:42	97,9	94,9	21-06-2006 16:17:10	535,5	446,7
19,350	27-04-2006 18:33:43	105,2	101,4	21-06-2006 16:17:11	530,4	444,0
19,367	27-04-2006 18:33:44	113	108,9	21-06-2006 16:17:12	522,1	431,2
19,383	27-04-2006 18:33:45	104,9	101,6	21-06-2006 16:17:13	514,6	428,4
19,400	27-04-2006 18:33:46	106,7	102,9	21-06-2006 16:17:14	512,4	432,8
19,417	27-04-2006 18:33:47	102,9	99	21-06-2006 16:17:15	480,5	406,3
19,433	27-04-2006 18:33:48	106,3	102,4	21-06-2006 16:17:16	507,7	431,1
19,450	27-04-2006 18:33:49	114,4	110	21-06-2006 16:17:17	496,3	407,2
19,467	27-04-2006 18:33:50	121,8	117,6	21-06-2006 16:17:18	497,9	418,6
19,483	27-04-2006 18:33:51	126,7	120,7	21-06-2006 16:17:19	490,1	416,6
19,500	27-04-2006 18:33:52	112,5	108,2	21-06-2006 16:17:20	485,2	402,4
19,517	27-04-2006 18:33:53	130,4	122,5	21-06-2006 16:17:21	476,3	392,0
19,533	27-04-2006 18:33:54	166,1	153,6	21-06-2006 16:17:22	483,4	408,3
19,550	27-04-2006 18:33:55	146,7	140,5	21-06-2006 16:17:23	464,0	379,5
19,567	27-04-2006 18:33:56	123,9	119	21-06-2006 16:17:24	473,8	393,7
19,583	27-04-2006 18:33:57	111,9	108,2	21-06-2006 16:17:25	460,2	387,1
19,600	27-04-2006 18:33:58	126,3	123,4	21-06-2006 16:17:26	464,9	373,0
19,617	27-04-2006 18:33:59	137,3	132,3	21-06-2006 16:17:27	453,8	378,8
19,633	27-04-2006 18:34:00	136,1	130,6	21-06-2006 16:17:28	420,0	359,0
19,650	27-04-2006 18:34:01	133,5	128,6	21-06-2006 16:17:29	439,1	361,9
19,667	27-04-2006 18:34:02	141,3	135,3	21-06-2006 16:17:30	443,3	358,6
19,683	27-04-2006 18:34:03	153,3	145,5	21-06-2006 16:17:31	435,7	359,4
19,700	27-04-2006 18:34:04	128,4	123,5	21-06-2006 16:17:33	436,9	355,9
19,717	27-04-2006 18:34:05	135,9	118,8	21-06-2006 16:17:34	418,8	345,9
19,733	27-04-2006 18:34:06	145	117,2	21-06-2006 16:17:35	416,8	353,7
19,750	27-04-2006 18:34:07	118	109,8	21-06-2006 16:17:36	401,4	347,3
19,767	27-04-2006 18:34:08	120,9	115,9	21-06-2006 16:17:37	417,7	346,8
19,783	27-04-2006 18:34:09	127,4	122,1	21-06-2006 16:17:38	407,5	326,7
19,800	27-04-2006 18:34:10	151,1	146,9	21-06-2006 16:17:39	405,3	339,6
19,817	27-04-2006 18:34:11	133,1	130,1	21-06-2006 16:17:40	399,4	329,8
19,833	27-04-2006 18:34:12	103,5	101,1	21-06-2006 16:17:41	392,5	314,2
19,850	27-04-2006 18:34:13	106,2	103,7	21-06-2006 16:17:42	385,0	314,2
19,867	27-04-2006 18:34:14	100,7	98,7	21-06-2006 16:17:43	388,2	312,8
19,883	27-04-2006 18:34:15	94,5	92,2	21-06-2006 16:17:44	372,1	321,4
19,900	27-04-2006 18:34:16	99,6	97,1	21-06-2006 16:17:45	379,6	308,7
19,917	27-04-2006 18:34:17	129,3	126,1	21-06-2006 16:17:46	338,9	274,2
19,933	27-04-2006 18:34:18	177,7	173,1	21-06-2006 16:17:47	362,1	292,0
19,950	27-04-2006 18:34:19	166,8	162,1	21-06-2006 16:17:48	361,2	296,9
19,967	27-04-2006 18:34:20	128,2	123,6	21-06-2006 16:17:49	355,4	292,4
19,983	27-04-2006 18:34:21	125,4	123	21-06-2006 16:17:50	353,4	283,5
20,000	27-04-2006 18:34:22	112	108,8	21-06-2006 16:17:51	352,2	308,3
20,017	27-04-2006 18:34:23	110,6	107,7	21-06-2006 16:17:52	356,1	286,6
20,033	27-04-2006 18:34:24	128,2	122,6	21-06-2006 16:17:53	361,0	309,8
20,050	27-04-2006 18:34:25	181,3	173,7	21-06-2006 16:17:54	338,5	273,4
20,067	27-04-2006 18:34:26	209,2	197,8	21-06-2006 16:17:55	356,4	306,4
20,083	27-04-2006 18:34:27	203	193,5	21-06-2006 16:17:56	355,0	287,6
20,100	27-04-2006 18:34:28	216,2	206,1	21-06-2006 16:17:57	351,0	292,6
20,117	27-04-2006 18:34:29	201,4	191,7	21-06-2006 16:17:58	362,0	310,6
20,133	27-04-2006 18:34:30	197,3	188,7	21-06-2006 16:17:59	358,1	309,8
20,150	27-04-2006 18:34:31	199,4	191,1	21-06-2006 16:18:00	360,2	299,1
20,167	27-04-2006 18:34:32	191,1	179,7	21-06-2006 16:18:01	351,3	290,0
20,183	27-04-2006 18:34:33	177	169,2	21-06-2006 16:18:02	357,9	305,8
20,200	27-04-2006 18:34:34	141,7	136,2	21-06-2006 16:18:03	334,3	287,8
20,217	27-04-2006 18:34:35	119,3	116,3	21-06-2006 16:18:04	356,7	296,0
20,233	27-04-2006 18:34:36	111,3	109,1	21-06-2006 16:18:05	361,1	302,8
20,250	27-04-2006 18:34:37	247,2	238	21-06-2006 16:18:06	356,7	289,5
20,267	27-04-2006 18:34:38	465,4	445,4	21-06-2006 16:18:07	351,5	305,3

Andrés Marcelo García Ruiz – Estudio de Métodos de Supresión de Polvo en la Región de Los Ríos

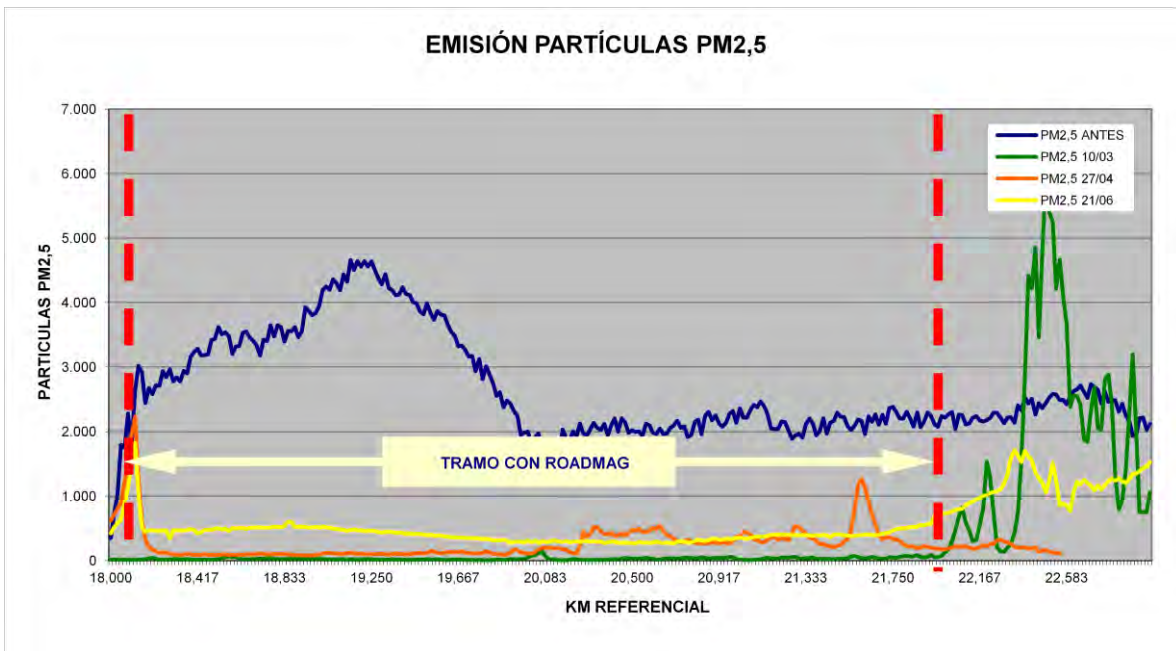
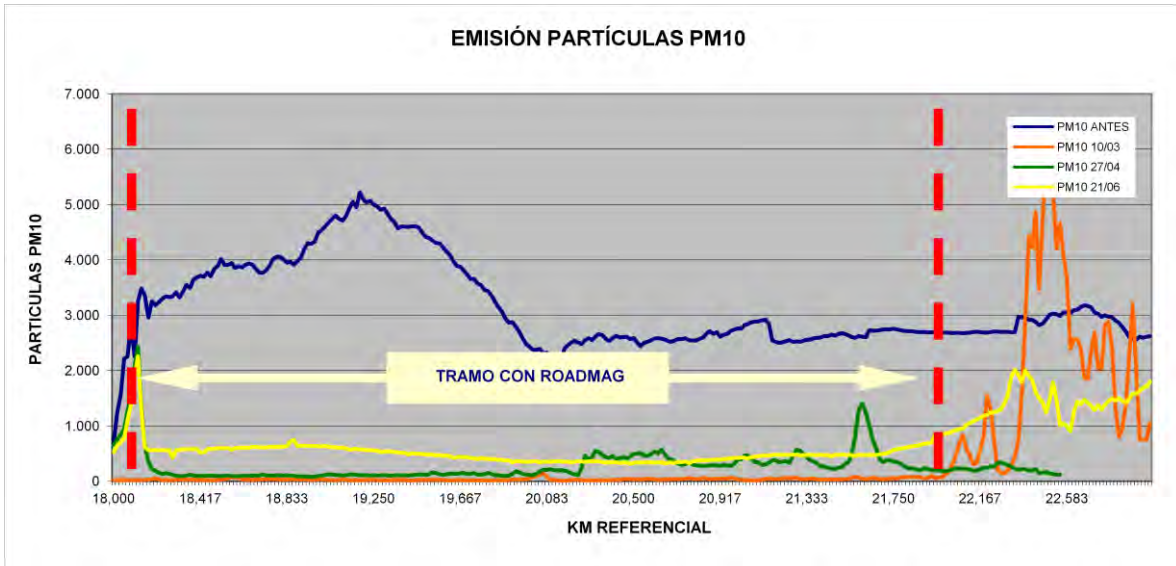
20,283	27-04-2006 18:34:55	386	369,7	21-06-2006 16:18:08	358,0	302,6
20,300	27-04-2006 18:34:56	438,1	418,9	21-06-2006 16:18:09	361,5	294,0
20,317	27-04-2006 18:34:57	548,1	523,6	21-06-2006 16:18:10	357,9	303,4
20,333	27-04-2006 18:34:58	528	507,4	21-06-2006 16:18:11	361,0	289,9
20,350	27-04-2006 18:34:59	471,1	451	21-06-2006 16:18:12	345,0	299,6
20,367	27-04-2006 18:35:00	430,8	414,2	21-06-2006 16:18:13	335,7	271,6
20,383	27-04-2006 18:35:01	423,5	407,2	21-06-2006 16:18:14	342,2	283,5
20,400	27-04-2006 18:35:02	453,4	435,5	21-06-2006 16:18:15	342,1	294,1
20,417	27-04-2006 18:35:03	397	379,2	21-06-2006 16:18:16	342,4	296,1
20,433	27-04-2006 18:35:04	417,1	397,7	21-06-2006 16:18:17	332,3	272,7
20,450	27-04-2006 18:35:05	442,9	424,9	21-06-2006 16:18:18	333,9	285,2
20,467	27-04-2006 18:35:06	408	390,4	21-06-2006 16:18:19	343,2	275,1
20,483	27-04-2006 18:35:07	445,1	425,7	21-06-2006 16:18:20	309,9	273,5
20,500	27-04-2006 18:35:08	500,7	480,1	21-06-2006 16:18:21	336,5	271,8
20,517	27-04-2006 18:35:09	496,2	471,9	21-06-2006 16:18:22	334,3	268,3
20,533	27-04-2006 18:35:10	515,8	492,6	21-06-2006 16:18:23	337,8	295,6
20,550	27-04-2006 18:35:11	465,2	446	21-06-2006 16:18:24	340,9	279,8
20,567	27-04-2006 18:35:12	459,6	440	21-06-2006 16:18:25	340,3	278,4
20,583	27-04-2006 18:35:13	484,7	463,5	21-06-2006 16:18:26	340,7	276,6
20,600	27-04-2006 18:35:14	534,3	510,3	21-06-2006 16:18:27	338,0	278,6
20,617	27-04-2006 18:35:15	503,3	481,4	21-06-2006 16:18:28	340,0	296,7
20,633	27-04-2006 18:35:16	575	546,7	21-06-2006 16:18:29	343,1	274,7
20,650	27-04-2006 18:35:17	491,7	465,5	21-06-2006 16:18:30	317,4	275,0
20,667	27-04-2006 18:35:18	410,4	394,6	21-06-2006 16:18:31	333,9	279,1
20,683	27-04-2006 18:35:19	393,2	375,6	21-06-2006 16:18:32	335,6	275,2
20,700	27-04-2006 18:35:20	348,1	335,7	21-06-2006 16:18:33	332,5	266,8
20,717	27-04-2006 18:35:21	319,5	307	21-06-2006 16:18:34	347,1	295,4
20,733	27-04-2006 18:35:22	296,5	287	21-06-2006 16:18:35	346,5	304,7
20,750	27-04-2006 18:35:23	310,4	300	21-06-2006 16:18:36	356,7	295,1
20,767	27-04-2006 18:35:24	339,1	327,1	21-06-2006 16:18:37	327,5	276,9
20,783	27-04-2006 18:35:25	299,8	286,5	21-06-2006 16:18:38	356,9	287,4
20,800	27-04-2006 18:35:26	288,8	278,5	21-06-2006 16:18:39	369,2	303,3
20,817	27-04-2006 18:35:27	277,2	266,4	21-06-2006 16:18:40	371,7	322,9
20,833	27-04-2006 18:35:28	276,2	267	21-06-2006 16:18:41	379,3	312,1
20,850	27-04-2006 18:35:29	283,9	275,8	21-06-2006 16:18:42	377,1	306,1
20,867	27-04-2006 18:35:30	281,5	270,9	21-06-2006 16:18:43	383,3	313,3
20,883	27-04-2006 18:35:31	292,6	281,7	21-06-2006 16:18:44	385,8	335,6
20,900	27-04-2006 18:35:32	284,8	277,4	21-06-2006 16:18:45	391,9	340,6
20,917	27-04-2006 18:35:33	277	268,4	21-06-2006 16:18:46	387,2	324,3
20,933	27-04-2006 18:35:34	297,8	286,7	21-06-2006 16:18:47	399,6	321,3
20,950	27-04-2006 18:35:35	288,7	277,8	21-06-2006 16:18:48	405,9	341,5
20,967	27-04-2006 18:35:36	275,9	264,4	21-06-2006 16:18:49	412,0	329,6
20,983	27-04-2006 18:35:37	315,3	302,4	21-06-2006 16:18:50	422,6	340,7
21,000	27-04-2006 18:35:38	389	374,5	21-06-2006 16:18:51	423,5	353,0
21,017	27-04-2006 18:35:39	396,4	378,3	21-06-2006 16:18:52	427,1	354,7
21,033	27-04-2006 18:35:40	464,5	440,8	21-06-2006 16:18:53	427,9	345,5
21,050	27-04-2006 18:35:41	465	440,2	21-06-2006 16:18:54	405,7	333,8
21,067	27-04-2006 18:35:42	413	393,6	21-06-2006 16:18:55	436,9	357,9
21,083	27-04-2006 18:35:43	344	330,6	21-06-2006 16:18:56	440,8	367,4
21,100	27-04-2006 18:35:44	346,4	329,8	21-06-2006 16:18:57	455,1	374,1
21,117	27-04-2006 18:35:45	295,9	285,5	21-06-2006 16:18:58	457,8	370,9
21,133	27-04-2006 18:35:46	295,3	282,1	21-06-2006 16:18:59	465,1	377,4
21,150	27-04-2006 18:35:47	337,3	322,5	21-06-2006 16:19:00	465,0	379,3
21,167	27-04-2006 18:35:48	375,3	360,7	21-06-2006 16:19:01	473,1	400,9
21,183	27-04-2006 18:35:49	383,3	364,1	21-06-2006 16:19:02	479,2	400,6
21,200	27-04-2006 18:35:50	340,8	325,8	21-06-2006 16:19:03	475,8	405,3
21,217	27-04-2006 18:35:51	357,3	345,4	21-06-2006 16:19:04	475,9	407,5
21,233	27-04-2006 18:35:52	360,8	348,1	21-06-2006 16:19:05	477,0	398,5
21,250	27-04-2006 18:35:53	329,7	316,5	21-06-2006 16:19:06	474,5	399,3
21,267	27-04-2006 18:35:54	453,7	430,7	21-06-2006 16:19:07	475,2	396,6
21,283	27-04-2006 18:35:55	569,3	538,5	21-06-2006 16:19:08	479,3	399,8
21,300	27-04-2006 18:35:56	552,5	522,2	21-06-2006 16:19:09	469,0	393,7
21,317	27-04-2006 18:35:57	498,4	468,5	21-06-2006 16:19:10	471,3	400,4
21,333	27-04-2006 18:35:58	433,1	412,3	21-06-2006 16:19:11	472,5	392,3
21,350	27-04-2006 18:35:59	374,5	355,3	21-06-2006 16:19:12	475,4	394,2
21,367	27-04-2006 18:36:00	359,5	343	21-06-2006 16:19:13	472,3	386,2
21,383	27-04-2006 18:36:01	319,1	305,4	21-06-2006 16:19:14	472,6	396,1
21,400	27-04-2006 18:36:02	263,9	253,5	21-06-2006 16:19:15	475,0	387,4
21,417	27-04-2006 18:36:03	264,4	255	21-06-2006 16:19:16	473,0	394,6
21,433	27-04-2006 18:36:04	239,6	230,7	21-06-2006 16:19:17	473,1	393,0
21,450	27-04-2006 18:36:05	230,8	222,5	21-06-2006 16:19:18	446,0	361,4
21,467	27-04-2006 18:36:06	220,1	211,9	21-06-2006 16:19:19	478,3	402,2

21,483	27-04-2006 18:36:07	244,6	233,6	21-06-2006 16:19:20	475,4	407,0
21,500	27-04-2006 18:36:08	249,4	239,7	21-06-2006 16:19:21	479,1	407,3
21,517	27-04-2006 18:36:09	314,3	301,9	21-06-2006 16:19:22	474,4	389,9
21,533	27-04-2006 18:36:10	345,3	330,9	21-06-2006 16:19:23	473,5	390,6
21,550	27-04-2006 18:36:11	504,8	478,4	21-06-2006 16:19:24	473,8	380,1
21,567	27-04-2006 18:36:12	843,9	783,2	21-06-2006 16:19:25	456,3	383,1
21,583	27-04-2006 18:36:13	1300,4	1177,5	21-06-2006 16:19:26	478,9	391,1
21,600	27-04-2006 18:36:14	1397,6	1263,1	21-06-2006 16:19:27	472,7	396,8
21,617	27-04-2006 18:36:15	1236,8	1137,9	21-06-2006 16:19:28	471,6	403,9
21,633	27-04-2006 18:36:16	1000,2	925,2	21-06-2006 16:19:29	474,0	403,4
21,650	27-04-2006 18:36:17	751,5	708,6	21-06-2006 16:19:30	474,9	399,3
21,667	27-04-2006 18:36:18	591,5	561,6	21-06-2006 16:19:31	475,1	391,8
21,683	27-04-2006 18:36:19	399,7	379,6	21-06-2006 16:19:32	487,2	398,1
21,700	27-04-2006 18:36:20	346,6	331,3	21-06-2006 16:19:33	499,6	422,6
21,717	27-04-2006 18:36:21	381,3	365,2	21-06-2006 16:19:34	504,8	426,6
21,733	27-04-2006 18:36:22	377,4	361,2	21-06-2006 16:19:35	530,1	435,3
21,750	27-04-2006 18:36:23	359,1	340,8	21-06-2006 16:19:36	569,2	469,0
21,767	27-04-2006 18:36:24	342,6	326,4	21-06-2006 16:19:37	578,7	488,1
21,783	27-04-2006 18:36:25	325,3	310,2	21-06-2006 16:19:38	587,6	497,1
21,800	27-04-2006 18:36:26	274,8	259,9	21-06-2006 16:19:39	599,3	506,3
21,817	27-04-2006 18:36:27	233,3	223,8	21-06-2006 16:19:40	611,4	503,0
21,833	27-04-2006 18:36:28	229,7	218,3	21-06-2006 16:19:41	631,1	523,5
21,850	27-04-2006 18:36:29	232,8	221,6	21-06-2006 16:19:42	638,4	522,1
21,867	27-04-2006 18:36:30	197,3	189,8	21-06-2006 16:19:43	637,0	529,3
21,883	27-04-2006 18:36:31	210,7	202,2	21-06-2006 16:19:44	663,6	555,6
21,900	27-04-2006 18:36:32	237,1	227,4	21-06-2006 16:19:45	679,0	546,4
21,917	27-04-2006 18:36:33	219,3	211,3	21-06-2006 16:19:46	686,8	568,2
21,933	27-04-2006 18:36:34	204,3	196,7	21-06-2006 16:19:47	697,7	573,3
21,950	27-04-2006 18:36:35	194,3	187,9	21-06-2006 16:19:48	848,2	688,0
21,967	27-04-2006 18:36:36	194,7	187,6	21-06-2006 16:19:49	849,2	688,6
21,983	27-04-2006 18:36:37	185,8	180,2	21-06-2006 16:19:50	849,1	721,8
22,000	27-04-2006 18:36:38	182,2	176,1	21-06-2006 16:19:51	859,1	730,3

4. Resultados Promedios

	Antes de Bischofita 18-ene-06	Después de Bischofita			% abatimiento al 10-Mar-06	% abatimiento al 27-Abr-06	% abatimiento al 21-Jun-06
		10-mar-06	27-abr-06	21-jun-06			
PM10	3227,6	36,4	133,0	513,2	98,9%	95,9%	84,1%
PM2,5	2731,6	31,3	128,0	424,6	98,9%	95,3%	84,5%

5. Graficas de Efectividad del Producto



Anexo N°2: Proyecciones de Precios Futuros.

1. Ajuste por Mínimos Cuadrados.

A lo largo de la profesión de un ingeniero, un físico, un matemático, frecuentemente se presentan ocasiones en las que deben ajustar curvas a un conjunto de datos representados por puntos. Una de estas metodologías de ajustes, corresponde al denominado “Ajuste por Mínimos Cuadrados” el cual consiste en cuantificar alguna Relación Funcional entre dos o más variables, donde una variable depende de la otra variable.

En el estudio de la relación funcional entre dos variables poblacionales, una variable x , llamada independiente, explicativa o de predicción y una variable y , llamada dependiente o variable respuesta, presenta la siguiente notación: $y = bx + a$

Donde:

a: Es el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta con el eje Y.

b: Es el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \text{ y } a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Con el valor calculado de “b”, podemos obtener “a”, de la forma: $a = y - bx$

EJEMPLO 1: Ajustese una línea recta a los valores x e y de las primeras dos columnas de la siguiente tabla:

x_i	y_i	$x_i y_i$	$(y_i - \bar{Y})^2$	$(y_i - a - bx_i)^2$
1	0.5	0.5	8.5765	0.1687
2	2.5	5.0	0.8622	0.5625
3	2.0	6.0	2.0408	0.3473
4	4.0	16.0	0.3265	0.3265
5	3.5	17.5	0.0051	0.5896
6	6.0	36.0	6.6122	0.7972
7	5.5	38.5	4.2908	0.1993
$\sum \rightarrow 28$	24	119.5	22.7143	2.9911

Se pueden calcular las siguientes cantidades:

$$n = 7 \quad \sum x_i y_i = 119.5 \quad \sum x_i^2 = 140 \quad \sum x_i = 28$$

$$\bar{x} = \frac{28}{7} = 4 \quad \sum y_i = 24 \quad \bar{y} = \frac{24}{7} = 3.428571429$$

Usando las ecuaciones descritas anteriormente, podemos obtener:

$$b = \frac{7 * 119,5 - 28 * 24}{7 * 140 - 28^2} = 0,839285714$$

$$a = 3,428571429 - 0,829285714 * 4 = 0,07142857$$

$$\Rightarrow y = 0,07142857 + 0,829285714x$$

2. Precios Proyectados a 20 años

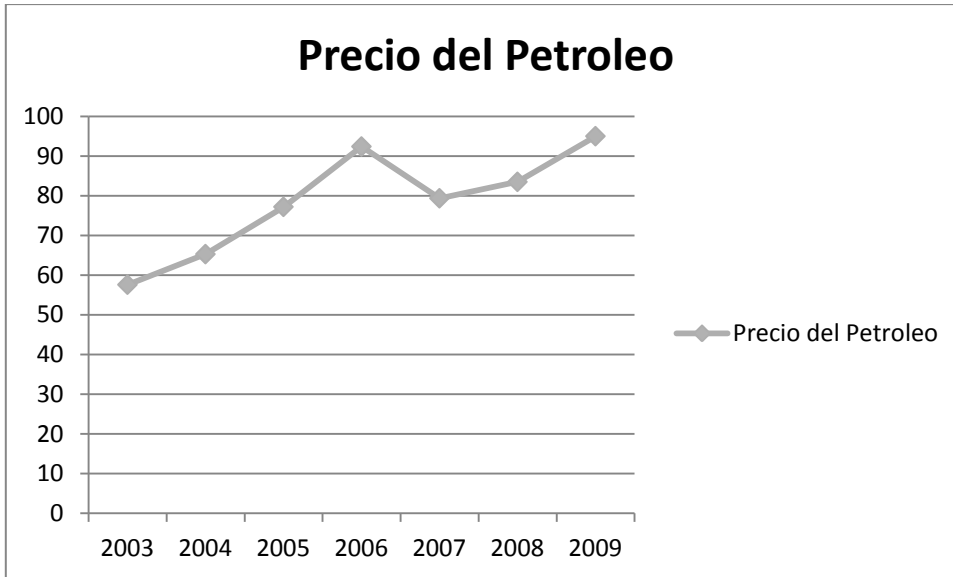
2.1 Precios del Petróleo:

Año (x)	Precio barril (\$US) (y)	x*Y	x ^ 2
2003	32,5	65097,5	4012009
2004	45,2	90580,8	4016016
2005	57,6	115488	4020025
2006	65,3	130991,8	4024036
2007	77,2	154940,4	4028049
2008	92,4	185539,2	4032064
2009	79,36	159434,24	4036081
2010	83,5	167835	4040100
2011	95	191045	4044121
b	7,25866667		
a	-14498,3596		

2.1.1 Proyección de Precios desde 2013 al 2032:

Año	Precio Barril (\$US)	2022	178,66
2012	106,08	2023	185,92
2013	113,34	2024	193,18
2014	120,60	2025	200,44
2015	127,85	2026	207,70
2016	135,11	2027	214,96
2017	142,37	2028	222,22
2018	149,63	2029	229,48
2019	156,89	2030	236,73
2020	164,15	2031	243,99
2021	171,41	2032	251,25

2.1.2 Grafica de Precios.



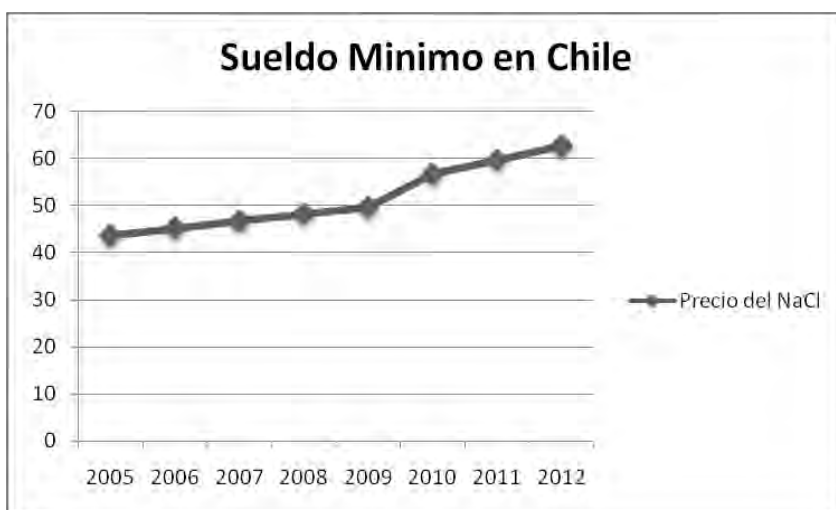
2.2 Precios Mano de Obra

Año	Sueldo min.	x*Y	x ^ 2
2005	120000	240600000	4020025
2006	127500	255765000	4024036
2007	135000	270945000	4028049
2008	144000	289152000	4032064
2009	159000	319431000	4036081
2010	165000	331650000	4040100
2011	172000	345892000	4044121
2012	182000	366184000	4048144
16068	1204500	2419619000	32272620
b	9065,47619		
a	-18057446,4		

2.2.1 Proyección de Precios desde 2013 al 2032:

año	Sueldo min	Hr de trab. Jorn	Hr de trab. Cap
2013	191357,1	10631,0	15710,0
2014	200422,6	11134,6	16454,3
2015	209488,1	11638,2	17198,5
2016	218553,6	12141,9	17942,8
2017	227619,0	12645,5	18687,0
2018	236684,5	13149,1	19431,3
2019	245750,0	13652,8	20175,5
2020	254815,5	14156,4	20919,8
2021	263881,0	14660,1	21664,0
2022	272946,4	15163,7	22408,3
2023	282011,9	15667,3	23152,6
2024	291077,4	16171,0	23896,8
2025	300142,9	16674,6	24641,1
2026	309208,3	17178,2	25385,3
2027	318273,8	17681,9	26129,6
2028	327339,3	18185,5	26873,8
2029	336404,8	18689,2	27618,1
2030	345470,2	19192,8	28362,3
2031	354535,7	19696,4	29106,6
2032	363601,2	20200,1	29850,9

2.2.2 Grafica de Precios.



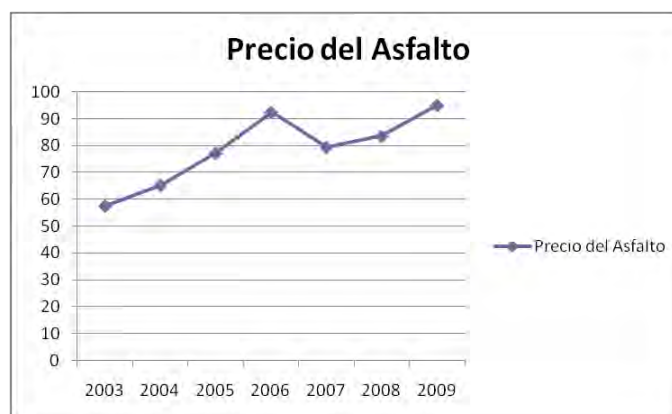
2.3 Precios del Asfalto.

Año	Tonelada (\$US)	x*Y	x ^ 2
2003	142,2	284826,6	4012009
2004	188,46	377673,84	4016016
2005	255,7	512678,5	4020025
2006	302,13	606072,78	4024036
2007	351	704457	4028049
2008	502,29	1008598,32	4032064
2009	383,7	770853,3	4036081
2010	410,63	825366,3	4040100
2011	572,78	1151860,58	4044121
b	47,4165		
a	-94819,4833		

2.3.1 Proyección de Precios desde 2013 al 2032:

Año	Tonelada (\$US)	TSS m2 (\$)
2012	582,51	3800,00
2013	629,93	4109,32
2014	677,35	4418,64
2015	724,76	4727,96
2016	772,18	5037,27
2017	819,60	5346,59
2018	867,01	5655,91
2019	914,43	5965,23
2020	961,85	6274,55
2021	1009,26	6583,87
2022	1056,68	6893,19
2023	1104,10	7202,51
2024	1151,51	7511,82
2025	1198,93	7821,14
2026	1246,35	8130,46
2027	1293,76	8439,78
2028	1341,18	8749,10
2029	1388,60	9058,42
2030	1436,01	9367,74
2031	1483,43	9677,06
2032	1530,84	9986,37

2.3.2 Grafica de Precios.



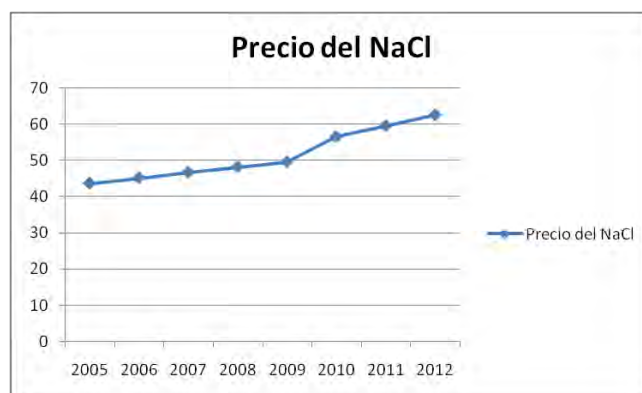
2.4 Precios de NaCl

Año	Kilo de Sal (\$)	x*Y	x ^ 2
2005	43,7	87618,5	4020025
2006	45,2	90671,2	4024036
2007	46,7	93726,9	4028049
2008	48,2	96785,6	4032064
2009	49,6	99646,4	4036081
2010	56,6	113766	4040100
2011	59,6	119855,6	4044121
2012	62,6	125951,2	4048144
b	2,80238095		
a	-5577,05714		

2.4.1 Proyección de Precios desde 2013 al 2032:

año	kilo de sal	en valdivia + 16%
2013	64,14	74,40
2014	66,94	77,65
2015	69,74	80,90
2016	72,54	84,15
2017	75,35	87,40
2018	78,15	90,65
2019	80,95	93,90
2020	83,75	97,15
2021	86,55	100,40
2022	89,36	103,65
2023	92,16	106,91
2024	94,96	110,16
2025	97,76	113,41
2026	100,57	116,66
2027	103,37	119,91
2028	106,17	123,16
2029	108,97	126,41
2030	111,78	129,66
2031	114,58	132,91
2032	117,38	136,16

2.4.2 Grafica de Precios.



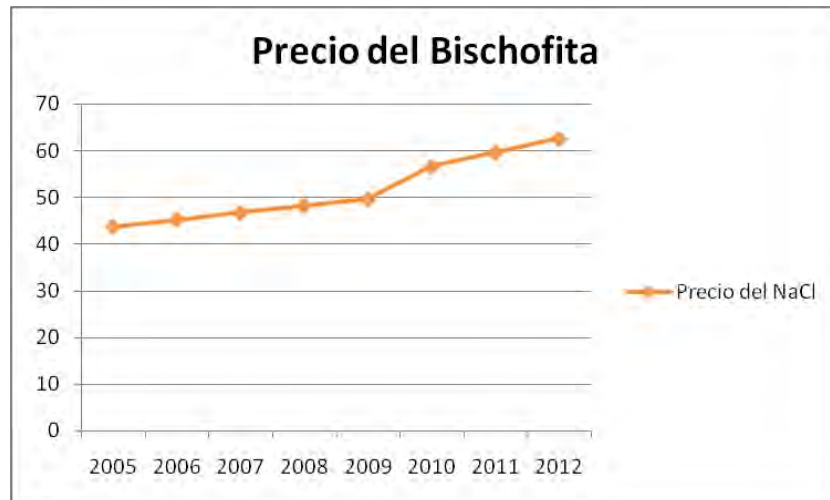
2.5 Precios de la Bischofita

Año	M2 Bisch (\$)	x*Y	x ^ 2
2005	300	601500	4020025
2006	310	621860	4024036
2007	330	662310	4028049
2008	345	692760	4032064
2009	370	743330	4036081
2010	400	804000	4040100
2011	420	844620	4044121
2012	440	885280	4048144
b	21,0119048		
a	-41838,0357		

2.5.1 Proyección de Precios desde 2013 al 2032:

año	kilo de sal
2013	459
2014	480
2015	501
2016	522
2017	543
2018	564
2019	585
2020	606
2021	627
2022	648
2023	669
2024	690
2025	711
2026	732
2027	753
2028	774
2029	795
2030	816
2031	837
2032	858

2.4.2 Grafica de Precios.



2.6 Precios de Arriendo de Maquinarias.


Año	Cargador	Chancadora	Motoniveladora	Aljibe	Rodillo	Transporte
2012	32580	32250	33254	120000	20000	12000
2013	34809	34457	35529	128211	21369	12821
2014	37039	36664	37805	136423	22737	13642
2015	39268	38870	40080	144634	24106	14463
2016	41498	41077	42356	152845	25474	15285
2017	43727	43284	44631	161057	26843	16106
2018	45956	45491	46907	169268	28211	16927
2019	48186	47698	49182	177479	29580	17748
2020	50415	49904	51458	185691	30948	18569
2021	52644	52111	53733	193902	32317	19390
2022	54874	54318	56009	202113	33686	20211
2023	57103	56525	58284	210325	35054	21032
2024	59333	58732	60560	218536	36423	21854
2025	61562	60938	62835	226747	37791	22675
2026	63791	63145	65111	234959	39160	23496
2027	66021	65352	67386	243170	40528	24317
2028	68250	67559	69662	251381	41897	25138
2029	70479	69766	71937	259593	43265	25959
2030	72709	71972	74213	267804	44634	26780
2031	74938	74179	76488	276015	46003	27602
2032	77168	76386	78764	284227	47371	28423

Año	Prep. Subrasante	Imprimación	Reperfilado \$/km	Compactación \$/km
2012	612	1509	50600	122000
2013	654	1612	54062	130348
2014	696	1716	57525	138696
2015	738	1819	60987	147045
2016	780	1922	64450	155393
2017	821	2025	67912	163741
2018	863	2129	71375	172089
2019	905	2232	74837	180437
2020	947	2335	78300	188786
2021	989	2438	81762	197134
2022	1031	2542	85224	205482
2023	1073	2645	88687	213830
2024	1115	2748	92149	222178
2025	1156	2851	95612	230526
2026	1198	2955	99074	238875
2027	1240	3058	102537	247223
2028	1282	3161	105999	255571
2029	1324	3264	109462	263919
2030	1366	3368	112924	272267
2031	1408	3471	116386	280616
2032	1450	3574	119849	288964

Anexo N°3: Pauta de corrección de precios sociales en la evaluación social de proyectos – MIDEPLAN 2012.

El presente Anexo, mostrará los cálculos de los precios sociales para los proyectos de Tratamientos de supresión de polvo con Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio, utilizando un programa en la plataforma Microsoft Excel, desarrollado por MIDEPLAN este año, basándose en la guía “Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos”.

1 Corrección de Precios sociales para Construcción y mantención de Proyecto de supresión de polvo con Cloruro de Sodio.



Secretaría Regional Metropolitana de Desarrollo Social

PAUTA CORRECCIÓN DE PRECIOS SOCIALES EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

Version Julio 2012

I.- MONTO CONSTRUCCION 12.691.067

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS 10.664.762

2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	90,0%	✓	Monto	9.598.286	
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	60,0%	✓	Monto	5.758.972	
		%					
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		30,0%	1.727.691	✓			
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		70,0%	4.031.280	✓			
		Factor de Ajuste T.C.	1,01		COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	1.744.968	
					COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	5.776.248 (A)	
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	40,0%	✓	Monto	3.839.314	
		Tasa Arancelaria Promedio	3,0%		Factor de Ajuste T.C.	1,01	
					COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	3.764.765 (B)	
					COSTO SOCIAL MATERIALES	9.541.013 (A) + (B) = (C)	
2.2	MANO DE OBRA	Porcentaje	10,0%	✓	Monto	1.066.476	
		% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra		
MANO DE OBRA NO CALIFICADA		70,0%	746.533	✓	0,62	462.851	
MANO DE SEMI CALIFICADA		10,0%	106.648	✓	0,68	72.520	
MANO DE OBRA CALIFICADA		20,0%	213.295	✓	0,98	209.029	
					COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	744.400 (D)	
					COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	10.285.413 (C) + (D)	

II - COSTO MANTENCIÓN ANUAL		3.219.940	
1.- SEPARAR SERVICIOS CONTRATADOS DE MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS			
%			
1.1 SERVICIOS CONTRATADOS	30,0%	965.982	
%			
1.2 MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS	70,0%	2.253.958	
2.- AJUSTE DE SERVICIOS CONTRATADOS			
MONTO SERVICIOS CONTRATADOS NETO DE IMPUESTOS (IVA)		811.750	(A)
3.- SEPARAR MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS EN MANO DE OBRA Y MATERIALES E INSUMOS			
3.1 MATERIALES			
Porcentaje	50,0%	V	Monto 1.126.979
MONTO MATERIALES NETO DE IMPUESTOS (IVA)		947.041	
3.1.1 NACIONAL			
Porcentaje	80,0%	V	Monto 757.633
%			
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	80,0%	606.106	V
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	20,0%	151.527	V
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES		612.167	
COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES		763.694	(B)
3.1.2 IMPORTADO			
Porcentaje	20,0%	V	Monto 189.408
Tasa Arancelaria Promedio		3,0%	
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS		185.730	(C)
COSTO SOCIAL MATERIALES		949.424	(B) + (C) = (D)
3.2 MANO DE OBRA			
Porcentaje	50,0%	V	Monto 1.126.979
%			
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	70,0%	788.885	V
MANO DE SEMI CALIFICADA	10,0%	112.698	V
MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	225.396	V
Factor de Corrección		0,62	
Costo Social Mano de Obra		489.109	
Factor de Corrección		0,68	
Costo Social Mano de Obra		76.635	
Factor de Corrección		0,98	
Costo Social Mano de Obra		220.888	
COSTO SOCIAL MANO DE OBRA		786.631	(E)
COSTO SOCIAL MANTENCIÓN		2.547.805	(A) + (D) + (E)

2 Corrección de Precios sociales para Construcción y mantención de Proyecto de supresión de polvo con Cloruro de Magnesio Inicio del Ciclo.



Secretaría Regional Metropolitana de Desarrollo Social

PAUTA CORRECCIÓN DE PRECIOS SOCIALES EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

Version Julio 2012

1.- MONTO CONSTRUCCION		12.691.067	
1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS		10.664.762	
2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS			
2.1 MATERIALES	Porcentaje	95,0%	✓ Monto 10.131.524
2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	60,0%	✓ Monto 6.078.914
	%		
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	30,0%	1.823.674	✓
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	70,0%	4.255.240	✓
	Factor de Ajuste T.C.	1,01	
		COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	1.841.911
		COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	6.097.151 (A)
2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	40,0%	✓ Monto 4.052.610
	Tasa Arancelaria Promedio	3,0%	
	Factor de Ajuste T.C.	1,01	
		COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	3.973.918 (B)
		COSTO SOCIAL MATERIALES	10.071.069 (A) + (B) = (C)
2.2 MANO DE OBRA	Porcentaje	5,0%	✓ Monto 533.238
	% de Participación	Costo	Factor de Corrección
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	70,0%	373.267	✓ 0,62
MANO DE SEMI CALIFICADA	10,0%	53.324	✓ 0,68
MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	106.648	✓ 0,98
		COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	372.200 (D)
		COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	10.443.270 (C) + (D)

II - COSTO MANTENCIÓN ANUAL		3.219.940	
1.- SEPARAR SERVICIOS CONTRATADOS DE MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS			
%			
1.1 SERVICIOS CONTRATADOS	30,0%	965.982	
%			
1.2 MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS	70,0%	2.253.958	
2.- AJUSTE DE SERVICIOS CONTRATADOS			
MONTO SERVICIOS CONTRATADOS NETO DE IMPUESTOS (IVA)		811.750	(A)
3.- SEPARAR MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS EN MANO DE OBRA Y MATERIALES E INSUMOS			
3.1 MATERIALES			
Porcentaje	50,0%	V	Monto 1.126.979
MONTO MATERIALES NETO DE IMPUESTOS (IVA)		947.041	
3.1.1 NACIONAL			
Porcentaje	80,0%	V	Monto 757.633
%			
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	80,0%	606.106	V
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	20,0%	151.527	V
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES		612.167	
COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES		763.694	(B)
3.1.2 IMPORTADO			
Porcentaje	20,0%	V	Monto 189.408
Tasa Arancelaria Promedio		3,0%	
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS		185.730	(C)
COSTO SOCIAL MATERIALES		949.424	(B) + (C) - (D)
3.2 MANO DE OBRA			
Porcentaje	50,0%	V	Monto 1.126.979
%			
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	70,0%	788.885	V
MANO DE SEMI CALIFICADA	10,0%	112.698	V
MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	225.396	V
Factor de Corrección		0,62	
Costo Social Mano de Obra		489.109	
Factor de Corrección		0,68	
Costo Social Mano de Obra		76.635	
Factor de Corrección		0,98	
Costo Social Mano de Obra		220.888	
COSTO SOCIAL MANO DE OBRA		786.631	(E)
COSTO SOCIAL MANTENCIÓN		2.547.805	(A) + (D) + (E)

3 Corrección de Precios sociales para Mantenimiento Anual de Proyecto de supresión de polvo con Cloruro de Magnesio.



Secretaría Regional Metropolitana de Desarrollo Social

PAUTA CORRECCIÓN DE PRECIOS SOCIALES EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

Version Julio 2012

1.- MONTO CONSTRUCCION 3.276.749

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS 2.753.571

2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES	Porcentaje	80,0%	✓	Monto	2.202.856	
2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	70,0%	✓	Monto	1.542.000	
%						
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	30,0%	462.600	✓			
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	70,0%	1.079.400	✓			
Factor de Ajuste T.C.						
	1,01			COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	467.226	
					COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	1.546.626 (A)
2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	30,0%	✓	Monto	660.857	
Tasa Arancelaria Promedio						
	3,0%			COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	648.025 (B)	
					COSTO SOCIAL MATERIALES	2.194.650 (A) + (B) = (C)
2.2 MANO DE OBRA	Porcentaje	20,0%	✓	Monto	550.714	
% de Participación						
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	60,0%	330.428	✓	Factor de Corrección	0,62	
MANO DE SEMI CALIFICADA	20,0%	110.143	✓		0,68	
MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	110.143	✓		0,98	
					COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	387.703 (D)
					COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	2.582.353 (C) + (D)

II - COSTO MANTENCIÓN ANUAL		257.337	
1.- SEPARAR SERVICIOS CONTRATADOS DE MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS			
%			
1.1 SERVICIOS CONTRATADOS	20,0%	51.467	
%			
1.2 MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS	80,0%	205.870	
2.- AJUSTE DE SERVICIOS CONTRATADOS			
MONTO SERVICIOS CONTRATADOS NETO DE IMPUESTOS (IVA)		43.250	(A)
3.- SEPARAR MANTENCIÓN CON RECURSOS PROPIOS EN MANO DE OBRA Y MATERIALES E INSUMOS			
3.1 MATERIALES			
Porcentaje	50,0%	✓	Monto 102.935
MONTO MATERIALES NETO DE IMPUESTOS (IVA)		86.500	
3.1.1 NACIONAL	Porcentaje	90,0%	✓
		Monto	77.850
%			
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	80,0%	62.280	✓
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	20,0%	15.570	✓
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES		62.903	
COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES		78.473	(B)
3.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	10,0%	✓
		Monto	8.650
Tasa Arancelaria Promedio		3,0%	
Factor de Ajuste T.C.		1,01	
COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS		8.482	(C)
COSTO SOCIAL MATERIALES		86.955	(B) + (C) = (D)
3.2 MANO DE OBRA			
Porcentaje	50,0%	✓	Monto 102.935
	% de Participación	Costo	Factor de Corrección
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	60,0%	61.761	0,62
MANO DE SEMI CALIFICADA	20,0%	20.587	0,68
MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	20.587	0,98
COSTO SOCIAL MANO DE OBRA		72.466	(E)
COSTO SOCIAL MANTENCIÓN		202.671	(A) + (D) + (E)

Anexo N°4: Calidad del Aire.

Determinación de Cantidad de Material Particulado (MP) límite en el Aire.

Un parámetro muy importante de establecer, corresponde a la cantidad límite de Material Particulado en el Aire, sin que éste resulte perjudicial para la salud de las personas y dañino para plantas y cultivos.

Algunos conceptos que debemos conocer previamente:

- a) Material particulado respirable MP10: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrones.
- b) Material particulado fino MP2,5: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 2,5 micrones.
- c) Concentración: El valor promedio temporal detectado en el aire en microgramos por metro cúbico normal (mg/m³N) de material particulado respirable.
- d) Concentración de 24 horas: Corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora en 24 horas consecutivas.
- e) Concentración mensual: media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración de 24 horas en cada estación monitora, en un mes calendario.
- f) Concentración anual: media aritmética de los valores de concentración mensual en cada estación monitora, en un año calendario. (Norma Ambiental)

Diferentes organizaciones señalan límites muy variados, por lo que consideraremos dos Organizaciones muy importantes tanto a nivel nacional, como a nivel internacional, para establecer los valores que utilizaremos como valores de referencia. Las organizaciones elegidas son: OMS (Organización Mundial de la Salud) y Comisión Nacional del Medio Ambiente.

La Organización Mundial de la Salud, en su Guía de Calidad de Aire actualizada el año 2005, establece los siguientes límites de Material Particulado y justificados a continuación. Las guías de calidad del aire

de la OMS tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. (OMS, 2006)

Puesto que, no se han identificado umbrales y dado que hay una variabilidad interespecífica sustancial en la exposición y en la respuesta a una exposición determinada al material particulado, es poco probable que una norma o un valor guía ofrezca una protección completa a todas las personas, frente a todos los posibles efectos adversos del material particulado en la salud. (OMS, 2006).

Límites Permitidos establecidos para Material Particulado por la OMS:

- $MP_{2,5}$: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual
 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas
- MP_{10} : $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual
 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas

Fundamentos de los valores nombrados anteriormente:

- Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos en la salud aumenta con la exposición a ciertas cantidades de MP, en un tiempo determinado.
- Aunque el MP_{10} es la medida más notificada y también el indicador de interés para la mayoría de los datos epidemiológicos.
- Los valores guía para el $MP_{2,5}$ se convierten a los valores guía correspondientes para el MP_{10} aplicando una razón $MP_{2,5}/MP_{10}$ de 0,5.
- Tomando como base los efectos conocidos en la salud, se necesitan guías tanto de la exposición breve (24 horas), como de la prolongada (media anual) para los dos indicadores de la contaminación por MP.

Exposiciones prolongadas.

Como valor guía para el MP_{2,5} en exposiciones prolongadas, se eligió una concentración anual media de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (AC S) (Pope *et al.*, 2002), este valor representa el extremo inferior de la gama en la que se observaron efectos significativos en la supervivencia.

La adopción de una guía en este nivel concede un valor importante a los estudios de exposición prolongada, que utilizan los datos de la AC S y los de Harvard de seis ciudades (Dockery *et al.*, 1993; Pope *et al.*, 1995; HEI, 2000; Pope 2002; Jerrett 2005).

Como nivel del OI-1 se eligió una concentración media anual de MP_{2,5} de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este nivel corresponde a las concentraciones medias más elevadas, notificadas en estudios sobre los efectos prolongados en la salud y puede reflejar también concentraciones históricas más altas, pero desconocidas, que pueden haber contribuido a los efectos observados en la salud. Se ha demostrado que en el mundo desarrollado, este nivel está asociado con una mortalidad elevada.

El nivel de protección del OI-2 se establece en 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y se basa en los estudios de exposición prolongada y mortalidad. El logro de este valor del OI-2 reduciría los riesgos de la exposición prolongada para la salud en alrededor de un 6% (IC del 95%, 2–11%) en relación con el valor del OI-1.

El nivel recomendado del OI-3 es de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ésta concentración es la menor de las propuestas en el estudio, y es la que ofrece una menor probabilidad de sufrir efectos significativos asociados con la exposición prolongada. (OMS, 2006)

Cuadro 1: Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones medias anuales

	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-	70	35	Estos niveles están asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo, alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA.

1 (OI-1)			
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2- 11%] en comparación con el nivel del OI-1.
Objetivo intermedio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2.
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP2,5.

Exposiciones de corta duración.

Se suele recomendar que se dé preferencia al promedio anual, sobre el de 24 horas, ya que con niveles bajos despiertan menos preocupación las desviaciones episódicas.

Se recomienda que los países con zonas en las que no se cumplen los valores guía de 24 horas, adopten medidas inmediatas para alcanzar estos niveles lo más pronto posible.

Si las exposiciones de MP_{10} aumentan en un $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria, esto significaría un aumento de la mortalidad de alrededor del 0,5%. Por consiguiente, el nivel OI-1 con una concentración de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5%, efecto que sería motivo de gran preocupación y para el cual se recomendarían medidas correctoras inmediatas. El nivel del OI-2 de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estaría asociado con un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 2,5% y el nivel del OI-3 con un aumento del 1,2% (cuadro 2). La GCA para el promedio de 24 horas del MP_{10} es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y refleja la relación entre las distribuciones de las medias de 24 horas (y su percentil 99) y el promedio de las concentraciones anuales. (OMS, 2006)

Cuadro 2

Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones de 24 horas.

	MP ₁₀ (μg/m ³)	MP _{2,5} (μg/m ³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-3 (OI-3)*	75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	50	25	Basado en la relación entre los niveles de MP de 24 horas y anuales.

* Con fines administrativos. Basado en los valores guía promedio anuales; el número exacto se ha de determinar sobre la base de la distribución de la frecuencia local de las medias diarias. La distribución de la frecuencia de los valores diarios del MP_{2,5} y el MP₁₀, normalmente se aproxima a una función logarítmica de distribución normal.

Las partículas ultra finas (UF), es decir, las partículas de menos de $0,1 \mu$ de diámetro, han despertado recientemente un gran interés en la comunidad científica y médica. Se suelen medir como número de partículas. Si bien hay abundantes pruebas toxicológicas de posibles efectos perjudiciales de las partículas UF en la salud humana, el conjunto existente de pruebas epidemiológicas no es suficiente para llegar a una conclusión acerca de la relación exposición-respuesta. En consecuencia, por ahora no se puede hacer ninguna recomendación, sobre concentraciones guía de partículas UF. (OMS, 2006)

En Nuestro país, El Ministerio del Medio Ambiente, por medio de la CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente), es el organismo que establece los valores aceptables de calidad del aire en la “NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10” de 1998, modificada en 2001. La cual establece lo siguiente:

- Se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire, para material particulado respirable, cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a $150 \text{ mg/m}^3\text{N}$.
- A contar del día 1° de enero del año 2012, la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, será de ciento veinte microgramos por metro cúbico normal ($120 \mu\text{g/m}^3\text{N}$) como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para Material Particulado Fino MP2,5, en cuyo caso se mantendrá el valor de la norma establecido en el inciso primero.
- La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es cincuenta microgramos por metro cúbico normal ($50 \mu\text{g/m}^3\text{N}$) como concentración anual. (norma Ambiental)

Recomendaciones de Medición:

Recomendaciones de Medición.

- Utilizando Sistema de ASTM D - 1739: La sedimentación es una técnica simple de muestreo usado para determinar la cantidad de partículas o polvo precipitado desde la atmósfera. El método requiere del uso de colectores abiertos (Figura N°2c), usualmente de vidrio o plástico. Luego de un tiempo de exposición (alrededor de 1 mes), el material acumulado es expresado

en términos de peso por área por 30 días. Este método depende básicamente de la gravedad y por lo tanto, está limitado a partículas de tamaño igual o mayor a $2\mu\text{m}$. Esta técnica presenta muchas desventajas, dentro de las cuales se puede mencionar el período de tiempo para una medición y el efecto del viento en las mediciones (Sanders y Addo, 2000).