

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE SUPRESORES DE POLVO MEDIANTE EL USO DEL EQUIPO DUSTMATE Y EL EFECTO ECONÓMICO PARA LA CONSERVACIÓN RUTINARIA Y PERIÓDICA DE CARPETAS GRANULARES

GABRIEL CAMPOS DINAMARCA, Ingeniero Civil
gabriel.campos@mop.gov.cl

ESTEBAN ESPINOSA ORELLANA, Ingeniero Constructor
esteban.espinosa@mop.gov.cl

Dirección de Vialidad, Región del Maule
1 Oriente 1253; Fax (071) 228103; Teléfono (071) 612000;

RESUMEN

El presente trabajo describe los resultados de una experiencia desarrollada por la Dirección de Vialidad de la Región del Maule, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de los productos Permazyme, Cloruro de Sodio (Sal) y Cloruro de Magnesio Hexahidratado (bischofita), utilizados tanto en estabilización como cumpliendo funciones de supresores de polvo sobre caminos en la Séptima Región.

El análisis se basó en el seguimiento visual de los tramos de prueba y en el Protocolo de Medición de polvo diseñado por el DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile utilizando el equipo Dustmate, lo que permitió cuantificar por primera vez y de manera objetiva las emisiones de polvo, y consecuentemente, el desempeño de los tratamientos supresores de polvo (TSP).

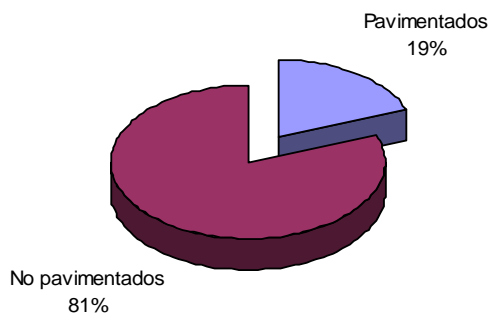
Finalmente, se presenta una evaluación económica de las políticas de conservación rutinaria mediante la comparación de las operaciones de: Reperfilado Simple y Recebo Granular v/s un Tratamiento Supresor de Polvo (TSP) . Esta evaluación considera aspectos como disminución de pérdidas del material granular y aumento del nivel de servicio de los caminos.

1 Antecedentes generales

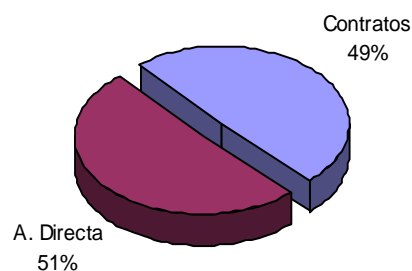
1.1 Descripción de la red regional

La VII Región posee un total de 7.385 km de caminos. Los pavimentados suman aproximadamente 1.424 km., siendo los restantes 5.961 km. carpetas de rodadura granular y un porcentaje menor de suelo natural. Del total de caminos no pavimentados, el 48,29% se encuentran en sistemas de mantenimiento de "Contratos de Conservación Global", quedando por consiguiente el restante 51,71% de caminos de ripio y tierra a cargo del sistema de Administración Directa. Esto significa que al menos en 3.000 km. de caminos, las labores de conservación son realizadas directamente por personal y maquinaria perteneciente a Dirección Regional de Vialidad de la VII Región [1].

Caracterización de la Red Regional



Conservación de caminos no pavimentados



1.2 Conservación en la VII Región: problemáticas locales y estrategias actuales.

La red bajo Administración Directa (A.D.) está compuesta en general por caminos no pavimentados que dan acceso a poblados y sectores agrícolas y forestales. La A.D. realiza la conservación a través de operaciones de repavimentado simple, compactaciones e incorporación de estabilizadores químicos.

De acuerdo a la experiencia regional, la duración de estas operaciones -y por tanto su rentabilidad- está determinada principalmente por dos factores: a) los efectos del clima y b) el tránsito. Es por eso que se ha centrado la mirada en mejorar el control sobre estas variables y se están realizando esfuerzos en determinar las mejores políticas de mantenimiento, lo que ha derivado en la búsqueda de nuevas metodologías y materiales.

1.2.1 Los efectos del clima y el tránsito en la VII Región sobre las carpetas granulares.

La Región posee dos estaciones bien definidas: la época seca (septiembre-marzo) y la estación lluviosa (abril-agosto). Las problemáticas principales producidas por el tránsito son :

Estación de Lluvias: La importante cantidad de lluvia que se registra anualmente en la zona (promedio de 735 mm/año) [2], la falta de obras de saneamiento necesarias y la mala condición de los caminos generados por los constantes ciclos de paso de vehículos y motoniveladora durante el verano, producen la acumulación de agua lluvia sobre sectores sin bombeo y la debilitación por saturación de la carpeta. El paso de vehículos dadas estas condiciones del camino producen su deformación. Una vez acabado cada evento de lluvias, deben ser reconfigurados nuevamente los perfiles.

Estación Seca: Las altas temperaturas y la escasez de lluvias provocan que las carpetas granulares pierdan su humedad y por consiguiente la cohesión entre las partículas finas y gruesas se debilita. El tránsito de los vehículos y la abrasión producida por los neumáticos terminan por romper el enlace fino-grueso y el material más pequeño se eleva en forma de polvo, depositándose gran parte a los costados del caminos, principalmente sobre casas y cultivos. El material más grueso al perder el fino que lo ligaba entre si se disgrega, formando calaminas y baches. Mensualmente la motoniveladora repara estas deformaciones, repavimentando la superficie pero a la vez adelgazando la carpeta soportante. La cohesión entre las partículas puede en parte recuperarse con compactación y riegos de agua, pero con una mínima duración, limitada a su inevitable evaporación.

Especial preocupación es hoy en día la generación de polvo en verano. Su emisión produce un daño severo a la calidad de vida de las personas y a sus actividades productivas. Lamentablemente hasta hoy se han realizado pocos esfuerzos en disminuir seriamente las emisiones. A continuación se resumen brevemente algunos conceptos que ayudan entender la importancia del tema.

1.2.2 Los problemas asociados a la generación de polvo

El polvo consiste en pequeñas partículas llevadas por corrientes de aire, formados en su mayoría por desintegración o fractura de materiales sólidos. Según estimaciones anualmente se acumulan entre 2.000 y 3.000 millones de toneladas de polvo en la atmósfera [URL1]. Las principales fuentes de polvo están en la erosión eólica, terremotos y volcanes, minería, agricultura y actividades industriales. El polvo es clasificado por el tamaño en 2 categorías primarias:

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 aproximadamente 10 µm.

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 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.

2 Descripción general del proyecto

2.1 Objetivos

La Dirección de Vialidad VII Región, enfrentó el desafío de generar experiencias de mantenimiento de caminos no pavimentados con nuevos materiales. En términos concretos el objetivo central de esta experiencia fue obtener una metodología que permitiera:

- a) evitar la pérdida de finos durante la estación seca, de modo de mantener la cohesión, aumentar la durabilidad de los caminos y disminuir las emisiones de polvo.
- b) tener mejores caminos al inicio de la temporada de lluvias, de modo de mejorar el proceso de evacuación de aguas por bombeo.

Para esto se materializó un proyecto que buscó determinar el comportamiento real carpetas tratadas con tres estabilizadores químicos. Los tramos ejecutados fueron evaluados de acuerdo a:

- i) la evolución mensual de la calidad de la superficie de rodadura, medida a través de una evaluación visual y un seguimiento fotográfico
- ii) el grado de supresión de polvo logrado por cada producto, medido a través del instrumento Dustmate, el cual se describe más adelante.

2.2 Camino de prueba

Ubicación: El camino de prueba se denomina oficialmente "Arboledas – FFCC por Piedra Blanca" Rol J-410, ubicado en la Comuna de Teno, poblado situado 20 km. al norte de la ciudad de Curicó y adyacente a la Ruta 5 Sur a la altura del km. 160 aprox.

Geometría: Ancho promedio 5,8 m, longitud 5,0 km. Se describe como un camino sin variaciones importantes de geometría vertical y con curvas horizontales pronunciadas y radio reducido

Tránsito: El T.M.D.A. estimado va en un rango de 150 a 200 vehículos, del cual un gran porcentaje corresponde a camiones de dos ejes simples.

Lluvias: El período de lluvias es, como en el resto de la región, habitualmente entre los meses de Abril a Agosto, teniendo la zona un promedio de 700 mm. de precipitaciones anuales.

Impacto social: El camino tiene un uso básicamente agrícola, con tránsito permanente de camiones y maquinaria. Existe una pequeña comunidad que reside en los terrenos adyacentes a la vía.

Conservación: Este camino tradicionalmente ha sido conservado por A.D. a cargo de la Oficina Provincial de Vialidad Curicó, efectuando reperfilados simples en forma mensual, con una inversión media anual de \$1,2 millones.

2.3 Productos utilizados

Los productos escogidos para esta experiencia fueron 3:

1. Cloruro de Sodio (Sal): Se aplica a granel, homogenizando el producto con el material de la carpeta. La dosis de aplicación varía entre 2% y 5%, lo que se traduce en un consumo de 50 a 100 ton/km. No resulta práctico para ser distribuido disuelto como riego ya que es necesaria demasiada

agua para disolver la dosis adecuada¹. Su uso es exclusivo para estabilizado de carpetas y requiere de una cantidad mínima de 6% de plasticidad del material granular a utilizar.

2. Permazyme: Es un producto enzimático de origen orgánico que se diluye en agua y se aplica antes de la compactación. Actúa sobre los materiales finos orgánicos, produciendo un efecto de cementación y compactación. La dosis es de 1 litro por cada 33 m³ de material, es decir, para un kilómetro de camino se utilizan aproximadamente 33 litros de solución que se disuelven en agua para su posterior riego. Al igual que el Cloruro de Sodio, funciona para materiales con IP superior a 6%.

3. Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita): Es un compuesto altamente higroscópico² obtenido como subproducto de la elaboración de litio. La dosis de aplicación para estabilizados va entre 3% a 5% (aproximadamente 60 a 100 ton/km) dependiendo del IP del material granular, pudiendo ser aplicado en carpetas sin plasticidad. El producto es altamente soluble en agua pudiendo disolver hasta 1,5 kilos por litro de agua, por lo que es recomendada su aplicación como riego. Para controles de polvo superficiales se emplea una dosis de 3 kg/m².

2.4 Descripción de los tramos

El siguiente cuadro muestra la tramificación realizada para la experiencia:

TRAMO	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	PRODUCTO	TRATAMIENTO	DOSIS	FECHA CONSTRUCCIÓN
1	KM 0,0 AL 0,5	500	Bischofita	Estabilización	80 kg/m ³	17-Ene-2006
2	KM 0,5 AL 1,2	700	Sal	Estabilización	65 kg/m ³	19-Ene-2006
3	KM 1,2 AL 2,5	1.300	Bischofita	Control de Polvo	3 kg/m ²	12-Dic-2005
4	KM 2,5 AL 3,5	1.000	Permazyme	Estabilización	0,03 lt/m ³	15-Dic-2005
5	3,5 AL 5,0	1.500	Sal	Estabilización	65 kg/m ³	12-Dic-2005

La longitud de cada tramo quedó determinada por la disponibilidad de cada producto con la cual contó la Dirección Regional, en función de las dosis recomendadas por cada proveedor.

Material de carpeta: En los tramos de prueba se empleó un suministro de material granular chancado cuyas características se muestran a continuación.

Ensayo Tamiz (mm)	Malla	Muestra		
50	2"	100%		
25	1"	84%		
10	3/8"	59%	Densidad MCS	2.201
5	#4	50%	Humedad Optima	6,9
2	#10	85%	Humedad Natural	1,5%
0,50	#40	25%	I. Plasticidad (IP)	5,9%
0,08	#200	11%	CBR no sumergido	89

Para el tramo N°2 de Control de Polvo con Bischofita, se empleó el material existente en el camino.

2.5 Tipo de seguimiento y observaciones

2.5.1 Seguimiento visual y registro fotográfico

Todos los tramos de prueba se visitaron mensualmente, de modo de evaluar la calidad de servicio de cada uno de ellos. Con cada visita se construyó un registro fotográfico del estado de cada segmento, tomando la precaución de tomar todas las fotografías en el mismo lugar en cada inspección.

¹ En condiciones de laboratorio no se puede disolver más de 300 g. de Cloruro de Sodio por cada litro de agua.

² Capta humedad del medio ambiente a partir de humedad relativas superiores al 32%

2.5.2 Control de emisiones de polvo con el DustMate

El equipo de investigación de la Dirección Regional motivado por el trabajo desarrollado por el CIIV³ del DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile con el uso del DustMate⁴, gestionó la incorporación de este equipo al proyecto de modo de cuantificar objetivamente la eficiencia de los diferentes productos aplicados en los tramos de prueba.

El DustMate es un equipo desarrollado por la firma inglesa Turnkey Instruments, el cual mediante una bomba interna de 600 cc/min de capacidad, es capaz de obtener directamente una muestra del aire circundante. Las partículas absorbidas son analizadas en cantidad y tamaño por un fotómetro láser, entregando resultados para concentración de partículas de tamaños PM1, PM2,5 y PM10 con una frecuencia de hasta 1 muestra por segundo [3].



Para realizar las mediciones se instala el aspirador en el parachoques trasero del vehículo, justo detrás de la rueda trasera, de manera de obtener directamente la cantidad de polvo generada por la tracción del neumático con la carpeta. El vehículo a medida que recorre el camino permite al equipo ir almacenando datos segundo a segundo del nivel de polvo en cada punto, con lo que finalmente es posible construir las curvas de distancia v/s emisión con que son evaluados los distintos tramos considerados en esta experiencia.

Para determinar la eficiencia se realizó una medición del nivel de emisiones en el camino de prueba antes de aplicar cualquier tipo de producto. Con esto fue posible cuantificar el comportamiento antes y después de cada tramo, considerando mediciones cada 50 días.

Medición N°	Fecha	Día N°	Lapso entre mediciones (días)
1	24-Nov-05	Medición antes de las aplicaciones	
2	18-Ene-06	0	
3	10-Mar-06	51	51
4	27-Abr-06	99	48
5	21-Jun-06	154	55

3 Resultados

3.1 Seguimiento visual y fotográfico

A continuación se muestran los resultados del seguimiento visual y registro fotográfico de los tramos, tomados en el punto medio de cada uno de ellos. Aunque el seguimiento fue mensual, sólo se incluyen las fotos de la primera y última inspección, de manera de no extender demasiado el informe .

³ Centro de Investigación e Ingeniería Vial

⁴ Investigación de eficiencia de tratamiento de Control de Polvo en la Mina Radomiro Tomic entre los años 2003 y 2005, y cuyos resultados fueron presentados durante el pasado Congreso Provia 2004.

Tramo N°1: Estabilización con Cloruro de Magnesio (bischofita)

Fecha construcción: 17 de enero de 2006



La fotografía superior muestra el estado del Tramo #1 a 37 días de su construcción, mostrando una superficie sin ningún grado de deterioro, bien estabilizada y sin emisión de polvo. Luego de un período de intensas lluvias en mayo y junio, se aprecia en este tramo la pérdida de finos superficiales (ver textura). La inspección final, realizada 184 días después de la construcción, muestra el tramo con sus características iniciales casi intactas, libre de baches y deterioros.

Tramo N°2: Estabilización con Cloruro de Sodio (sal)

Fecha construcción: 19 de enero de 2006



**Inspección 23/02/06
Día 35**



**Inspección 20/07/06
Día 182**



La fotografía superior indica el estado del Tramo #2 a 35 días de su construcción mostrando una superficie sin deterioro, compacta y sin emisión de polvo. A mediados del mes de abril la carpeta se encuentra con una gran dureza, sin polvo pero donde han comenzado a aparecer los primeros baches luego del inicio de las lluvias. La inspección final, realizada 182 días después de la construcción, muestra un tramo con una serie baches y con la pérdida de cohesión y de material en varios sectores.

Tramo N°3: Control de Polvo con Cloruro de Magnesio (bischofita)

Fecha construcción: 12 de diciembre de 2005



**Inspección 23/02/06
Día 73**



**Inspección 20/07/06
Día 220**



La fotografía superior indica el estado del Tramo #3, a 73 días de su construcción mostrando una superficie lisa y sin emisión de polvo. Este tramo consistió en una aplicación superficial de riego de bischofita (3kg/m²), sólo reperfilando el material existente en la carpeta. A mediados de marzo se aprecia la formación de una costra dura superficial que entrega una alta calidad de superficie de rodadura, la que durante las lluvias se reblandece y vuelve a consolidar a los pocos días. Luego del período de las más intensas lluvias de mayo, se comienza a observar pérdida del producto y la aparición de los primeros baches. Durante la inspección final realizada 220 días después de la aplicación, se aprecian sectores donde se ha perdido la calidad inicial de la superficie de rodadura y casi completamente el producto, pero se mantiene la cohesión del material se mantiene. La humedad que dejan las lluvias mantuvieron el efecto de eliminación de polvo hasta la fecha.

Tramo N°4: Estabilización con Permazyme
Fecha construcción: 15 de diciembre de 2005



Inspección 23/02/06
Día 70



Inspección 22/03/06
Día 97



El Tramo #4 a 70 días de su construcción es el que presenta peor desempeño, no existiendo cohesión de los finos y arrojando una gran cantidad de polvo. Durante la inspección del 22 de marzo (97 días de su construcción) el tramo presentaba un alto grado de deterioro, por lo cual se decidió intervenirlo y dar por finalizado su seguimiento.

Tramo N°5: Estabilización con Cloruro de Sodio (Sal)

Fecha construcción: 19 de diciembre de 2005



Inspección 23/02/06

Día 66



Inspección 20/07/06

Día 213



Durante la primera inspección visual, a 66 días de la construcción del tramo, se aprecia una carpeta en buenas condiciones, con un alto grado de consolidación, una buena calidad de la superficie de rodadura, sin baches ni polvo. A finales de mes de abril se comienza a apreciar la aparición de los primeros baches junto con el comienzo de las lluvias. Tras los meses de mayo y junio el tramo presenta un deterioro considerable dada la aparición de numerosos baches tipo “taza”, los cuales se acrecientan con cada lluvia.

3.2 Resultados del control de emisión de polvo con DustMate

3.2.1 Medición inicial

TRAMO	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 24/11/05
1	KM 0,0 AL 0,5	500	Bischofita	Estabilización	4.727,1
2	KM 0,5 AL 1,2	700	Sal	Estabilización	4.016,9
3	KM 1,2 AL 2,5	1.300	Bischofita	Control de Polvo	3.253,8
4	KM 2,5 AL 3,5	1.000	Permazyme	Estabilización	4.348,8
5	3,5 AL 5,0	1.500	Sal	Estabilización	4.202,5
				PROMEDIO	4.109,8

En el cuadro se muestran los valores iniciales promedio de emisión de material particulado PM10 del camino, antes de la aplicación de los productos (Medición N°1). En la fotografía se puede apreciar el nivel visual de polvo que presentaba el camino en la fecha de la medición inicial, producida por un vehículo que transitaba a 50 km/h por los tramo 2 y 3 respectivamente.



3.2.2 Mediciones post construcción

3.2.2.1 Eficiencia de los productos

Se determinó que el índice más representativo para determinar la efectividad de cada uno de los productos era cuantificar la reducción porcentual de emisiones respecto a la situación inicial (medición N°1). A esto se le ha denominado "eficiencia" y su valor se obtiene de:

$$\text{Eficiencia} = 100 * (1 - (\text{PM después} / \text{PM antes}))$$

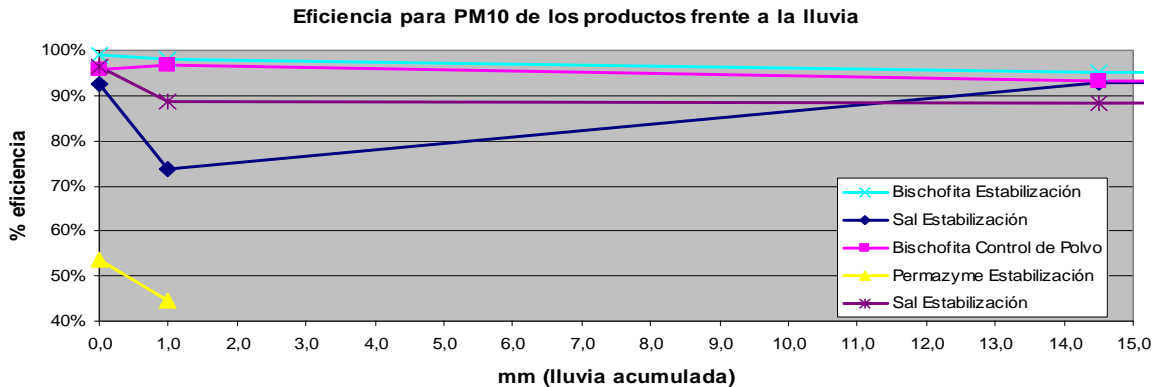
Los valores de *PM antes* y *PM después* representan los promedios de cada tramo medido. El cuadro presenta el resumen de las mediciones post-aplicación con que fueron obtenidas las eficiencias de cada producto.

TRAMO	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06	PM10 21/06/06
1	KM 0,0 AL 0,5	500	Bischofita	Estabilización	53,6	84,7	223,5	36,0
2	KM 0,5 AL 1,2	700	Sal	Estabilización	357,7	1.056,4	281,3	57,8
3	KM 1,2 AL 2,5	1.300	Bischofita	Control de Polvo	133,2	106,4	219,4	69,7
4	KM 2,5 AL 3,5	1.000	Permazyme	Estabilización	2.011,0	2.410,6	295,0	114,1
5	3,5 AL 5,0	1.500	Sal	Estabilización	147,2	477,5	490,2	52,4

3.2.2.2 El efecto de las lluvias en el análisis

Medición N°	Fecha	Lluvia acumulada a la fecha (mm)	Días transcurridos desde la última lluvia
1	24-Nov-05	-	-
2	18-Ene-06	0,0	-
3	10-Mar-06	1,0	12
4	27-Abr-06	14,5	9
5	21-Jun-06	266,0	3

Se muestra a continuación el comportamiento de los diferentes tramos frente a la presencia de lluvias en la zona.



El gráfico muestra el comportamiento de los tramos hasta la 4ª medición, cuando las lluvias acumuladas alcanzaban 14mm [5]. Los tramos tratados con **Bischofita** mantienen su estándar inicial de eficiencia durante toda la estación seca (sobre 93%) lo que se explica dado que la higroscopicidad de este producto permite mantener la humedad óptima desde humedades relativas superiores a 32%. Los tramos tratados con los productos **Cloruro de Sodio y Permazyme** bajan su eficiencia durante la estación seca (valores menores a 90%). El tramo con **Cloruro de Sodio** mejora paulatinamente con las primeras lluvias al recuperar la carpeta poco a poco su humedad óptima. El tramo con **Permazyme** tuvo que ser reconstruido antes del inicio de las lluvias debido a su prematuro deterioro.

La última medición fue realizada el 21 de junio, cuando las lluvias acumuladas alcanzaban 266 mm y sólo a 3 días de una intensa lluvia, lo que arrojó valores de eficiencia de casi 100% en todos los tramos. Dado lo difícil que resulta determinar el grado de eficiencia de los productos por sí solos en estas condiciones, no se consideraron los resultados de esta última medición en el presente trabajo.

3.2.2.3 Resultados de eficiencia por tramo

Tramo 1 (Estabilización con Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita))

TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
1	KM 0,0 AL 0,5	Bischofita	Estabilización	99%	98%	95%

El tramo N°1 muestra una reducción de emisiones inicial de 99% respecto al suelo natural y que logra mantenerse casi inalterable en las mediciones posteriores, con valores de 98% en el mes de marzo y 95% en abril. La bischofita como estabilizador muestra un alto desempeño como supresor de polvo.

Tramo 2 (Estabilización con Cloruro de Sodio(Sal))

TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
2	KM 0,5 AL 1,2	Sal	Estabilización	92%	74%	93%

El Tramo N°2 muestra también un importante abatimiento de partículas inicial, alcanzando un 92% de eficiencia. La medición posterior del mes de marzo muestra una pérdida de efectividad con un 75% de abatimiento de partículas. A partir de la medición del 27 de abril se incrementa el valor de efectividad (93%), lo que es atribuible a la hidratación de las primeras lluvias de la temporada.

Tramo 3 (Control de Polvo con Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita))

TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
3	KM 1,2 AL 2,5	Bischofita	Control de Polvo	96%	97%	93%

Para el Tramo N°3 se tiene una disminución inicial de 96% y un aumento hasta 97% en la medición posterior, lo que puede explicarse debido a la consolidación por el tránsito del tramo luego de la aplicación, considerando que este tramo no fue estabilizado sino que se aplicó el producto directamente sobre el terreno existente. Para mediados de abril la medición arrojó 93% de efectividad, disminución que puede explicarse por el comienzo de las lluvias y la pérdida de concentración de producto, cuya dosis de aplicación es 4 veces menor que para un estabilizado.

Tramo N°4 (Estabilización con Permazyme)

TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
4	KM 2,5 AL 3,5	Permazyme	Estabilización	54%	45%	-

Este tramo resultó el menor desempeño, con un 54% inicial y desmejorando hasta un 45% a mediados de marzo. A principios del mes de abril fue necesario reconstruir el tramo debido a su mal estado, motivo por el cual se dio por finalizado su seguimiento.

Tramo N°5 (Estabilización con Cloruro de Sodio (Sal))

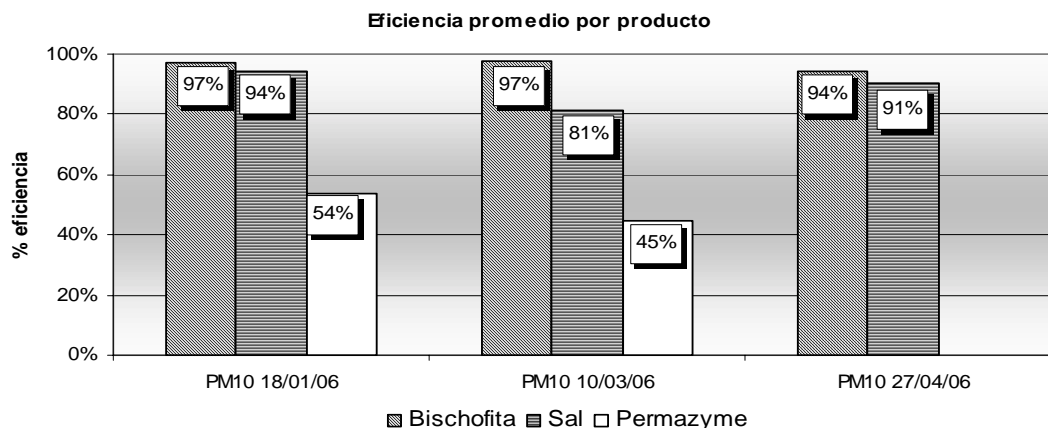
TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
5	3,5 AL 5,0	Sal	Estabilización	96%	89%	88%

El último tramo también presentó un buen nivel de abatimiento de partículas al inicio (96%) y decreciendo su efecto en forma hasta llegar a un 88% de eficiencia en el mes de abril.

3.2.2.4 Resultados por producto

Producto	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06	Promedio
Bischofita	97%	97%	94%	96%
Sal	94%	81%	91%	89%
Permazyme	54%	45%	-	49%

El resultado de promediar las eficiencias de los producto en cada uno de sus tramos como supresores de polvo, muestra como el más efectivo al Cloruro de Magnesio Hexahidratado (bischofita) con un promedio de 96%, seguido por el Cloruro de Sodio (Sal) con un 89% y finalmente el Permazyme con un 49%.



4 Evaluación económica

4.1 Justificación

El objetivo de toda unidad de mantenimiento vial es brindar el mejor estándar de servicio posible a los usuarios, maximizando la rentabilidad de las inversiones que se hacen sobre el camino. La pérdida de finos en las carpetas es un pésimo negocio para las administraciones viales: representa una señal de deterioro acelerado y bajo confort a los usuarios; la migración de las partículas finas restan cohesión a la estructura soportante, con la consecuente formación de baches y calaminas, y por sobretodo, la

generación del molesto polvo. La aplicación de un buen tratamiento de control de polvo puede no sólo eliminar los efectos contaminantes, si no también un ahorro en uso de maquinarias para conservación y del material granular que compone la carpeta. El aumento de la cohesión superficial entre finos y gruesos prolonga su vida útil durante gran parte de la estación seca.

Conocidos ya los desempeños de cada producto, se buscó evaluar la conveniencia económica de implementar una solución de control de polvo en la temporada estival comparándola con la alternativas de conservación tradicional, es decir, sin el uso de productos. Para la evaluación se tomó el producto **bischofita**, el cual tuvo el mejor desempeño en los tramos de prueba.

4.2 Nivel de servicio y cálculo de rentabilidad (estimación para 6 meses de estación seca)

Se debe definir el estándar ó nivel de servicio que se desea para el camino. Para ello se identifica el ó los elementos del camino y se define su nivel de desempeño esperado, como lo muestra la tabla:

Elemento	Variable	N.S. Esperado	Alternativa	Actividades necesarias
Carpeta	Calidad superficie de rodadura	1.Sin calaminas ni baches 2. Caminos sin generación de polvo visual para tránsito liviano y pesado	Agua	Reperfilado simple
				Riego con agua
				Reposición de 33% de material granular
			Bischofita	Reperfilado y compactación inicial del camino
				Riego del producto

Item	\$/km	Total de intervenciones en 6 meses	
		Control de Polvo con Bischofita	Reperfilado simple
Reperfilado	\$ 33.000	1	6
Compactación	\$ 80.000	1	0
Pérdida material (*)	\$ 1.212.750	0	1
Riego agua	\$ 2.000	0	360
Riego bischofita	\$ 1.750.000	1	0
Total		\$ 1.863.000	\$ 2.130.750
Costo Km/mes		\$ 310.500	\$ 355.125

(*): equivale al 33% del costo total del material granular de la carpeta

Los precios unitarios corresponden a los promedios obtenidos por el SAM⁵ regional.

Mes	Tipo de Conservación	
	Con bischofita (\$/km)	Tradicional (\$/km)
1	1.863.000	355.125
2		355.125
3		355.125
4		355.125
5		355.125
6		355.125
VAN	1.863.000	1.892.630

Tasa descuento: 5,0%

TIR: 6%

Del cálculo se desprende que la ejecución de un control de polvo se recupera completamente al final de la temporada, siendo los ítem de "pérdida de material granular" y "riego de agua", aquellos factores en los que se consiguen los ahorros significativos.

El análisis no incorpora otros beneficios como: i) aumento de seguridad vial por mayor visibilidad, ii) mayor bienestar de personas que viven aledañas al camino, iii) menores costos de operación y

⁵ Denominación que se le da al Sistema de Administración del Mantenimiento Regional para las operaciones de conservación

mantenimiento de vehículos, iv) mayor disponibilidad de maquinaria para conservación de otras rutas
v) mejora en la calidad de los cultivos y vi) menores pérdidas por daños de bienes transportados

5 Conclusiones y recomendaciones de la experiencia

5.1 Conclusiones por producto

- La mayor eficiencia la presentó la solución de **Cloruro de Magnesio Hexahidratado (bischofita)** aplicado a una carpeta de rodadura del tipo base granular. Lo anterior se demuestra no sólo con su efecto inmediato como supresor de polvo, sino que también mantiene en el tiempo altos estándares de servicio en el camino. Una vez iniciadas las lluvias y hasta la última visita realizada al tramo estabilizado con bischofita (20/06/2006), este se mantenía en excelente condición, donde considerando que las lluvias acumuladas en la zona hasta la fecha eran de 280 mm., no presentaban ningún grado de deterioro. Este tramo bajo condiciones permanentes de lluvia mantuvo de mejor forma y por más tiempo su perfil y cohesión respecto al resto de los tramos, aparentemente debido a que la buena calidad de la superficie de rodadura permite la mejor evacuación transversal del agua lluvia. Hasta la fecha, esta primera experiencia del uso de este producto como estabilizador en la zona centro-sur se considera exitosa. Sin embargo, para tener una opinión más acabada de su funcionamiento, se deberá mantener su seguimiento a lo menos un par de años más.

El tramo con tratamiento superficial de control de polvo con bischofita logra una supresión total de las emisiones de material particulado y su eficiencia se mantiene constante en el tiempo, disminuyendo su efecto paulatinamente con la aparición de las primeras lluvias. Este tipo de aplicación forma una carpeta con una muy buena calidad de superficie de rodadura y su desempeño no depende del tránsito, siendo este un factor que incluso ayuda a consolidar el producto. Bajo condiciones permanentes de lluvia vuelve a su condición normal y se comporta simplemente como un “camino de tierra mojado”. Una vez acabado el evento de lluvia, el camino pierde su saturación y con el paso de vehículos se vuelve a compactar y consolidar. Considerando la baja dosis de aplicación necesaria para conseguir el efecto deseado (3 kg/m² ó equivalentemente 20 ton/km⁶) y dada su durabilidad comprobada en esta experiencia durante toda la estación seca, esta aplicación es altamente recomendable de ejecutar al inicio de cada temporada estival, siendo esta una solución efectiva, económica y que permite diferir durante todo el período primavera-verano las operaciones tradicionales de conservación rutinaria.

Desde su aplicación inicial no fue necesario intervenir durante el resto de la temporada seca los tramos. Las carpetas mantuvieron su aspecto inicial libre de baches, calaminas y polvo. Un factor determinante para el buen comportamiento de los productos es la calidad inicial de la carpeta, siendo altamente conveniente preparar los tramos previa la aplicación, ya sea con repavimentado ó con escarificado y compactación.

- Los caminos estabilizados con **Cloruro de Sodio** alcanzan una buena condición y permiten obtener carpetas un alto grado de cohesión, libres de polvo y con un buen desempeño en términos de calidad de superficial. Sin embargo se debe tener gran cuidado en la fase de construcción de modo de lograr una gran homogenización del producto, el cual como debe ser aplicado en seco, puede producir volúmenes con menor concentración, generando puntos débiles que en el mediano plazo se transforma en una serie de baches a lo largo del camino. Al mes de junio los tramos con sal presentaban un alto grado de dureza pero a la vez también mostraban indicios de deformaciones tipo “tacita” y baches, distribuidos a lo largo de la camino.

El producto alcanzó un alto porcentaje inicial de eficiencia de acuerdo a los resultados del DustMate (sobre 92%), cumpliendo con el objetivo de mitigar emisiones, lo que pudo apreciarse también de forma visual en cada inspección, dado que tras el paso de vehículos no era posible observar generación de polvo. Al avanzar la temporada de altas temperaturas se aprecia que este tipo de carpetas se resecan, disminuyen su eficiencia y generan polvo, aunque en una mínima cantidad, por lo cual es recomendable hidratarlas periódicamente con riego de agua.

⁶ Considerando un ancho promedio de 6 a 7 metros.

Desde la aplicación del producto no fue necesario intervenir durante el resto de la temporada seca los tramos. Las carpetas mantuvieron su aspecto inicial libre de baches, calaminas y polvo hasta el inicio de las lluvias.

- El tramo tratado con **Permazyme** no tuvo un buen desempeño, deteriorándose al poco tiempo de ser aplicado. Inicialmente alcanzó un 54% inicial de abatimiento según las mediciones del DustMate, lo que se considera insuficiente dado que ese segmento de camino presentó polvo visual a los pocos días de ser aplicado el producto. Tampoco mantuvo buena cohesión durante el período de seguimiento, registrándose material suelto al poco tiempo de construido el tramo y la aparición de baches y calaminas.

5.2 Conclusiones generales

- Un factor determinante para el buen comportamiento de los productos es la calidad inicial de la carpeta, siendo altamente conveniente preparar los tramos previa la aplicación, ya sea con reperfilado simple, escarificado y compactación ó, si dispone de los recursos, construir carpetas estabilizadas en todo su espesor ó con un sello superficial para controlar sus emisiones y deterioro.
- El problema de la emisión de polvo es un fenómeno que debe ser abordado al inicio de la estación seca. Con el comienzo de la época de lluvias se produce un abatimiento natural de emisiones de casi un 100% según las mediciones del DustMate. La implantación de una estrategia de control de polvo mejora la sensación de calidad de vida de la gente, de acuerdo a testimonios de personas que vivían en el entorno cercano al camino. Junto con superficies de rodaduras de una calidad muy superior respecto a caminos sin tratamientos, la mitigación de las emisiones produjeron un aumento considerable en la seguridad vial dado el aumento de visibilidad.
- Los usuarios aumentan la velocidad en caminos tratados. Se estima un aumento en la velocidad de circulación de un 25% respecto a la situación inicial, por lo que es altamente recomendable diseñar un plan de seguridad vial que incorpore señalización de restricción de velocidad.
- Los posibles o eventuales efectos negativos de la aplicación de nuevos productos siempre pueden estar presentes, siendo una preocupación. Al respecto, se deberá mantener una actitud vigilante en forma permanente, de forma tal de poder detectar en forma temprana problemas y tomar medidas de mitigación que eviten daños. Pese a lo anterior, se considera que lo peor sería tener una actitud temerosa en relación con el uso de productos no tan conocidos. Por el contrario, se debe estar llanos a arriesgar e innovar, mejorando las obras que se construyen. En relación a esto, se pudo observar que hasta la fecha de la última inspección, la vegetación circundante no presentaba ningún grado de daño tras la aplicación de cada producto. Por el contrario, la disminución del polvo que se vierte sobre las hojas produce un efecto positivo sobre cultivos aledaños y flora en general.
- Sin duda, los procedimientos de trabajo influyen notablemente en los buenos resultados obtenidos en esta experiencia. Algo que quizás suene obvio, es que tan importante como la calidad del estabilizador, es la forma en que se aplica. Siguiendo esquemas de trabajo bien programados y contando con los recursos materiales y humanos adecuados, se tendrá un alto porcentaje de seguridad en lograr los objetivos. Es importante señalar que se apreció una actitud positiva del personal de la Administración Directa que ejecutó las obras, pues salen de sus labores habituales y se interesan por participar en operaciones distintas, con procedimientos de trabajo diferentes, nuevos y más tecnificados.

Bibliografía

URL

1. <http://www.familia.cl/ContenedorTmp/Polvo/polvo.htm>

Textos

- [1]: DEPTO. GESTIÓN VIAL (2004). Dimensionamiento Red Vial Nacional. Dirección de Vialidad, MOP Chile,
- [2]: RAFAEL NOVOA S. (1989). Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA.

- [3]: JUAN PABLO BELLOLIO R. (2005) Metodología para la medición de polvo generado por vehículos en caminos pavimentados. CIIV, Dictuc, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [4] DIRECCIÓN REGIONAL DE VIALIDAD VII REGIÓN. Informes SAM 2005.
- [5]: DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (2006). Resumen de precipitaciones estación Curicó.