ANNEX 21
DUST CONTROLLER APPLICATION PROGRAM

1 INTRODUCTION

The Dust Suppressor Application Program (magnesium chloride, bischofite) is intended to respond to the compensation measures for emissions proposed under Chapter 6 of the EIA supplementing the Road Improvement Program (Annex 19), where by applying magnesium chloride and its 85% efficiency[1] allow ensuring that the final emission from the Project continues to be under the levels set by PPDA.

This product is currently used by the Road Agencies from I, II, III, IV, VII, and IX Regions in projects such as "Improvement of Route 21 CH accessing the municipality of Ollagüe, II Region"[2], "Basic Roads Program" from the MOP[3], "Improvement of Route B-165 accessing the town of Ayquina, II Region"[4], "Improvement section Route Bridge 7-Roa, Municipality of Florida, VIII Region"[5], and "Improvement of Route J-55, VII Region" [6], among others.

On the other hand the use of bischofite is considered among the options for surface treatment of roads likely to enforcement by the Road Agency of the MOP listed under Section 5.002.207 "Ficha de Ingreso de Obra" (Entry Record to Worksite) from the Manual of Roads of the MOP (2003).

In the Metropolitan Region, bischofite is used as a control measure of particle material emissions in non-paved roads. One example is the "Development Project Los Bronces" which will apply bischofite in Route G-245, the road to Farellones. This project was approved under Res Nº 3159/2007 on November 26, 2007 by the Regional Road Agency of RMS, among other authorities.

Below are the measures to ensure a correct application, maintenance, durability, and effectiveness of the suppressor product.

[1] Thenoux, G. y S. Vera, 2003. Guía para la aplicación de Roadmag como supresor de polvo en caminos no pavimentados (Guide for the applicatoin of Roadmag as dust supressor in non-paved roads.) ROADMAG. Centro de Ingeniería e Investigación Vial. Dirección de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Católica.

[2] Portal of the Ministry of Public Works. MOP mejora camino de acceso a Ollagüe (8/28/07). [en línea] <http://www.mop.cl/noticias/200708/070828_acceso.htm> [consulta: Diciembre 2007]

[3] Revista Área Minera. La Nueva Revolución Vial: Cloruro de Magnesio Hexahidratado (2/22/07). [en línea] <http://www.aminera.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=2882&Itemid=2> [consulta: Diciembre 2007]

[4] Portal of the Road Agency. Intensos Trabajos para mejorar camino de acceso a Ayquina (8/14/07) [en línea] < http://www.moptt.cl/noticias/200708/070814_camino.htm > [query made in December 2007]

[5] Secretaría Regional Ministerial del Bío-Bío. Excelente Comportamiento de la Bischofita en la eliminación de polvo de camino. Electronic Newsletter, March 2007. 1 pp.

[6] Revista Electrónica Vialidad-MOP. En la región del Maule Cementos Bío Bío y Vialidad firman convenio para mejoramiento de ruta La Montaña. Edición Nº36, Noviembre 2006. 1 pp.

2 PREPARATION OF BRINE

The preparation of brine is done by one of the two following methods:

- Method A: All the water and salt will be placed in an open tank with a capacity greater than water trucks (ideally larger than 10 m^3). Using compressed air injection water and salt are mixed until obtaining the appropriate dissolution and a homogeneous mix. The duration of this operation will be reduced by re-circulating the brine using pumps.

- Method B: Water and salt are placed in closed tanks that have an internal system until reaching the right dissolution and a homogeneous mix.

3 PRIOR CONDITIONING METHODS OF THE GROUND

Surface preparation and application of the saline solution required using grader, water trucks, and a compactor. Therefore depending on the road conditions, one of the following construction methods can be used:

- Method A: Full irrigation using water (complete watering, although brief, of the surface; should an excess of watering is produced, it is necessary to wait for the puddles on the surface to dry) to then apply the saline solution directly to the compacted surface and free of potholes, waves, and loose material.
- Method B: Surface grading. In the case that there is a level of deterioration (depth less than 10mm), the road surface will be graded to remove existing deterioration. It will also be necessary to perform a superficial grading when there is not enough penetration of the saline solution as to make the material more permeable. If the graded surface were very loose, it should be irrigated using only water during the days prior to the treatment. The rest of the application is identical as in method A.

The material in the mat will have 10-25% of fines as to ensure an appropriate cohesion. Also, at least 20% of the particles should be greater than 10mm. This is to provide a minimum degree of mechanical stability of the road. Also, the material should have a plasticity index (PI) allowing the cohesion of the particles.

4 INITIAL APPLICATION

The preparation of the solution needs oil-free water, salts, acids, sugar from vegetal material or any other substance that affects the performance of the finished product. The water solution ration is of approximately 01:01 AM,5. It will be applied once the conditions of the mat are appropriate and provided that the weather conditions are the best (no rainfall).

5- APPLICATION METHOD

The saline solution will be evenly applied across the width of the surface using a water truck preferably equipped with calibrated pressure jet nozzle.

At first the estimated dosage of saline solution is 4 l/m^2. For non-plastic soils or soils with a very low PI or with scarce fines, the application dosage will be increase as per manufacturer's recommendation. Should more than one application is required, subsequent irrigation of saline solution will not be applied until the previous irrigation has duly penetrated the material.

Also, when the surface shows a longitudinal slope greater than 6%, the application dosage should be completed in several irrigation sessions as to prevent the solution from running off.

6 FREQUENCY OF APPLICATION AND MAINTENANCE DOSAGE

Initially stabilization of the granular mat is considered once intense rainfall or thaws season is over as to repair the road mats that had deteriorated during that time, if appropriate.

The best time and frequency to apply the product will be determined based on the recommendations from the suppliers. In the case of the Metropolitan Region this period is October-April, with annual re-applications.

7 SUPERVISION AND CONTROL OF THE APPLICATION

A Quality control program considering both the quality control of the ma (appropriate or required conditions) as well as the quality control while preparing the saline solution to be applied will be designed.

Supervision of the application and control of the quality include checking and verifying the following specifications:

- Storage conditions of supplies required in the appropriate locations (also, appropriate conditions for transportation)
- Appropriate granular material of the road mat
- Appropriate proportion when preparing the solution.
- Appropriate meteorological conditions for the application.
- Right dosages for the application.
- Time prior to the opening for traffic (3-4 hours after applying the solution and in sections with steep slopes, 24-48 hours).

8 EFFICIENCY

Efficiency of bischofite as dust suppressor has been tested by different studies including "Application Methodology of Magnesium chloride as dust suppressor in non-paved roads" from the Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Católica (DICTUC, 2004) and the study "Comparative Analysis of the Efficiency of Dust Suppressors through the use of Dustmate and the Economic Effect for Frequent and Regular Conservation of Granular Mats" from the Road Agency of the VII Region (2006) which showed the higher percentage in emission abatement (96%) for magnesium chloride when comparing the performance of 3 salts used for dust suppression. For more information see Appendix 1 in this Annex.

Other experiences in this regard are from Cementos Bío Bío S.A. in the VII Region. Since 2006 the Company applies bischofite to the roads which results in a reduction in re-suspended dust emissions of 98.9% at 50 days after the application of the product, 90.7% at 100 days, and 83% at 155 days. The latter result could have been associated to events of high intensity rainfall in an area which has annual rainfall of 700mm (see Appendix 2).

9 MEASURES OF SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

As with any construction of road works, the location of areas dedicated for sites and production plants should be studied thoroughly by the Contractor as to be as far as possible from areas that are sensible to environmental deterioration.

The area intended for stockpiling the salts have to be within 10m from any type of water conduct or channel. Upon completion of the work, any remaining material from the stockpile will be removed.

The following environmental and safety aspects will also be considered:

- Compliance with regulations for development of borrowed material sites for extraction of gravel.
- Avoid pouring material during its transportation.
- Provide signs in compliance with the regulations at all places frequently used by vehicles in the site and by suppliers that are present in the area and/or access to the site.
- Design, signal, and keep detours within the construction area meeting or exceeding existing regulations.
- Removal of works, facilities, and temporary signs meeting or exceeding current regulations.
- Meet industrial health and safety regulations.

Magnesium chloride by itself does not generate problems in terms of drivers' safety or maneuvering which is endorsed by the experience applying this product in areas with high annual rainfall.

Based on recommendation of magnesium chloride suppliers, in order to avoid any type of situations where the product responds inefficiently, PHAM has adopted the following

measures:

- Control of the application as to avoid overdosing or reduction of the dosage in extremely plastic soils.
- Cleaning or clearing of snow or rocks from the road as to provide free traffic of the vehicles.
- Appropriate maintenance of sanitation works.

10 STORING AND TRANSPORTATION MEASURES

The recommendations below for transportation, storing, and handling of the product will be followed in order to avoid a poor performance of the product to an inappropriate handling.

In the event that the product is in bulk certain precautions will be adopted during transportation and storage based on the property salt has to attract humidity from the environment. Also, special attention should be given as to not contaminate the product with oils or granular material as these might reduce the solubility of the product.

When transportation of the product is done using the bin of a truck, the bin will be covered with a waterproof material as to prevent the product from contacting the air, especially in areas with high relative humidity and rain.

The following will be considered when storing the product:

- Deposit in an even and dry place, when possible above a high-density polyethylene film or similar.
- In areas with high relative humidity, the product shall be covered with a waterproof canvas.
- When rain is expected (rain or snow) or sandstorms are expected, the product will be covered with a plastic or any other similar waterproof material.

11 CONTINGENCIES AND RISK PREVENTION MEASURES

Risk prevention measures will consider, but not limited to, the following actions:

- Supplies will be transported considering a situation of material spillage.
- Store the solutions prior preparation (maxi bags) in dry places and covered, when possible, using polyethylene or similar as to avoid humidity.
- Avoid applying the saline solution in places that are less than 10m from water ways as to prevent contamination.

Contingency measures are given by possible spillage of saline solution that might reach the water way. In that case the existing Contingency Plan will be applied as to manage this type of situation if the spillage of hazardous substances could reach the river.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DUST SUPRESSORS THROUGH THE USE OF DUSTMATE EQUIPMENT, AND THE ECONOMIC EFFECT FOR ROUTINE AND REGULAR CONSERVATION OF GRANULAR SURFACES

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

ESTEBAN ESPINOSA ORELLANA, Consulting Engineer
esteban.espinosa@mop.gov.cl

Highway Department, Maule Region
1 Oriente 1253; Fax (071) 228103; Telephone (071) 612000;

SUMMARY
This report describes the results of a study conducted by the Highway Department of the Maule Region, the purpose of which was to determine the efficiency of the following products: Permazyme, Sodium Chloride (Salt) and Magnesium Chloride Hexahydrate (Bischofite), which were used both for road stabilization and dust suppression purposes in the Seventh Region.

The analysis was based on visual monitoring of road test sections and on the Dust Measurement Protocol designed by the DICTUC, Pontificia Universidad Católica de Chile, using the DustMate instrument. This made it possible to objectively quantify dust emissions for the first time, and, consequently, the performance of dust suppression treatments (TSP, as per its acronym in Spanish). Finally, an economic evaluation of routine conservation policies is presented by means of comparing the following operations: Simple Reshaping and Granular Gravel vs. a Dust Suppression Treatment (TSP). This evaluation involves such aspects as decreased erosion of granular material and increased road service levels.

1 General Background

1.1 Description of the Regional Network

The VII Region has a total of 7,385 km of roads. Paved roads add up to approximately 1,424 km, with the remaining 5,961 km being granular surface roads and a lesser percentage of natural dirt roads. Out of the total unpaved roads, 48.29% is under maintenance systems involving "Umbrella Conservation Contracts"; therefore, the remaining 51.71% of gravel and dirt roads are under the Direct Management system. This means that in at least 3,000 km of roads, conservation tasks are carried out directly by personnel and machinery belonging to the Regional Highway Department of the VII Region [1].

Characterization of the Regional Network	Conservation of Unpaved Roads
Paved 19%	Contracts 49%
INSERT CHART PAGE 1	INSERT CHART PAGE 1
Unpaved 81%	Direct Mgmt. 51%

1.2 Conservation in the VII Region: Local Problems and Current Strategies

The road network under Direct Management (D.M) is generally made up of unpaved roads that provide access to villages and agricultural and forestry sectors. Conservation work carried out through D.M. involves such operations as simple reshaping, compaction, and incorporation of chemical stabilizers. According to regional experience, the duration of these operations —and therefore their profitability— is mainly determined by two factors: a) the effects of climate and b) traffic. For this reason, the focus has been placed on improving control of these variables and efforts are being made to determine the best maintenance policies, all of which has resulted in the search for new methods and materials.

1.2.1 The Effects of Climate and Traffic in the VII Region on Granular Surfaces

There are two well defined seasons in the Region: the dry season (September-March) and the rainy season (April-August). The main problems arising from traffic are:

Rainy Season: The considerable amount of rain annually recorded in the zone (on average 735 mm/year) [2], the lack of necessary drainage works, and the poor condition of the roads as a result of the constant traffic flow of vehicles and motor graders during the summer, give rise to rainwater buildup in sectors with no road pumping systems and a weakening of the road due to saturation of the road surface. Given these conditions the passage of vehicles results in road deformation. After every rain event, roads need to be reshaped.

Dry Season: The high temperatures and scanty rain cause granular surfaces to lose moisture, thus resulting in weakened cohesion between fine and coarse particles. Vehicle traffic and the abrasion caused by tires end up breaking the fine-gross bond and the smaller material rises in the form of dust, settling to a large extent on the side of the road, mainly over homes and crops. Upon losing the fine material that holds it together, the grosser material breaks up, causing a washboard road surface and potholes. Once a month, the motor grader repairs these deformations, reshaping the surface but also thinning out the road running surface. The cohesion between the particles may be partly recovered by compaction and water spraying; however, the effect will be short lasting due to unavoidable evaporation.

Dust generation in summer is of special concern nowadays. Dust emissions cause severe damage both to people's quality of life and to their production activities. Unfortunately, few efforts have been made so far to seriously decrease such emissions. Some concepts that help to understand the importance of this issue are summarized below.

1.2.2 Problems Associated to Dust Generation

Dust consists of small airborne particles that are mostly formed by disintegration or fracture of solid materials. It has been estimated that between 2,000 and 3,000 million tons of dust accumulate in the atmosphere on a yearly basis [URL1]. The main sources of dust are wind erosion, earthquakes and volcanoes, mining, agriculture, and industrial activities. Dust has been classified into two primary categories according to size:

a) Inhalable dust (PM10):
Inhalable dust is defined as that fraction of dust that enters the body, but is trapped in the nose, throat, and upper respiratory tract. The particles of this dust are approximately 10 μm in diameter.

b) Respirable dust (PM2.5):
Respirable dust is defined as dust particles that are small enough to enter the nose and upper respiratory system and deep into the lungs. The particles that penetrate exceed the body's natural clearance mechanisms and are more likely to be retained inside the organism.

PM10 and PM2.5 particles may cause health problems. Given that they travel more deeply into the lungs and that they are formed by some toxic elements (such as heavy metals and organic compounds), PM2.5 particles may cause coughing and breathing difficulties, worsen asthma, cause lung damage (including decreased lung function and lifelong respiratory diseases) and, in extreme cases, death in individuals with heart and lung diseases.

The presence of dust in agricultural activities creates problems involving the poor appearance of crops, pests, low yields, and damage to workers' health. It is also responsible for various expenses associated to frequent irrigation with water, installation of nets or barriers, and the use of acaricides.

2 General Description of the Project

2.1 Objectives

The VII Region's Highway Department took up the challenge of doing research on the use of new materials for unpaved road maintenance purposes. The core objective of this research study was specifically to develop a methodology that would provide for:

a) Preventing the erosion of fines during the dry season so as to preserve cohesion, increase road durability and decrease dust emissions.
b) Having better roads at the beginning of the rainy season so as to improve water drainage through pumping.

To this end, a project was developed that sought to determine the actual performance of road surfaces treated with three chemical stabilizers. The test road sections were evaluated according to the following criteria:

i) Monthly progress of road surface quality, as measured by means of a visual evaluation and photographic monitoring
ii) The degree of dust suppression achieved by each product, as measured by means of the DustMate instrument, which is described later in this text.

2.2 Test Road

Location: The test road is officially called "Arboledas – FFCC por Piedra Blanca" RolJ-410, located in the Commune of Teno, a village situated 20 km north of the city of Curicó and adjacent to Route 5 South at approximately km 160.

Geometry: Average width: 5.8 m; length: 5.0 km. The road is described as lacking significant variations in vertical geometry, and with closed horizontal curves and a small radius.

Traffic: The estimated mean annual daily traffic (MADT) ranges from 150 to 200 vehicles, a large percentage of which are simple two-axle trucks.

Rains: As in the rest of the region, the rainy season usually extends between the months of April through August, with an average annual precipitation of 700 mm for the zone.

Social Impact: The road is mainly used for agricultural purposes, with permanent truck and machinery traffic. A small community lives on lands adjacent to the road.

Conservation: Conservation of this road has been traditionally under the Direct Management system under the charge of the Provincial Highway Office of Curicó, which has carried out simple reshaping work on a monthly basis, with an average annual investment of $1.2 million.

2.3 Products Used

Three products were selected for this study, namely:

1. Sodium Chloride (Salt): This product is applied in bulk, by blending it with the surface material. The application dose ranges between 2% and 5%, which means a consumption of 50 to 100 ton/km. The product is not practical for being sprayed, as too much water is required to dissolve the proper dose[1]. It is exclusively used as a road surface stabilizer and requires that the granular material to be used have a plasticity index of at least 6%.

2. <u>Permazyme</u>: This is an enzymatic product of organic origin which is diluted in water and applied prior to compaction. It acts upon fine organic materials, producing a cementation and compaction effect. The dose to be used is 1 liter per every 33 m3 of material; that is, for one kilometer of road, approximately 33 liters of solution are required to be dissolved in water for spraying. Just like the case of Sodium Chloride, this product works well with materials with a PI higher than 6%.

[1] Under laboratory conditions, no more than 300 g of Sodium Chloride can be dissolved per liter of water.

3. Magnesium Chloride Hexahydrate (Bischofite): This is a highly hygroscopic[2] compound obtained as a by-product of the manufacture of lithium. The application dose for stabilization work ranges between 3% and 5% (approximately 60 to 100 ton/km) depending on the PI of the granular material, and may be applied on road surfaces without plasticity. The product is highly soluble in water and can be dissolved in a ratio of up to 1.5 kilos per liter of water; it is therefore recommended for spraying applications. For surface dust control applications a 3 kg/m2 dose is used.

2.4 Description of Road Sections

The following chart shows the road sections defined for the study:

SECTION	LOCATION	LENGTH (m)	PRODUCT	TREATMENT	DOSE	CONSTRUCTION DATE
1	KM 0.0 TO 0.5	500	Bischofite	Stabilization	80 kg/m3	17-Jan-2006
2	KM 0.5 TO 1.2	700	Salt	Stabilization	65 kg/m3	19-Jan-2006
3	KM 1.2 TO 2.5	1,300	Bischofite	Dust Control	3 kg/m2	12-Dec-2005
4	KM 2.5 TO 3.5	1,000	Permazyme	Stabilization	0.03 lt/m3	15-Dec-2005
5	3.5 TO 5.0	1,500	Salt	Stabilization	65 kg/m3	12-Dec-2005

The length of each section was determined according to the availability of each product in the Regional Highway Department, based on the dosage recommended by each vendor.

Surface Material: A crushed granular material whose characteristics are shown below was used in the test sections.

Sieve Test (mm)	Mesh	Sample		
50	2"	100%		
25	1"	84%		
10	3 /8"	59%	MCS Density	2,201
5	#4	5 0%	Optimum Moisture	6.9
2	#10	85%	Natural Moisture	1.5%
0.50	#40	25%	Plasticity I. (PI)	5.9%
0.08	#200	11%	Non- submerged CBR	89

For Section No. 2, Dust Control with Bischofite, material existing on the road was used.

2.5 Type of Monitoring and Observations

2.5.1 Visual and Photographic Monitoring Record

All test sections were visited on a monthly basis so as to evaluate the quality of service in each of them. For each visit, a photographic record was made of the condition of each section; care was taken to take the photographs at the same site in each inspection.

[2] It captures moisture from the environment starting from relative humidity values higher than 32%.

2.5.2 Dust Emission Control with DustMate

Motivated by the work done by the CIIV[3] of the DICTUC, Pontificia Universidad Católica de Chile, in using DustMate[4], the Regional Department's research team managed to use this instrument in the project in order to objectively quantify the efficiency of the various products applied in the test sections of the road.

DustMate is an instrument developed by the English firm Turnkey Instruments, which is capable of collecting a sample of the surrounding air directly by means of a 600 cc/min capacity internal pump. The particles absorbed are analyzed for quantity and size by a laser photometer that delivers particulate matter concentration levels for particle sizes PM1, PM2.5 and PM10 with a frequency of up to one sample per second [3].

Measurements are made by installing the aspirator pump on the rear bumper of the vehicle, just behind the rear wheel, so as to capture the amount of dust generated by the traction of the tire against the road surface. As the vehicle rides over the road, it allows the equipment to store data about the dust level at each spot, on a second-by-second basis. This enables distance vs. emission curves to be built in order to evaluate the various road sections under analysis in this study.

Emission levels were measured on the test road prior to applying any of the products in order to determine product efficiency. This allowed for quantifying before and after performance of each test section, considering measurements every 50 days.

Measurement No.	Date	Day No.	Interval between measurements (days)
1	24-Nov-05	Measurement prior to applications	
2	18-Jan-06	0	
3	10-Mar-06	51	51
4	27-Apr-06	99	48
5	21-Jun-06	154	55

3 Results

3.1 Visual and Photographic Monitoring

Below are the results of the visual and photographic monitoring record of the road sections; data was collected at the midpoint of each section. Although monitoring was conducted on a monthly basis, for the sake of brevity only the photographs of the first and last inspection have been included in this report.

[3] Centro de Investigación e Ingeniería Vial (Highway Research and Engineering Center).

[4] Research study on the efficiency of Dust Control treatment in the Radomiro Tomic Mine between 2003 and 2005, the results of which were presented at the Congreso Provial 2004.

Section No. 1: Stabilization with Magnesium Chloride (Bischofite)
Construction date: January 17, 2006

Inspection 23-Feb-06
Day 37
Inspection 20-Jul-06
Day 184

INSERT PHOTO PAGE 6

The upper photograph shows the condition of Section #1 37 days after construction; the road surface exhibits no wear and tear, is well stabilized and with no dust emissions. After a period of intense rain in May and June, erosion of surface fines may be seen in this section (see texture). The final inspection, conducted 184 days after construction, shows the section with its initial characteristics almost intact, free from potholes and wear and tear.

Section No. 2: Stabilization with Sodium Chloride (Salt)
Construction date: January 19, 2006

Inspection 23-Feb-06
Day 35
Inspection 20-Jul-06
Day 182

INSERT PHOTO PAGE 7

The upper photograph shows the condition of Section #2 35 days after construction; the road surface exhibits no wear and tear, is compact and with no dust emissions. In mid-April the road surface exhibits great hardness and no dust; however, the first potholes have begun to appear after the beginning of the rainy season. The final inspection, carried out 182 days after construction, shows a road section with a number of potholes, loss of cohesion, and erosion in several sectors.

Section No. 3: Dust Control with Magnesium Chloride (Bischofite)
Construction date: December 12, 2005

Inspection 20-Jul-06
Day 220
Inspection 23-Feb-06
Day 73

INSERT PHOTO PAGE 8

The upper photograph shows the condition of Section #3 73 days after construction; the road surface is smooth and with no dust emissions. Work done in this road section involved a surface application of bischofite spraying (3kg/m2), and only reshaping the existing road surface material. In mid-March, it was observed that a hard superficial crust had formed that delivers a high-quality road surface, which softens during rainy weather and consolidates again after a few days. In May, after the heavier rain period, erosion of the product and the appearance of the first potholes start becoming evident. During the final inspection carried out 220 days after the application, some sectors indicate that the initial road surface quality and practically all the product have been lost, although the cohesion of the material is preserved. The moisture left by the rains caused the dust suppression effect to last up to this date.

Section No. 4: Stabilization with Permazyme
Construction date: December 15, 2005

Inspection 23-Feb-06
Day 70
Inspection 22-Mar-06
Day 97

INSERT PHOTO PAGE 9

Section #4, 70 days after construction, is the one that exhibits the worst performance, as there is no cohesion of fines and it releases a large amount of dust. During the inspection of March 22 (97 days after construction), this section exhibited such a high degree of deterioration that the decision was made to intervene it and to discontinue further monitoring.

Section No. 5: Stabilization with Sodium Chloride (Salt)
Construction date: December 19, 2005

Inspection 23-Feb-06
Day 66
Inspection 20-Jul-06
Day 213

INSERT PHOTO PAGE 10

During the first visual inspection, 66 days after construction of this section, the pavement may be seen to be in good condition, with a high degree of consolidation, good quality road surface, with no potholes or dust. At the end of the month of April, the first potholes start appearing alongside with the beginning of the rainy season. After May and June, this section exhibits considerable deterioration due to the appearance of numerous “cup like” potholes, which become larger with every rain.

3.2 Results of Dust Emission Control with DustMate

3.2.1 Initial Measurement

SECTION	LOCATION	LENGTH (m)	PRODUCT	TREATMENT	PM10 24/11/05
1	KM 0.0 TO 0.5	500	Bischofite	Stabilization	4,727.1
2	KM 0.5 TO 1.2	700	Salt	Stabilization	4,016.9
3	KM 1.2 TO 2.5	1,300	Bischofite	Dust Control	3,253.8
4	KM 2.5 TO 3.5	1,000	Permazyme	Stabilization	4,348.8
5	3.5 TO 5.0	1,500	Salt	Stabilization	4,202.5
				AVERAGE	4,109.8

The chart shows the average initial values for PM10 particulate matter emissions on the road, prior to the application of the products (Measurement No. 1). The photographs show the visible dust on the road produced by a vehicle riding at 50 km/h along test sections 2 and 3, respectively, on the date of the initial measurement.

INSERT PHOTOS PAGE 11

3.2.2 Post Construction Measurements

3.2.2.1 Product Efficiency

The most representative index to determine the effectiveness of each product was deemed to be the quantification of the emission percentage reduction with respect to the initial situation (measurement No. 1). This has been called “efficiency” and its value is obtained according to:

Efficiency = 100(1-(PM after / PM before))*

The values of *PMbefore and PMafter* represent the averages of each section measured. The chart presents a summary of the post-application measurements with which the efficiency values for each product were obtained.

SECTION	LOCATION	LENGTH (m)	PRODUCT	TREATMENT	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06	PM10 21/06/06
1	KM 0.0 TO 0.5	500	Bischofite	Stabilization	53.6	84.7	223.5	36.0
2	KM 0.5 TO 1.2	700	Salt	Stabilization	357.7	1,056.4	281.3	57.8
3	KM 1.2 TO 2.5	1.300	Bischofite	Dust Control	133.2	106.4	219.4	69.7
4	KM 2.5 TO 3.5	1.000	Permazyme	Stabilization	2,011.0	2,410.6	295.0	114.1
5	3.5 TO 5.0	1.500	Salt	Stabilization	147.2	477.5	490.2	52.4

3.2.2.2 The Effect of Rain on the Analysis

Measurement No.	Date	Rain Accumulated to Date (mm)	Days Elapsed since the Last Rain
1	24-Nov-05	-	-
2	18-Jan-06	0.0	-
3	10-Mar-06	1.0	12
4	27-Apr-06	14.5	9
5	21-Jun-06	266.0	3

The performance of the various sections in the presence of rain in the zone is shown below.

Product Efficiency vis-à-vis Rain

INSERT CHART PAGE 12

mm (accumulated rain)

The chart shows the performance of the sections up to the 4th measurement, when accumulated rain reached 14mm [5]. The sections treated with Bischofite maintain their initial efficiency standard throughout the dry season (above 93%), which is explained by the fact that the hygroscopicity of this product helps preserve the optimal moisture starting from relative humidity higher than 32%. On the other hand, in the sections treated with Sodium Chloride and Permazyme efficiency falls during the dry season (values below 90%). The section treated with Sodium Chloride gradually improves with the first rains as the pavement slowly recovers its optimal moisture. The section treated with Permazyme had to be rebuilt prior to the beginning of the rainy season due to its premature deterioration.

The last measurement was made on June 21, when accumulated rain reached 266 mm only after three days of intense rain; this yielded efficiency values close to 100% in all sections. Given the difficulties in determining the degree of efficiency of the products by themselves under these conditions, the results of this last measurement were not taken into account in this study.

3.2.2.3 Efficiency Results by Section

Section 1 (Stabilization with Magnesium Chloride Hexahydrate (Bischofite))

SECTION	LOCATION	PRODUCT	TREATMENT	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
1	KM 0.0 TO 0.5	Bischofite	Stabilization	99%	98%	95%

Section No. 1 shows an initial emission reduction of 99% with respect to the natural ground, with values that continue almost unchanged in later measurements, i.e. 98% in March and 95% in April. Bischofite used as a stabilizer exhibits a high performance as a dust suppressor.

Section No. 2 (Stabilization with Sodium Chloride (Salt))

SECTION	LOCATION	PRODUCT	TREATMENT	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
2	KM 0.5 TO 1.25	Salt	Stabilization	92%	74%	93%

Section No. 2 also shows a relevant initial abatement of particles, reaching 92% efficiency. The subsequent measurement made in March shows a loss of effectiveness, reaching 75% particle abatement. As of the measurement of April 27, the effectiveness value rises (93%), which may be attributed to hydration resulting from the first rains of the season.

Section 3 (Dust Control with Magnesium Chloride Hexahydrate (Bischofite))

SECTION	LOCATION	PRODUCT	TREATMENT	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
3	KM 1.2 TO 2.5	Bischofite	Dust Control	96%	97%	93%

In the case of Section No. 3, there is an initial reduction of 96% and an increase up to 97% in the subsequent measurement. This may be explained by the consolidation resulting from traffic along this road section after the application, taking into consideration that this section was not stabilized, but instead the product was applied directly on the existing ground. By mid-April, the measurement yielded 93% effectiveness, a decrease that may be explained by the beginning of the rainy season and the decreased concentration of the product, which is applied at a dose four times smaller than for stabilization.

Section No. 4 (Stabilization with Permazyme)

This section turned out to have the lowest performance, with an initial 54% and a gradual decline down to 45% in mid-March. At the beginning of April this road section had to be rebuilt on account of its poor condition; for this reason monitoring thereof was deemed to be completed.

Section No. 5 (Stabilization with Sodium Chloride (Salt))

SECTION	LOCATION	PRODUCT	TREATMENT	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
5	3.5 TO 5.0	Salt	Stabilization	96%	89%	88%

The last section also initially exhibited a fair level of particle abatement (96%), with efficiency gradually falling to 88% in the month of April.

3.2.2.4 Results by Product

Product	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06	Average
Bischofite	97%	97%	94 %	9 6%
Salt	9 4%	81%	91 %	8 9%
Permazyme	5 4%	45%	-	4 9%

Averaging product efficiencies as dust suppressors in each of the road sections shows that the most effective product is Magnesium Chloride Hexahydrate (Bischofite), with an average of 96%, followed by Sodium Chloride (Salt) with 89%, and finally Permazyme with 49%.

Average Efficiency by Product

INSERT CHARTPAGE 13

Bischofite Salt Permazyme

4 Economic assessment

4.1 Background

The purpose of any road maintenance unit is to provide the best possible service standards to the users, maximizing profitability of the investments made upon the road. The loss of fines on the road surfaces is a very bad business for road administration offices: It is a signal of accelerated deterioration and discomfort to the users, the migration of the fine particles removes cohesion from the supporting structure with the consequence of formation of potholes, washboard ripples and above all the nuisance of dust. The application of a good dust control treatment can not only eliminate the polluting effects but is also a savings in the use of machinery for the conservation of the granular material forming the road surface. The increase of surface cohesion increase between fine and gross material lengthens their useful life during most of the dry season.

As the performances of the different products were already determined, it was necessary to evaluate the economic usefulness of the implementation of a dust control solution during the summer period, comparing it with the traditional conservation alternative, that is, without the use of products. The *bischofita*, product was chosen for the evaluation, as it had shown the best performance on the tests segments.

4.2 Service level and profitability calculation (estimate for a six-month dry season).

The standards or service levels desired for the road must be defined. The element or elements of the road are identified and their expected performance level defined to this end, as shown in the table below:

Element	Variable	Expected S.L.	Alternative	Required activities
Road surface	Road surface quality	1. No washboard ripples or potholes 2. Roads for light and high traffic without generation of visible dust.	Water	Simple reshaping
				Water irrigation
				Replace 33% of granulated material
			Bischofita	Initial road reshaping and compacting
				Product application

		Total interventions during six months	
Item	$ /k m	Dust control with Bischofita	Simple reshaping
reshaping	$ 33,000	1	6
Compacting	$ 80,000	2	0
Erosion (*)	$ 1,212.750	0	1
Irrigation	$ 2,000	0	360
Bischofita spreading	$ 1,750, 000	1	0
	Total	$ 1,863,000	$ 2,130,750
	Cost per km/month	$ 310,500	$ 355,125

(*): Equivalent to 33% of the road surface granular material

Unit prices are averages obtained by the regional SAM[5]

	Type of conservation	
Month	With Bischofita ($/km)	Traditional $/km)
1	1,863,000	355,125
2		355,125
3		355,125
4		355,125

[5] Acronym of the Regional Maintenance System Administration of conservation operations

5		355,125
6		355,125
VAN	1,863,000	1,892,630

Discount rate 5.0%
TIR 6%

From this calculation it appears that the execution of a dust control operation is fully paid off at the end of the dry season, as significant savings are made in the items “loss of granular material” and “water irrigation”.

The analysis does not recognize other benefits, such as: i) Road safety increases due to better visibility: ii) better health conditions for people living next to the road; iii) lesser operation and maintenance costs for the vehicles; iv) larger availability of machinery for the conservation of other roads;
v) Improvement in the quality of the plant cultures and vi) less losses due to damages to the goods transported.

5 Conclusions and recommendations from the study

5.1 Conclusions about products

● The greatest efficiency found was that of the Magnesium chloride hexahydrate solution applied to a granular base road surface. This is demonstrated not only by its immediate effect as dust suppressor, but also it maintains high service road standards over time. Once the rains started, and up to the last visit to the stretch stabilized with bischofita (20/06/2006), this remained in excellent conditions, and considering that the rains accumulated in the zone up to that dater were of 280mm, there was not degree of deterioration at all. This stretch, under permanent rain conditions, maintained its profile and cohesion in better shape and for a longer time as compared to the rest of the stretches. This is apparently due to the fact that the good road surface allowed a better transversal evacuation of rainwater. Up to this date, this first study on the use of this product as stabilizer in the Center-South zone is considered as a success. However, in order to have a firmer opinion about its performance, its follow-up must continue for a couple of years at least.

The stretch with dust control treatment of the surface using bischoftita attains a total suppression of the particulate material emissions and its efficiency remains constant in time, its effect diminishes gradually with the first rains. This type of application forms a very good quality road surface and its performance does not depend on traffic, this factor event helps to consolidate the product. Under permanent rain conditions, the road returns to its normal state and behaves simply as a “wet dirt road”. Once the rain event ends, the road loses its saturation and is compacted and consolidated anew due to the passing of vehicles. Considering the low application dose required to obtain the desired effect (3 kg/M^2 or equivalent to 20 ton/km[6]) and given its tested durability in this study over the whole dry season, it is highly recommended to effect this application at the start of the summer season, as this is an effective and economical solution which allows avoiding the traditional routine conservation operations during the whole spring-summer period.

Intervening the stretches during the rest of the season after the initial application was not necessary. The road surfaces maintained their initial appearance, free from potholes, washboard ripples and dust. A determining factor for the good performance of the products is the initial state of the road surface: it is highly recommended to repair the stretches before the application, either by reshaping or scarification and compacting.

● Roads stabilized with sodium chloride attain good conditions and allow obtaining road surfaces with a high cohesion degree, free from dust and with a good performance as to surface quality. However, great care must be taken un the construction phase so as to obtain a very good homogenization of the product as it must be applied dry, there can be volumes with lesser concentrations, thus generating weak points which in the middle term become a series of potholes along

[6] Considering an average width of 6 to 7 meters.

the road. During June, the stretches with salt showed a great hardness condition, but at the same time there were deformation of the pothole and rut types, distributed along the road.

The product reached a high initial efficiency percentage, according to the results measured by DustMate (over 92%), attaining the aim of mitigate the emissions, which could also be appreciated visually during each inspection, as it was not possible to see dust generation on the passing of vehicles. As the high temperatures season goes on, it can be seen that this type of road surfaces dry up, their efficiency decreases and they generate dust, although in a small amount, therefore it is advisable to moisten them periodically with water.

Intervening the stretches after its application and during the rest of the dry season was not necessary. The road surfaces maintained their initial appearance, free from potholes, washboard ripples and dust until the start of the rainy season.

- The stretch treated with Permazyme did not show good results, and deteriorated shortly after the application. It reached an indicial abatement of 54% according to the DustMate measurements, which is considered insufficient as this road segment showed visible dust a few days after the application of the product. Furthermore, It did to maintain good cohesion during the follow-up period, loose material was recorded shortly after the construction of the stretch, besides ruts and washboard ripples.

5.2 General conclusions

- A determining factor for the good performance of the products is the initial state of the road surface: it is highly recommended to repair the stretches before the application, either by reshaping or scarification and compacting, or If resources are available, build full thickness stabilized road surfaces, or use surface sealing to control their emissions and deterioration.

- The dust emission problem phenomenon must be faced at the beginning of the dry season. At the start of the rainy season, a natural abatement of the emissions takes place, of almost 100% according to DustMate measurements. Implanting a dust control strategy improves the people's lifestyle quality, according to the persons living in the environment near the road. Added to road surfaces of a much higher quality as compared to untreated roads. The mitigation of the emissions produced a considerable increase in road safety, given the increased visibility.

- Users increase speed in treated roads. The increase in speed is estimated at 25% as compared to the former situation; therefore it is highly advisable to design a road safety plan incorporating speed restriction signals.

- The possible or eventual effects of the application of new products can always happen and represent a concern. In this respect, a permanent vigilant attitude must be maintained, so as to detect problems early on and carry out mitigation measures to avoid damages. However, it is believed that the worst thing would be to take a fearful stance concerning the use of not so well-known products. On the contrary, one must be prepared to take risks and innovate, improving the works to be built. In this regard, it was possible to observe that until the date of the last inspection, the surrounding vegetation did not show any signs of damages after the application of each product. On the contrary, the decrease of dust that falls upon the leaves has a positive effect on the surrounding cultures and the flora in general.

- There is no doubt that work procedures have a very important influence on the good results obtained in this study. This may seem obvious, but the manner in which it is applied is as important as the quality of the stabilizer. A high percentage of achievement of the objectives is obtained when following well-programmed work protocols and counting on adequate material and human resources. It is important to note that a positive attitude was found in the Direct Administration personnel carrying out the work. This study was outside their usual work, so they were interested in participating in different operations, different work procedures of new and higher technology.

Bibliography

URL

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

Texts

[1]: [1]: DEPTO. GESTIÓN VIAL (2004). Dimensionamiento Red Vial Nacional. Dirección de Vialidad, MOP Chile,
(HIGHWAYS MANAGEMENT DEPT. (2004). Dimensions of the National Roads Network. Highways Board, MOP Chile),

[2]: RAFAEL NOVOA S. (1989). Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias
(Agro-climatic map of Chile. Agriculture and Livestock Research Institute – 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
(Method to measure the dust generated by vehicles on paved roads. CIIV, Dictuc, Pontificia Universidad Católica de Chile).

[4] DIRECCIÓN REGIONAL DE VIALIDAD VII REGIÓN. Report SAM 2005.

[5]: DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (2006). Resumen de precipitaciones estación Curicó
(WATER BOARD (2006). Curicó Weather Station Precipitations Summary)

N° 3 ROADMAG EFFICIENCY REPORT

DUST EMISSION MEASUREMENT BY DUSTMATE, PM10 AND PM2.5

1. Road Antecedents

Type of application: Dust Control
Road: La Montaña km 18 to 22
Municipality: Teno
VIIth Region …….
Customer: Cementos Bío Bío

2. Average results

	Before RoadMag	After RoadMag			% abatement on	% abatement on	% abatement on
	Jan 18 06	Mar 10 06	Apr 27 06	Jun 21 06	Mar 10	Apr27.06	Jun 21, 06
PM10	3150.6	34.7	291.6	513.2	98.9%	90.7%	83.7%
PM2.5	2656.9	29,8	277.1	424.6	98.9%	89.6%	84.0%

3. Comments. Conclusions and recommendations

After 5 months from the application the efficiency percentage for both PM10 and PM2.5 is around 84%. The decrease of the effect, the deterioration of the surface and the visible dust that appear are due to the rains accumulation in the zone, which weaken the surface cohesion and caused the loose material to have an abrasive effect on the road surface.

The following conclusions can be obtained from the follow up of this study, using DustMate equipment:

1. Traffic volume does not negatively affect the efficiency of the product.
2. The recommended dose for dust control (3 kg/m2) behaved efficiently and it was not necessary to make conservation applications during the dry season.
3. The efficiency percentage reamaine4d around 98% after the application and during the whole dry season (January-March).
4. After the first April rains the stretch treated with the product reached a 90% of abatement.
5. The abatement of particles measured at the end of June is of 84% in the treated stretch. At that abatement percentage, the presence of dust can already be seen.
6. The untreated stretch (km 22 onwards) showed an average of 1390 PM10, equivalent to 65% of natural abatement of particles as a result of the rains.
7. The stretch treated with RoadMag has always had a better aspect than the remainder of the road.
8. The application of RoadMag and the sluicing of product to the lateral sectors during the rains did not affect the surrounding vegetation in any way.

Recommendations

1. Carry out particles sampling with DustMate equipment installed on a typical loaded truck, so as to measure the emission level of heavy vehicles.

2.

Graphs

Emisión PM10 particles

Emisión PM2.5 particles

REFERENCE (km)

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.

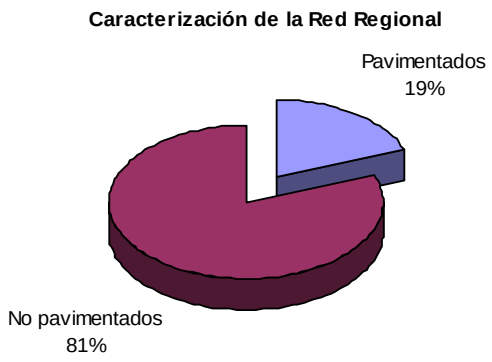
El análisis se basó en el seguimiento visual de los tramos de prueba y en el Protocolo de Medición de polvo diseñado por el DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile utilizando el equipo Dustmate, lo que permitió cuantificar por primera vez y de manera objetiva las emisiones de polvo, y consecuentemente,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

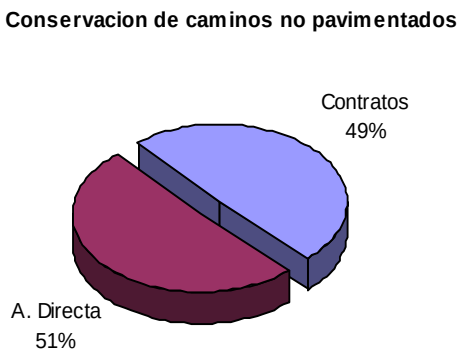
Finalmente, se presenta una evaluación económica de las políticas de conservación rutinaria mediante la comparación de las operaciones de: Reperfilado Simple y Recebo Granular v/s un Tratamiento Supresor de Polvo (TSP) . Esta evaluación considera aspectos como disminución de pérdidas del material granular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





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

La red bajo Adminsitración 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 reperfilado 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 reconformados 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, reperfilando 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 adecuada[1]. 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 higroscópico[2] 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/m3	17-Ene-2006
2	KM 0,5 AL 1,2	700	Sal	Estabilización	65 kg/m3	19-Ene-2006
3	KM 1,2 AL 2,5	1.300	Bischofita	Control de Polvo	3 kg/m2	12-Dic-2005
4	KM 2,5 AL 3,5	1.000	Permazyme	Estabilización	0,03 lt/m3	15-Dic-2005
5	3,5 AL 5,0	1.500	Sal	Estabilización	65 kg/m3	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%
5	#4	50%
2	#10	85%
0,50	#40	25%
0,08	#200	11%

Densidad MCS	2.201
Humedad Optima	6,9
Humedad Natural	1,5%
I. Plasticidad (IP)	5,9%
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 CIIV[3] del DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile con el uso del DustMate [4], 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 Provial 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

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

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:

Eficiencia = 100*(1-(PM después / PM antes))

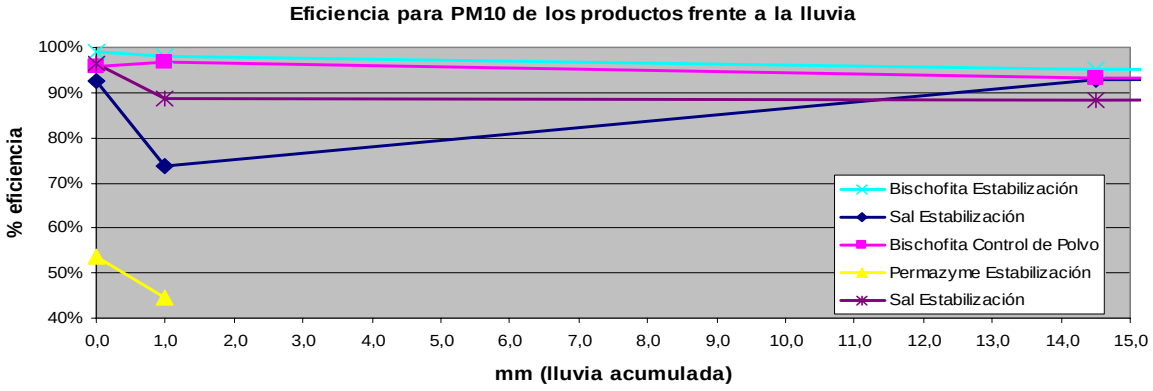
Los valores de *PMantes* y *PMdespués* representan los promedios de cada tramo medido. El cuadro presenta el resumen de las mediciones post-aplicación con que fueron obtenidas las eficiencias de cada producto.

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 producto por si 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 Polvc	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))

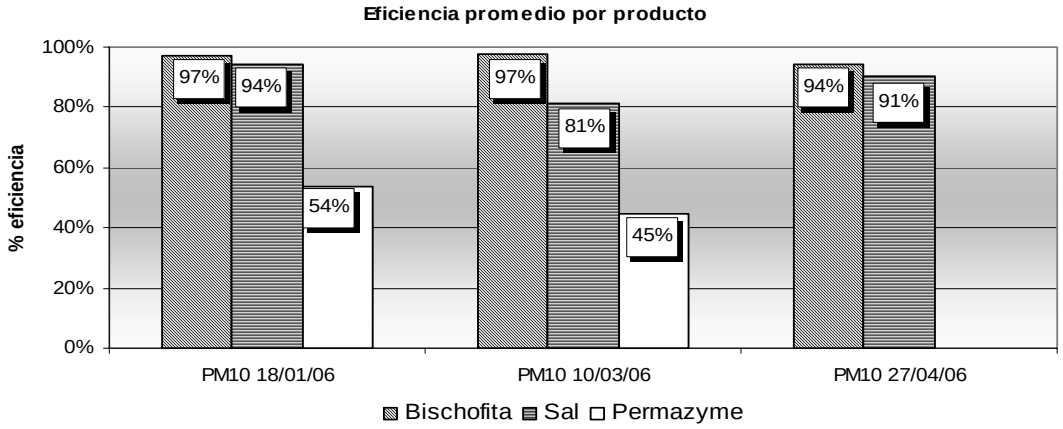
TRAMO	UBICACIÓN	PRODUCTO	TRATAMIENTO	PM10 18/01/06	PM10 10/03/06	PM10 27/04/06
5	3,5 AL 5,0	Sal	Estabilización	96%	89%	88%

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

		Total de intervenciones en 6 meses	
Item	**$/km**	**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 SAM[5] regional.

	Tipo de Conservación	
Mes	**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/km[6]) 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 reperfilado 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.

INFORME N°3 DE EFICIENCIA ROADMAG
MEDICIÓN DE EMISIONES DE POLVO PM10 Y PM2,5 CON DUSTMATE

SALMAG

1. Antecedentes del camino

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

2. Resultados promedio

	Antes de RoadMag	Después de RoadMag			% abatimiento al	% abatimiento al	% abatimiento al
	18-Ene-06	10-Mar-06	27-Abr-06	21-Jun-06	10-Mar-06	27-Abr-06	21-Jun-06
PM10	3150,6	34,7	291,6	513,2	**98,9%**	**90,7%**	**83,7%**
PM2,5	2656,9	29,8	277,1	424,6	**98,9%**	**89,6%**	**84,0%**

3. Comentarios, conclusiones y recomendaciones

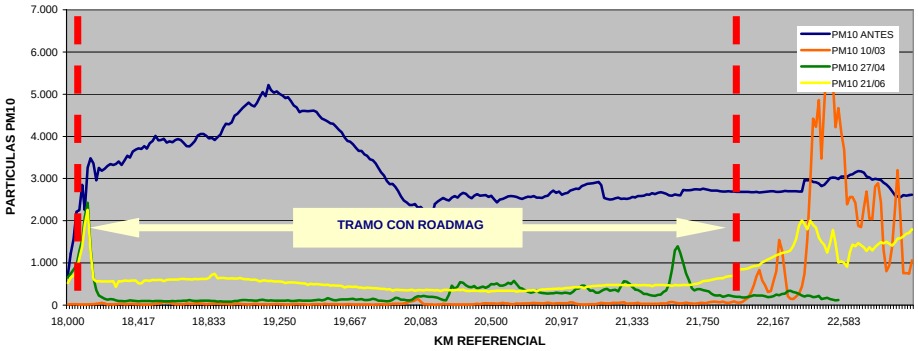
Pasados 5 meses de la aplicación, el porcentaje de eficiencia tanto para PM10 y PM2,5 se encuentra cercano al 84%. La disminución del efecto, el deterioro de la superficie y la aparición de polvo visual se deben a las lluvias acumuladas en la zona, las cuales debilitan la cohesión superficial y han generado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

Del seguimiento de esta experiencia mediante las mediones del DustMate se obtienen las siguientes conclusiones:
1. El volumen de tránsito no afecta en forma negativa a la eficiencia del producto.
2. La dósis 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 la primeras lluvias de abril, el tramo aplicado con producto alcanzó a fin de ese mes un 90%
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 RoadMag siempre ha presentado mejor apariencia que el resto del camino.
8. Ni la aplicación de RoadMag y ni el escurrimiento de producto hacia los sectores laterales durante las lluvias afectó en ninguna forma la vegetación colindante.

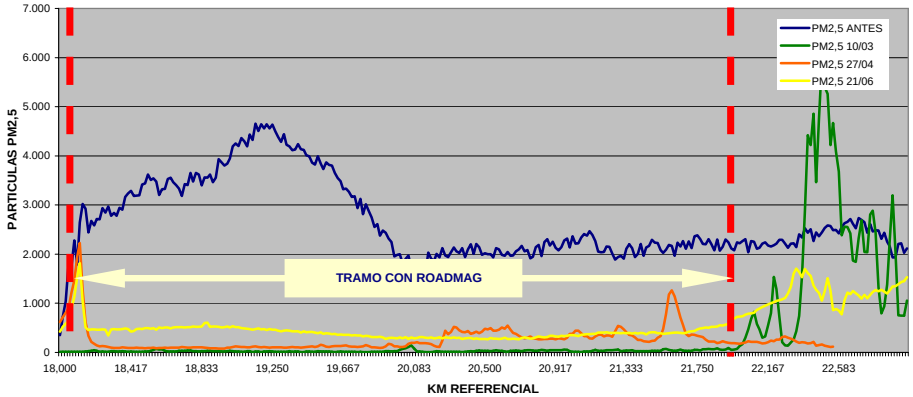
Recomendaciones
1. Realizar un muestreo de partículas con el equipo DustMate montado sobre un camión de carga tipo, de manera de cuantificar nivel de emisiones de vehículos pesados.

4. Gráficos

EMISIÓN PARTÍCULAS PM10



EMISIÓN PARTÍCULAS PM2,5



FDM
SALMAG 10.07.06