

Pavimentos - T 068

EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DE BISCHOFITA PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS ENRIPIADOS EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Dr. Ing. Marcelo BUSTOS *
Mg. Ing. Pablo GIRARDI MANCINI *
Msc. Ing. Oscar V. CORDO *
Mg. Ing. José A. HIDALGO **

(*) Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Universidad Nacional de San Juan.

(**) Empresa VIALTEC S.A. Pcia. de San Juan.

ARGENTINA

EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DE CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO (BISCHOFITA) PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS ENRIPIADOS EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Autores:

Dr. Ing. Marcelo G. Bustos

Mg. Ing. Pablo Girardi Mancini

Msc. Ing. Oscar V. Cordo

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Universidad Nacional de San Juan

Mg. Ing. José A. Hidalgo

Empresa VIALTEC S.A.

Palabras Clave: Bischofita – Estabilización Química - Caminos No Pavimentados –
Conservación Redes Terciarias – Contaminación Ambiental

RESUMEN

En la provincia de San Juan una gran proporción de la producción primaria, tanto agropecuaria como minera, se transporta por caminos no pavimentados, los cuales requieren un mantenimiento periódico que implica un importante flujo de insumos tanto humanos como económicos. Para optimizar los recursos destinados a la conservación de este tipo de caminos, e incrementar la durabilidad de los caminos no pavimentados en el tiempo, se están comenzando a utilizar productos de origen químico destinados a estabilizar la capa superficial de rodadura y de esa manera reducir sensiblemente la progresión de u deterioro superficial, además de minimizar efectos ambientales nocivos tales como la emisión de polvo en suspensión.

Entre estos productos se encuentra el cloruro de magnesio hexahidratado o "bischofita". Se trata de un cloruro de características higroscópicas, baja temperatura de congelamiento y alta solubilidad que puede utilizarse para la conservación de caminos enripiados bajo dos modalidades: como tratamiento superficial supresor de polvo, o bien como estabilizador de la capa superficial de rodadura en un cierto espesor de la misma.

Este trabajo presenta los principales aspectos conceptuales y resultados parciales obtenidos en el proyecto de investigación "*Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores químicos en caminos no pavimentados*", del cual participan instituciones viales gubernamentales, académicas y privadas, y cuyo principal objetivo es evaluar comparativamente la conveniencia del uso de la bischofita respecto a la conservación tradicional, para las condiciones propias de la provincia de San Juan.

Dentro de este proyecto, se han seleccionado y acondicionado tramos experimentales, los cuales se han dividido en subtramos que en algunos casos han permanecido bajo una conservación de tipo convencional, y en otros han recibido la aplicación de bischofita en alguna de sus dos modalidades de uso. Para comparar el comportamiento mostrado por los distintos subtramos, se han medido y procesado datos tales como rugosidad y emisión de polvo, con el instrumental adecuado.

Los resultados preliminares permiten comprobar que la aplicación de este producto contribuye a mejorar las condiciones de circulación en los caminos sin pavimentar, reduce la progresión de su deterioro superficial, y disminuye significativamente el impacto ambiental asociado a la emisión de polvo por el paso de los vehículos.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes viales están conformadas por caminos tanto pavimentados como no pavimentados. Múltiples investigaciones y estudios se han llevado a cabo sobre las características y procedimientos de diseño para caminos pavimentados, ya que éstos permiten el transporte de gran parte de los bienes y servicios que se producen dentro del territorio nacional o se introducen al mismo, y en consecuencia tienen alta prioridad en la asignación de recursos para su construcción y conservación. No ocurre lo mismo con los caminos no pavimentados, cuya capa de rodamiento está constituida por ripio o tierra, pese a que habitualmente conforman en extensión la mayor parte de la red vial. Esto se debe fundamentalmente a que estos caminos tienen un tránsito relativamente bajo, lo que hace económicamente inviable su pavimentación.

No obstante, dichos caminos revisten una importancia fundamental en el aparato productivo y en el crecimiento social de la población, ya que permiten conectar poblaciones rurales con el resto de la región circundante y del país, realizar el transporte inicial de la producción de centros con potencial económico (zonas mineras, agrícolas o ganaderas) hasta las redes pavimentadas, o incluso garantizar la accesibilidad a sectores de gran valor estratégico (zonas de frontera). Por ello, es muy importante asegurar su transitabilidad en condiciones mínimamente aceptables durante el tiempo más prolongado posible.

Para ello, los organismos viales aplican usualmente técnicas tradicionales de conservación, que incluyen el repavimentado (pasada de motoniveladora para restaurar el perfil transversal del camino y mejorar su transitabilidad, tal como se muestra en la Fig. 1), la reposición de capa de grava (colocación de ripio graduado para restaurar un determinado espesor de capa de rodamiento), la mejora de baches mediante colocación puntual de grava, riego y compactación superficial, etc. Todas estas técnicas tradicionales incluyen solamente al agua como "ligante" temporal entre las partículas, y su influencia desaparece al evaporarse.

La ejecución de estas tareas implica erogaciones de magnitud no despreciable en maquinarias, personal e insumos, especialmente cuando los caminos sin pavimentar forman redes muy extensas. Lo mismo ocurre con las empresas que deben hacerse cargo del mantenimiento de sus propios caminos de acceso, como ocurre con el caso de los emprendimientos mineros que habitualmente están situados en zonas montañosas o desérticas. En tal sentido, durante los últimos años se están utilizando en Argentina diversos

productos de tipo químico, que permiten conservar por más tiempo un buen estado superficial en los caminos no pavimentados.



Figura 1. Motoniveladora realizando tareas de reperfilado en un camino no pavimentado

Su aplicación, no obstante, es bastante reciente, y en consecuencia se hace necesario desarrollar estudios específicos para comparar su efectividad respecto a las técnicas convencionales de conservación en caminos sin pavimentar, y cuantificar los eventuales beneficios para la comunidad asociados a su utilización, bajo las condiciones propias de la región cuyana.

2. OBJETIVO DEL ARTÍCULO

La Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña (EICAM) de la Universidad Nacional de San Juan se encuentra desarrollando un proyecto de investigación denominado “Evaluación de la Aplicabilidad de Estabilizadores Químicos en Caminos No Pavimentados”, en conjunto con la Dirección Nacional y Provincial de Vialidad, Municipalidad del departamento Sarmiento de nuestra provincia y empresas proveedoras de los productos de estabilización química. En este artículo se describen los principales aspectos abordados en el proyecto de investigación, el estado de avance del mismo al momento de redactar el presente trabajo, y los resultados que se esperan alcanzar una vez finalizado el proyecto.

3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

A continuación se analizan sintéticamente una serie de aspectos relacionados con la problemática de la conservación de los caminos sin pavimentar en la provincia de San Juan,

entre los cuales se evalúa con más detalle la emisión de polvo a causa del tránsito, y se describen algunas de las alternativas para brindar una solución a estos inconvenientes en base a la utilización de productos químicos para estabilización de carpetas de rodamiento sin pavimentar.

3.1 Características y problemática de la conservación de caminos no pavimentados en la región

Las características propias de la región cuyana hacen que la conservación de caminos sin pavimentar sea uno de los aspectos más importantes que deben enfrentar las administraciones viales provinciales.

La red sin pavimentar constituye la proporción mayoritaria de las redes viales provinciales, como en el caso de la provincia de San Juan, donde sobre un total de 5300 km de caminos provinciales, aproximadamente el 60% corresponde a la red sin pavimentar, con una importante proporción concentrada en las zonas productivas.

En esta región, el clima es predominantemente árido y seco, pero con una marcada concentración de las precipitaciones en la época veraniega, a través de tormentas de tipo tropical, de gran intensidad y corta duración. Este tipo de lluvias genera acumulación de agua sobre una superficie de rodadura no impermeabilizada, y que además usualmente no posee el bombeo transversal requerido para facilitar el escurrimiento. Todo esto provoca la saturación de la estructura del camino, y su consecuente debilitamiento que facilita la deformación bajo el paso de vehículos en estas condiciones.

Es justamente en esta época cuando se registra la mayor actividad de las vialidades locales en lo referente al mantenimiento de los caminos, incluso para resolver situaciones de emergencia generadas por anegamiento que dejan a los caminos totalmente inhabilitados por varios días, hasta que no queden en condiciones aceptables de transitabilidad.

Pero además, durante la temporada estival, el calor y la sequedad incrementan sensiblemente el problema de la emisión de polvo asociada a este tipo de caminos (Fig. 2). Las altas temperaturas y la escasez de lluvias provocan que las carpetas granulares pierdan progresivamente su humedad, debilitando la cohesión entre partículas finas y gruesas. La abrasión producida por los vehículos termina por romper el enlace fino-grueso y el material

más pequeño se eleva en forma de polvo, depositándose gran parte en la zona lateral al camino, principalmente sobre casas y cultivos. El material más grueso comienza a deformarse y disgregarse rápidamente al perder la fracción fina que favorecía la cohesión del conjunto, formando serruchos y baches (Campos y Espinoza, 2006). Es importante destacar que la emisión de polvo resulta ser la expresión más notoria de un problema subyacente aun más importante, que es la progresiva rotura y deterioro de la superficie no pavimentada, íntimamente vinculada con la pérdida de humedad.



Figura 2. Polvo emitido en caminos no pavimentados, vehículos livianos y pesados

Para evitar estos inconvenientes, se aplican riegos periódicos de agua sobre la superficie de los caminos, la cual se evapora rápidamente debido a las altas temperaturas. Si bien las tareas de riego están por lo general a cargo de los municipios locales, la habitual escasez de recursos e infraestructura en estos organismos hace que la frecuencia de los riegos no sea la adecuada en muchos casos, por lo cual tanto la emisión de polvo como el deterioro superficial de los caminos sin pavimentar se acentúa considerablemente en esta época. Esto requiere incrementar el aporte de los organismos viales provinciales (e incluso nacionales) para ejecutar las tareas de conservación con mayor frecuencia, por lo cual esta época se vuelve crítica en cuanto a la disponibilidad de equipos y maquinarias para el desarrollo de estas tareas.

Cabe destacar, asimismo, que durante los meses de verano también se produce un incremento sensible de la actividad productiva en la región, tanto por el tipo de cultivo predominante en la misma (vides, olivos, hortalizas, con necesidades de riego concentradas en estos meses), como por las actividades mineras que han tenido un notorio desarrollo durante los últimos años. Para la minería de alta montaña, la época estival es la más

conveniente, sin las interrupciones propias de la época invernal que impiden no sólo el tránsito sino también todo tipo de tareas que deban realizarse a la intemperie. Todo esto implica que el tránsito en los caminos sin pavimentar aumenta notablemente durante los meses de verano, lo cual se suma a la problemática descrita en los párrafos anteriores, generando un “cuello de botella” en la conservación de este tipo de caminos.

Fuera de la temporada estival, tanto la disminución de las actividades productivas como el descenso de las temperaturas y la menor cantidad de precipitaciones hacen que sea más sencillo administrar la conservación de estos caminos, con un consumo de recursos comparativamente menor. Sin embargo, el incremento de la sequedad ambiente hace que el problema de la emisión de polvo siga manifestándose, con el consecuente impacto sobre la calidad de vida de los habitantes de las zonas aledañas a los caminos, que finalmente sufren este inconveniente a lo largo de todo el año, en mayor o menor grado. A continuación se resumen brevemente algunos conceptos que ayudan a entender la importancia de esta problemática.

3.2 Problemas asociados al progresivo deterioro y a la emisión de polvo en caminos no pavimentados

El polvo consiste en pequeñas partículas llevadas por corrientes de aire, formados en su mayoría por desintegración o fractura de materiales sólidos. En el caso de los caminos, se puede definir al polvo como el material fino que se libera de la superficie de rodado por el desplazamiento de los neumáticos de los vehículos en movimiento, por las turbulencias provocadas por los vehículos, y por la acción del viento, tratándose por lo general de partículas menores a 0,075 mm y en las que predomina la fracción de tipo limosa sobre la arcillosa (Vera Araya, 2001).

Desde el punto de vista de su incidencia sobre la salud, hay dos categorías principales, de acuerdo al tamaño de las partículas (Campos y Espinoza, 2006):

- a) Polvo inhalable (PM₁₀): Fracción de polvo aspirada que es retenida en la nariz, garganta, y vías respiratorias superiores, con diámetros de partículas en el orden de los 10 µm.
- b) Polvo respirable (PM_{2,5}): Partículas aún menores, con diámetros medios de 2,5 µm, que no son retenidas y pueden llegar a penetrar profundamente en los pulmones.

Ambos tipos de partículas pueden causar problemas a la salud, pero por su mayor capacidad de penetración en el organismo, las partículas con tamaño PM_{2,5} pueden dificultar la respiración, generar problemas de asma, dañar a los pulmones y agravar la situación de personas con enfermedades cardiorrespiratorias.

Por otra parte, la presencia de polvo puede llegar a generar problemas serios en las actividades agrícolas, tales como degradación en la calidad e incumplimiento de normativas en limpieza de productos frutales u hortalizas, aparición de plagas, disminución en los rendimientos, además del potencial daño a la salud de trabajadores. En San Juan, asimismo, como también ocurre en otras provincias, al problema del polvo por tránsito vehicular se suma en algunas localidades la contaminación por polvo generado por la actividad minera, especialmente por explotación de canteras con rocas de aplicación, como así también por la actividad industrial, aunque esto último en menor medida.

Pero además de la emisión de polvo, que afecta al entorno del camino, el progresivo deterioro los caminos en mal estado tiene una directa incidencia sobre los vehículos que transitan sobre los mismos y sus ocupantes. Cuando el deterioro es muy elevado, los vehículos experimentan un sensible aumento de los daños mecánicos, con el consiguiente aumento en los costos de reparaciones, horas de taller, repuestos, etc., y los ocupantes sufren mayores incomodidades y molestias, lo cual va en detrimento de la salud y la calidad de vida, en la medida que deban transitar frecuentemente por caminos muy deteriorados.

Asimismo, se reduce significativamente la velocidad media de circulación a causa de la mayor irregularidad del camino (valores altos de rugosidad IRI), lo que trae aparejadas importantes demoras en los tiempos de traslado. Todo esto se ve reflejado, en definitiva, en un sustancial incremento de los costos de operación de los vehículos y de los tiempos de viaje, lo que genera un importante perjuicio económico y social que recae no sólo en los usuarios directos del camino, sino en la comunidad en su conjunto.

3.3. Empleo de productos de estabilización química

Con el propósito de brindar una solución comparativamente económica a los problemas indicados en los párrafos anteriores, desde hace algunos años se han comenzado a utilizar productos de origen químico que permiten estabilizar la capa de rodadura de los caminos no pavimentados, posibilitando por un lado reducir los requerimientos de conservación de estos

caminos durante períodos prolongados, y por otro disminuir significativamente la emisión de polvo por el tránsito vehicular.

Productos de estas características se vienen utilizando en países vecinos, como en el caso de Chile, desde hace más de una década, y se han desarrollado numerosos estudios sobre su comportamiento y metodología óptima de aplicación (Vera Araya, 2001; Campos y Espinoza, 2006; Thenoux et al., 2007; Rojas Cazaluade, 2008, por citar algunos).

A la fecha, en Chile existen más de 5000 km de caminos no pavimentados tratados con productos de estabilización química, fundamentalmente cloruro de magnesio hexahidratado cuyas características se describen más adelante. Pero además, en las áreas de producción minera hay más de 20.000.000 de m² tratados con este mismo tipo de productos, incluyendo no sólo caminos sino también las áreas de trabajo.

Si bien su uso en Argentina, y más específicamente en San Juan, es muy incipiente, existen actualmente diversos productos de este tipo en el mercado, con características y formas de aplicación diferentes, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- Cloruro de sodio (sal común)
- Cloruro de calcio
- Permazyme (producto de origen orgánico)
- Cloruro de magnesio hexahidratado (también llamado Bischofita)

Este último producto es objeto de análisis específico dentro del proyecto de investigación que lleva a cabo la EICAM, por lo cual es tratado con detalle dentro del presente artículo.

3.4. Principales características del cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita)

El cloruro de magnesio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, conocida también bajo su nombre químico de bischofita. El principal lugar de producción a nivel continental es el Salar de Atacama (Fig. 3), ubicado en la II Región de Chile. Las empresas que realizan la explotación de este salar (Sociedad Química y Minera de Chile SQM, y Sociedad Chilena de Litio SCL) extraen desde el subsuelo del mismo una salmuera muy rica en diversos componentes minerales, que es depositada en piscinas de

evaporación en las cuales van cristalizando sucesivamente diversos subproductos a medida que el agua se evapora por acción solar, tal como se indica en la Figura 3.

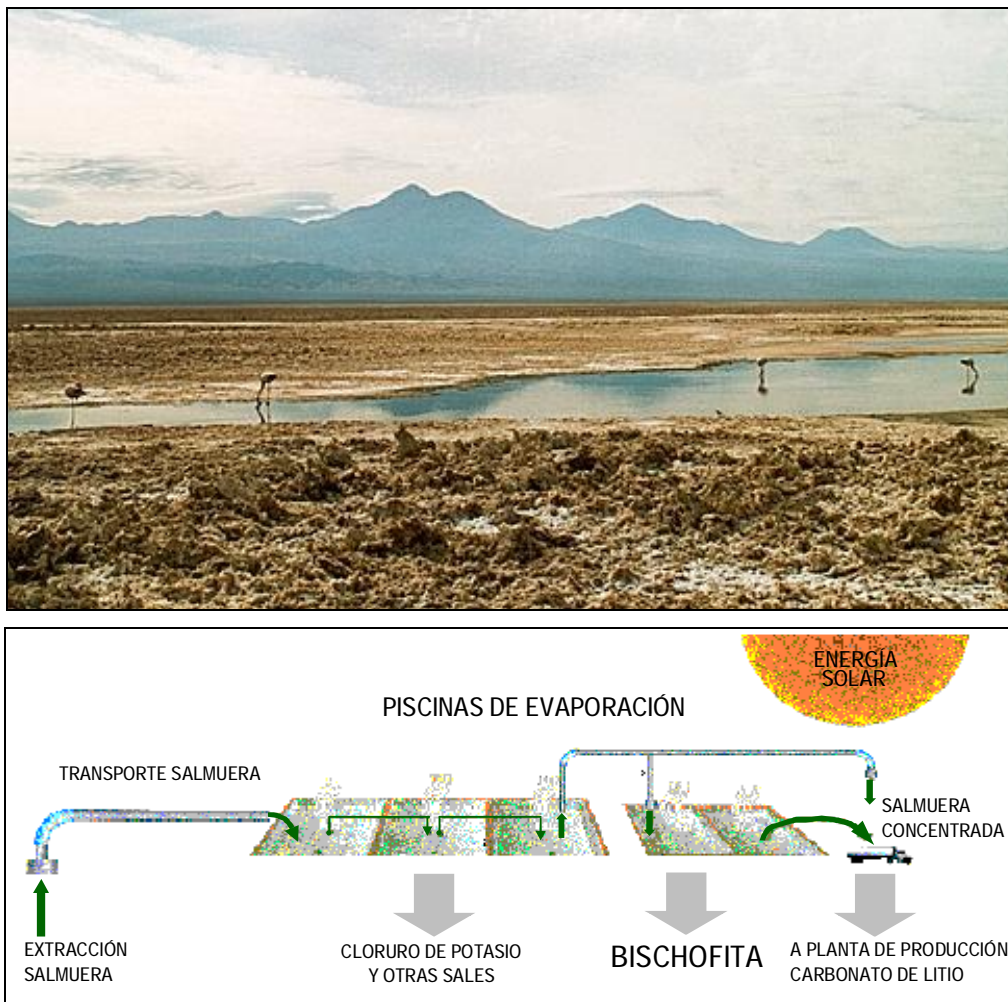


Figura 3. Salar de Atacama y proceso de obtención de la bischofita (Vera Araya, 2001)

Químicamente, el cloruro de magnesio hexahidratado está constituido por un 10,5% de magnesio, un 33,5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, aproximadamente. Es de color blanco (Fig. 4), grasoso al tacto por su gran contenido de humedad, y para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.

- Baja temperatura de congelamiento: $-32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.



Figura 4. Muestra de bischofita (cloruro de magnesio hexahidratado)

En los caminos pavimentados, la bischofita puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada ("anti-icing"), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento ("de-icing"), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En los caminos no pavimentados, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes:

- Como tratamiento supresor de polvo: el camino enripiado debe ser previamente preparado, humedecido y compactado, y estar libre de deterioro en superficie, con un bombeo transversal de entre 3,5% y 4% para permitir el escurrimiento transversal del agua de lluvia. De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden del 10 al 20% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural. Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloruro de magnesio, cuya disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1,5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de $1,25\text{ tn/m}^3$. Se recomienda aplicar unos 4 l/m^2 de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos (Thenoux y Vera, 2003).

De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión del polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña. En la Fig. 5 se muestra la serie de actividades que componen la aplicación del tratamiento supresor de polvo en un camino minero: traslado del producto a la obra, preparación de la solución, preparación del camino a tratar, riego del producto y compactación final del camino ya tratado (Halles et al., 2005).



Figura 5. Ejecución de tratamiento supresor de polvo con bischofita (Halles et al., 2005)

- Como estabilizador superficial: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de ripio con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado, y en este caso el ripio debería cumplir con ciertas condiciones en cuanto a su granulometría y capacidad portante, según las especificaciones técnicas elaboradas a tal efecto (Thenoux y Vera, 2003).

La dosis de bischofita a aplicar, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de bischofita). El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se lo debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de cloruro de magnesio, y descontando la humedad natural del ripio. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio.

Mediante este procedimiento se consigue estabilizar la superficie del camino. Este procedimiento es empleado en la actualidad especialmente en caminos de acceso a zonas mineras, que tienen tránsito de camiones sumamente cargados, donde se requiere una superficie de rodamiento suficientemente resistente, pero más económica que un pavimento convencional.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO EN SAN JUAN

Si bien las investigaciones realizadas en Chile sobre la forma de utilización de la bischofita permiten apreciar importantes ventajas en su utilización, se considera necesario efectuar una evaluación bajo las condiciones existentes en Argentina, que permita comparar en forma directa el comportamiento de este tipo de tratamientos respecto a la conservación tradicional en caminos no pavimentados, y que además posibilite ajustar metodologías de análisis comparativo de alternativas de conservación vial, tales como el modelo HDM-4 del Banco Mundial. Por ser relativamente recientes, estas técnicas en la actualidad no están consideradas dentro del programa HDM-4, por lo cual la posibilidad de evaluarlas técnica y económicamente se limita al conocimiento y experiencia generados por su utilización previa en entornos similares a aquellos donde se desea aplicar.

A tal efecto, se ha planteado la ejecución de un proyecto de investigación desarrollado conjuntamente entre la EICAM, la Dirección Nacional de Vialidad (9º Distrito San Juan), la Municipalidad del departamento Sarmiento (lugar donde se desarrollan las tareas de

campo), y las empresas SALMAG Ltda., proveedora en Chile del producto, y Vialtec S.A., distribuidora a nivel nacional en Argentina (Figura 6).



Figura 6. Integrantes de los organismos participantes en el proyecto e investigadores de la EICAM en el inicio del desarrollo de tareas de campo

El proyecto de investigación tiene los siguientes objetivos centrales:

- a) Recopilar y analizar información sobre la utilización del cloruro de magnesio (bischofita) para la estabilización de superficies no pavimentadas, a nivel local e internacional.

- b) Seleccionar y acondicionar tramos testigos en caminos no pavimentados ubicados en San Juan, para la ejecución de las pruebas experimentales.
- c) Diseñar y aplicar en terreno el experimento que permita comparar entre conservación tradicional y uso de bischofita como supresor de polvo y como estabilizador superficial en los tramos testigos.
- d) Realizar mediciones periódicas de indicadores de deterioro en los tramos bajo estudio, para registrar la evolución del deterioro en cada caso.
- e) Ajustar los modelos del programa HDM-4 para las tareas de conservación tradicional, y adaptarlos para poder evaluar también el efecto de las técnicas que usan bischofita.
- f) Determinar las ventajas y limitaciones de la aplicación de la bischofita en relación al mantenimiento convencional, y las condiciones requeridas para su uso eficaz en la zona.

Dentro de este proyecto, las tareas de acondicionamiento y conservación de los tramos testigo, como así también de la extracción y ensayo de muestras de suelos y materiales, están a cargo de la Dirección Nacional de Vialidad (D.N.V.), en tanto que el personal de la EICAM está abocado a la supervisión técnica de las tareas antes mencionadas, medición de parámetros de deterioro, y análisis de la información generada por el proyecto, como así también a la obtención de resultados y elaboración de informes. El municipio de Sarmiento está a cargo de la provisión del material granular necesario para la construcción inicial de los tramos a estudiar, y aporta camiones aljibe para la ejecución de los riegos del producto.

SALMAG Ltda. y Vialtec S.A. aportan la bischofita necesaria, y están asimismo a cargo del asesoramiento técnico en todo lo relacionado con la aplicación práctica de la bischofita en obra, dada su experiencia en la materia. Cabe destacar que también presta colaboración dentro del proyecto la Dirección Provincial de Vialidad de San Juan, aportando maquinaria y personal para las tareas de campo correspondientes a la puesta a punto inicial de los caminos.

5. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y ESTADO DE AVANCE DEL PROYECTO

La recopilación de antecedentes incluyó la búsqueda de información a través de Internet, y la realización de entrevistas con los expertos en el uso de la bischofita en Chile, tanto miembros de la empresa SALMAG como del Centro de Ingeniería e Investigación Vial de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CIIV – DICTUC), quienes han desarrollado la mayor

parte de las investigaciones previas sobre los procedimientos más convenientes y apropiados para la utilización en obra de la bischofita.

5.1 Tramos evaluados para la ejecución de los estudios de campo

En una etapa inicial, se evaluó la posibilidad de ejecutar los estudios de campo en dos tramos de rutas provinciales no pavimentadas situadas en las cercanías de la localidad de Los Berros, departamento Sarmiento, en la provincia de San Juan, en el sector mostrado en la Fig. 7, donde la traza que se observa en color blanco corresponde a la principal ruta pavimentada de la zona, la R.N. N° 153. Los tramos corresponden a las siguientes rutas:

- Ruta Provincial N° 318 - Tramo: Cañada Honda – Guanacache
- Ruta Provincial N° 351 - Tramo: Emp. Ruta Nac. N° 153 – Calera San Juan



Figura 7. Ubicación de tramos de las rutas provinciales N° 318 y N° 351 evaluados para formar parte del estudio de campo en el proyecto

La ruta provincial N° 318 se ubica en paralelo a la traza del Ferrocarril San Martín, cercana a la estación Cañada Honda, donde actualmente se efectúa el cargado de cales y piedras calizas extraídas en la zona para ser transportados en trenes de carga. Además, dicha ruta conecta a la R.N. N° 153 con varios emprendimientos agrícolas productores de uvas y frutales, por lo cual la mayor parte del tránsito pesado que utiliza esta ruta se presenta en la

época de las cosechas (principios del otoño), es decir que es un tránsito netamente estacional.

Por su parte, la Ruta Prov. N° 351 conecta el extremo sur de la zona de industrias caleras situadas a la vera de la R.N. N° 153 con localidades pobladas tales como Divisadero, Cienaguita, Retamito y Guanacache. Además tiene un importante tránsito de camiones pesados ya que en dicha ruta se ubica un importante emprendimiento de explotación de calizas (“Calera San Juan”), y este tránsito es de carácter permanente. Este tramo resultaba de gran interés para la ejecución de los estudios previstos, por la tipología de su tránsito y la presencia de localidades pobladas a las que conecta con el resto de la provincia.

Sin embargo, un análisis más detallado de las características del mismo reveló que su conformación superficial presentaba una importante cantidad de material pétreo de gran tamaño, tal como puede apreciarse en la Fig. 8, que corresponde a subrasante de faldeo de cordones serranos ubicados al oeste del camino.



Figura 8. Material pétreo superficial del tramo no pavimentado en la R.P. N° 351

Dicho material debía ser removido por maquinaria pesada en un espesor de entre 0,5 y 0,75 m, o bien recubierto con una capa de ripio de espesor mínimo 20 cm, en toda la longitud prevista para las mediciones, en ambos casos a un costo que quedaba fuera del presupuesto considerado originalmente para el proyecto.

Se hicieron numerosas gestiones para contar con recursos adicionales que permitieran poner a punto el camino para su evaluación dentro del proyecto, pero las mismas no tuvieron éxito, por lo cual finalmente se decidió reemplazarlo por otro tramo no pavimentado que está ubicado en la zona norte de la provincia de San Juan, correspondiente al acceso sur a la localidad de Huaco, departamento Jáchal, que conecta dicha localidad con la traza en construcción de la Ruta Nac. N° 150.

Este tramo, cuya ubicación se muestra en la Fig. 9, tiene una longitud de aproximadamente 3 km, es predominantemente recto aunque de topografía ondulada, como se aprecia en la salida gráfica de software de procesamiento de datos recopilados con GPS mostrada en la Fig. 10, y presenta en general mejores condiciones para la realización del estudio.

A la fecha de elaboración de este artículo dicho tramo se encuentra en etapa de reacondicionamiento (Fig. 11), previéndose finalizar con las tareas de puesta a punto a cargo de la D.N.V. entre los meses de junio y julio del 2009.



Figura 9. Ubicación del tramo preseleccionado sobre el acceso sur a la localidad de Huaco, departamento Jáchal, zona norte de la provincia de San Juan

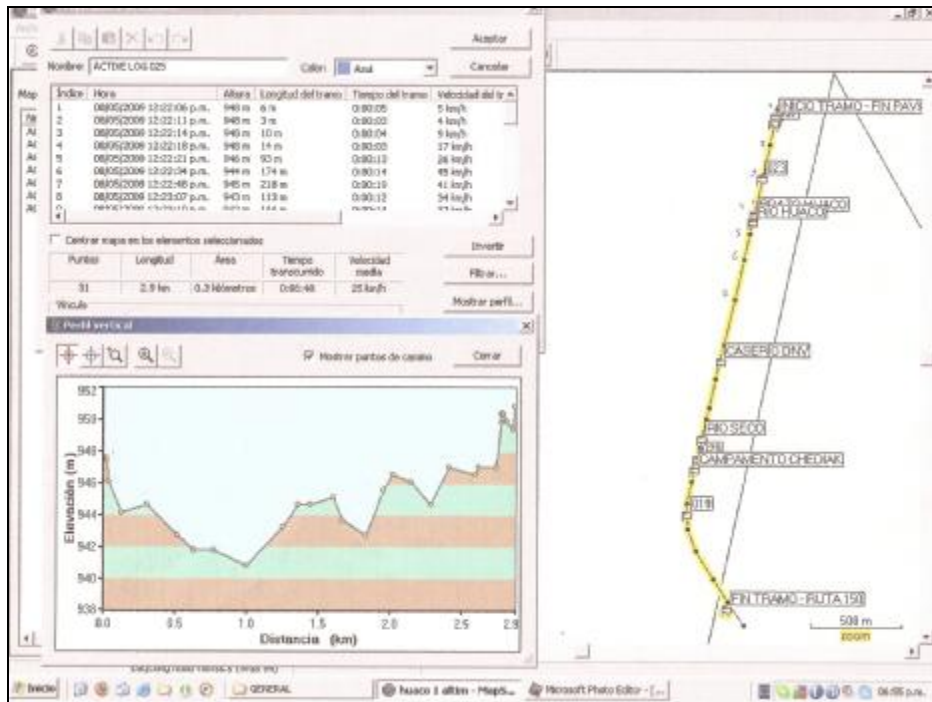


Figura 10. Determinación preliminar de la configuración planialtimétrica, tramo no pavimentado de acceso sur a la localidad de Huaco



Figura 11. Actividades de reacondicionamiento preliminar, acceso sur a Huaco

5.2 Tareas de acondicionamiento de los tramos situados sobre la R.P. N° 318

Las principales actividades de terreno desarrolladas hasta la fecha en el proyecto se han llevado a cabo en el tramo testigo ubicado sobre la Ruta Provincial N° 318 en el departamento Sarmiento, entre las localidades de Cañada Honda y Guanacache, de unos 5 km de longitud total, y que da acceso a numerosos emprendimientos agropecuarios. Tal

como estaba previsto, se realizó un relevamiento topográfico del mismo y se identificaron inicialmente tres subtramos de unos 900 m de longitud cada uno, de características similares, los cuales fueron señalizados con mojones metálicos situados al costado de la zona de camino, para facilitar su localización durante las tareas de campo. En la Figura 12 se muestra la planialtimetría del conjunto de los subtramos ubicados en la R.P. N° 318.

El primer subtramo, situado a unos 800 m de la intersección entre la R.P. N° 318 y la R.N. N° 153, al sur del poblado de Cañada Honda, se decidió que fuese el que mantendría el enripiado tradicional. En el segundo subtramo, que se inicia en la progresiva 3150, se previó la ejecución de un tratamiento supresor de polvo con riego de bischofita.

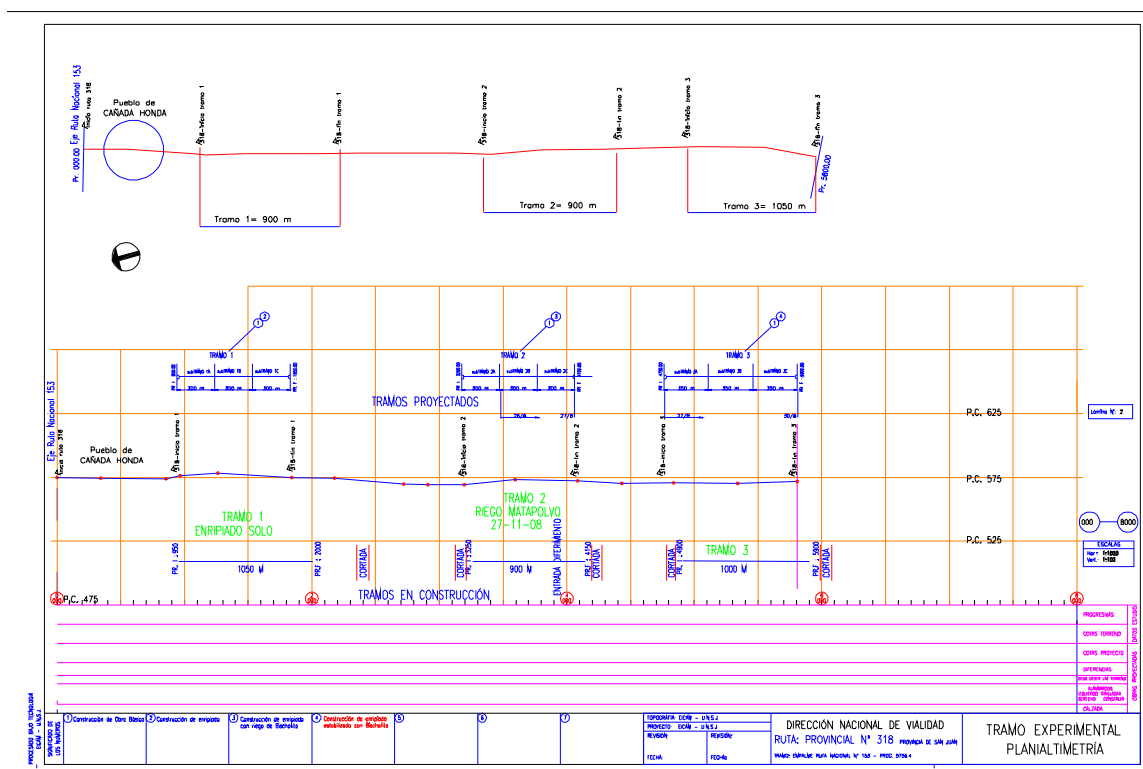


Figura 12. Planialtimetría del tramo testigo de la R.P. N° 318 y sus subtramos

En el tercer subtramo, localizado a partir de la progresiva 4750, estaba prevista la ejecución del estabilizado de capa superficial con bischofita, pero finalmente por razones de tipo presupuestario se decidió que dicho tramo fuese descartado del análisis, estando actualmente en etapa de reevaluación la ubicación del sitio donde se ejecutará finalmente el estabilizado.

En los otros dos subtramos de la R.P. N° 318, se llevaron a cabo tareas de reacondicionamiento de la capa superficial de rodado, a cargo de la D.N.V., en coordinación con el Municipio de Sarmiento. Previo a esta actividad, personal de la D.N.V. efectuó la toma de muestras del material ripioso superficial preexistente (Fig. 13), y del ripio aportado desde las canteras, los que arrojaron los resultados presentados en la Tabla 1.



Figura 13. Recolección de muestras del material de superficie de rodadura en los tramos

Tabla 1. Granulometría de las muestras tomadas en los subtramos analizados, R.P. N° 318

Serie de Tamices	Valores medios por subtramo - R.P. N° 318			Cantera de Ripio
	Subtramo T1	Subtramo T2	Subtramo T3	
2"	98.3	97.5	95.8	100
1 1/2"	95.9	95.1	93.7	100
1"	91.8	89.7	89.3	94.2
3/4"	88.9	84.7	85.5	87.1
3/8"	79.5	72.1	73.5	65.7
N°4	67.9	58.1	62.3	43.5
N°10	61.2	49.8	56.2	32.2
N°40	53.0	41.8	49.5	19.5
N°200	22.2	20.0	25.3	4.3

Las tareas de reacondicionamiento comenzaron en primer lugar con el relleno de sectores con fallas puntuales, para lo cual se aportó material de ripio proveniente de canteras cercanas, el cual también fue utilizado para conformar el perfil de la sección transversal, con cunetas laterales para facilitar el drenaje de la calzada. Una vez alcanzado el gálibo prefijado, se procedió al remezclado, humectación y compactación de la capa superficial en un espesor mínimo de 5 cm, bajo la premisa de una pendiente transversal (bombeo) de entre 3,5% y 4% para asegurar el drenaje superficial de la capa de rodamiento hacia las cunetas laterales, tal como se muestra en la secuencia presentada en la Fig. 14.



Figura 14. Actividades realizadas durante la conformación de los tramos bajo estudio

5.3 Preparación y riego de la bischofita como tratamiento supresor de polvo

Una vez finalizadas las tareas de acondicionamiento de los subtramos, se procedió a preparar la solución de cloruro de magnesio en el campamento que la D.N.V. posee sobre la R.N. N° 153 en cercanías de Cañada Honda, para su inmediato riego sobre la superficie del segundo subtramo de la R.P. N° 318. La preparación de la solución se efectúa mediante las

siguientes etapas, que se muestran en la Fig. 15:

- Se prepara un reservorio tipo pileta con una capacidad adecuada para el trabajo previsto, y se agrega agua limpia, hasta completar aproximadamente el 50 % del volumen calculado.
- Se extrae la bischofita desde su depósito con cargadora frontal, y se posiciona la pala cargada sobre el reservorio.
- Se succiona agua del reservorio utilizando una bomba, y se aplica sobre la bischofita de la pala, para que vaya cayendo lo más disuelta posible sobre el reservorio, hasta disolver todo el contenido cargado.
- Se vuelve a cargar bischofita y se repite el proceso tantas veces como sea necesario, midiendo la densidad con un densímetro de tipo hidráulico, hasta alcanzar $1,25 \text{ kg/dm}^3$ tal como lo exigen las especificaciones. De esta forma se asegura que se ha disuelto una proporción 1,5 : 1 de bischofita en agua, en peso, lo cual es el valor óptimo para ser aplicado en un tratamiento supresor de polvo.



Figura 15. Proceso de preparación de la solución de bischofita en un reservorio

Es importante verificar que efectivamente se alcance la densidad preestablecida, ya que de no ser así puede estarse aplicando una cantidad de bischofita claramente inferior a la necesaria, ya que la relación entre densidad de la solución y cantidad incorporada en peso de bischofita corresponde a una función de tipo logarítmica, tal como se muestra en la Fig. 16. Puede verse en dicha figura que pasar de una densidad 1,20 kg/dm³ a 1,25 kg/dm³ implica aumentar en un 50% la cantidad de bischofita incorporada, con el consecuente incremento sustancial en la efectividad esperable en la aplicación del producto en obra.

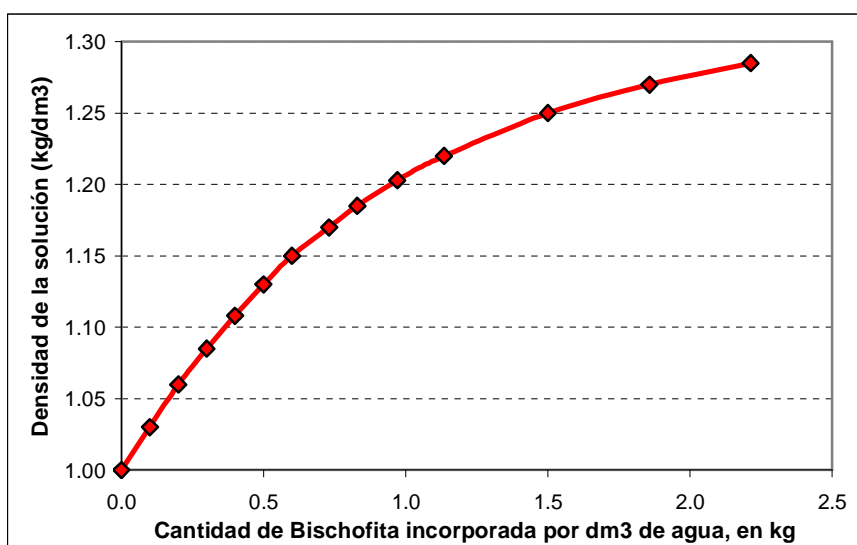


Figura 16. Relación entre densidad alcanzada y bischofita incorporada en la solución

Una vez finalizado el proceso de preparación, se carga la solución de bischofita en el camión regador provisto del barral de distribución correspondiente (Fig. 17-a). Para optimizar el proceso, se debe disponer de un aparato que permita regular el caudal de riego, ya que al hacerlo sólo por gravedad, la presión de salida del líquido va variando y no se garantiza que el camión vaya aplicando la misma cantidad de solución por m² de superficie, de acuerdo a los protocolos establecidos por las correspondientes especificaciones técnicas (Thenoux y Vera, 2003). En caso que la superficie a regar esté seca o con algo de material fino suelto en superficie al momento de aplicar el tratamiento supresor de polvo (TSP), se recomienda hacer un riego previo con agua únicamente, de modo de asegurar una adecuada humectación que facilite la penetración y mezclado de la solución supresora con el material de la superficie.

En el segundo subtramo de la R.P. 318 se aplicó la solución uniformemente sobre todo el ancho de la superficie a una velocidad de aproximadamente 10 km/h, regando 1 litro por m²

por cada pasada de camión aljibe. La dosis adecuada para ejecutar un TSP es de 4 lts/m² de solución, equivalente a 3 kg/m² de bischofita, la que se aplica en 4 riegos sucesivos, teniendo la precaución que cada riego haya penetrado adecuadamente en la superficie del camino antes de aplicar el que sigue.

El ajuste final del caudal de aplicación se efectúa en terreno, en función de lo observado en obra. Dicho ajuste se realiza mediante la regulación de la velocidad del equipo aplicador y/o de la bomba de riego. Al momento de aplicar el riego en la R.P. N° 318 no se disponía de aparato para entregar un caudal de salida constante, por lo cual la regulación se hizo utilizando la manivela de control de caudales del barral. Cabe destacar que el barral utilizado se construyó específicamente para esta prueba por parte del municipio de Sarmiento, ya que no se disponía de un barral que permitiera regar transversalmente la superficie en forma homogénea. La Figura 17-b muestra la aplicación del primer riego sobre la superficie del tramo bajo estudio.



Figura 17. Cargado de solución de bischofita en el camión regador (17-a) y aplicación de riego de la solución sobre el segundo subtramo de la R.P. N° 318 (17-b)

En general, no se debe aplicar la solución supresora de polvo en base a bischofita cuando esté lloviendo o existan posibilidades de lluvia. Asimismo, para evitar pérdida de material debido al tránsito y tracción de los vehículos, es aconsejable evitar el paso de vehículos durante la aplicación de la solución, y por un período de algunas horas posterior a la misma. En la mayoría de las superficies, este período será de 3 a 4 horas.

Dependiendo de las condiciones climáticas reinantes, la superficie de la capa de rodamiento se mantendrá con un aspecto húmedo (cuando la humedad relativa ambiente sea media o alta), o se cristalizará proporcionando una superficie muy cohesionada (para valores bajos de humedad ambiental). En ambos casos, la supresión de polvo resulta sumamente efectiva. La Figura 18 refleja la comparación entre el sector tratado con bischofita (18-a), y el primer subtramo de la R.P. N° 318, donde no se aplicó el producto (18-b).



(a)



(b)

Figura 18. Comparación entre tramo regado con bischofita (18-a), y tramo no tratado (18-b)

5.4 Mediciones de indicadores superficiales de comportamiento en los caminos

En este estudio se realizaron mediciones de dos indicadores del comportamiento de los caminos: emisión de polvo y rugosidad IRI, en ambos casos a cargo de investigadores de la EICAM con asesoramiento de las empresas a cargo de la comercialización de la bischofita. A continuación se describen las actividades realizadas a tal efecto.

5.4.1 Mediciones de Rugosidad con aparato MERLIN

Como parte del análisis bibliográfico inicial del proyecto, se analizaron diversas opciones para medir rugosidad con instrumental económico. Entre los rugosímetros analizados, se decidió utilizar el aparato MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost INstrumentation), desarrollado originalmente por el Laboratorio de Investigación en Transporte (TRL) del Reino Unido (Cundill, 1991), y de uso muy difundido en los países latinoamericanos (Del Aguila, 1999).

Dicha selección se basó en gran medida en razones presupuestarias, pero también considerando que el dispositivo MERLIN tiene muy buena correlación con el IRI y que su bajo rendimiento no resultaba una limitación importante en el caso bajo estudio, donde las longitudes de medición son bastante reducidas. A tal efecto, se construyó un aparato de este tipo por parte del personal de investigación de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, como parte de las actividades propias del proyecto (Fig. 19-a), y se comenzó a utilizar inmediatamente luego de finalizadas las actividades de acondicionamiento de los tramos de la R.P. N° 318 (Fig. 19-b).



(a)



(b)

Figura 19. Construcción y uso en terreno de un aparato MERLIN para medir rugosidad

El aparato MERLIN permite registrar en planillas específicamente diseñadas a tal efecto, los datos que el operario va leyendo sobre la placa de lectura situada en la parte superior trasera del dispositivo, que registran “elevaciones” o “depresiones” respecto a una lectura neutra para la cual el apoyo de la rueda, el apoyo trasero y el patín rotatorio intermedio del aparato están en una misma línea. Se muestra en la Fig. 20 una planilla con información registrada en terreno utilizando este dispositivo.

ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
(HOJA DE CAMPO)

PROYECTO: _____ OPERADOR: M. Bustos
 SECTOR: _____ SUPERVISOR: _____
 TRAMO: II FECHA: 16/12/08 10:00 h
 CARRIL: a 3mts de cuneta Costa

ENSAYO N° : 1 Prog. I: _____ HORA: _____

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	28	25	28	24	25	24	27	24	27	24	Tipo de Pavimento
2	24	21	28	26	29	27	27	23	24	24	<input type="checkbox"/>
3	28	21	27	22	29	29	26	28	24	30	Enripiado
4	24	24	26	22	28	26	25	29	30	22	<input type="checkbox"/>
5	28	28	26	27	28	26	25	26	24	30	Matopelvo
6	30	28	27	23	30	36	24	27	26	27	<input checked="" type="checkbox"/>
7	25	32	30	21	26	27	24	29	29	22	Estabilizado
8	24	25	32	26	23	26	28	23	29	28	<input type="checkbox"/>
9	27	32	27	29	29	22	21	26	27	23	Base Granular
10	24	28	23	26	29	26	24	23	24	29	<input type="checkbox"/>
11	27	27	27	28	27	27	26	27	27	31	Base Imprimada
12	24	24	27	24	23	28	26	27	30	28	<input type="checkbox"/>
13	29	27	26	26	26	26	26	25	24	26	Trat. Bicapa
14	26	30	27	28	28	23	20	31	20	26	<input type="checkbox"/>
15	32	23	24	31	26	26	26	25	21	35	Carpeta en Frío
16	27	24	29	28	23	25	23	27	24	24	<input type="checkbox"/>
17	27	29	24	28	28	23	27	23	27	26	Carpeta en Caliente
18	31	23	25	24	26	31	24	30	24	23	<input type="checkbox"/>
19	24	24	24	25	30	29	27	26	28	28	Recopeo Asfáltico
20	25	24	27	25	27	24	30	29	26	29	<input type="checkbox"/>
											Sello
											<input type="checkbox"/>
											Otros
											<input type="checkbox"/>

NOTA: Llenar por filas, de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo.

OBSERVACIONES:

Figura 20. Planilla de registro de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN

Posteriormente, la información registrada se procesa estadísticamente, se confecciona un histograma de datos siguiendo un procedimiento predefinido, y la anchura de la base del histograma, que representa la dispersión de las mediciones, está directamente correlacionada con el IRI a través de ecuaciones desarrolladas en anteriores estudios (Del Aguila, 1999). En la Figura 21 se muestra el procesamiento gráfico y estadístico efectuado para determinar la rugosidad IRI a partir de los datos registrados con MERLIN.

histograma completo		
intervalo	cantidad	
1	20	7
2	22	22
3	24	46
4	26	54
5	28	48
6	30	16
7	32	4
8	34	2
9	36	1
TOTAL	200	

TOTAL - 10%		
histograma depurado		
intervalo	divisiones	cantidad
1	22-23	19
2	24-25	46
3	26-27	54
4	28-29	48
5	30-31	13
TOTAL	180	

ancho del histograma= 4.67 intervalos

$4.67 * 5\text{mm} * 2 * 2 = 93.4 \text{ mm} = \text{rango}$
 $93.4 * \text{F.C.} = 93.4 \text{ unidades merlin} = \text{D}$

REFERENCIAS:

" *5mm ": valor de la unidad en mm
 " *2 " : intervalo doble
 " *2 " : relación 1:5
 "F.C." = 1

transformación a IRI:

$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 * \text{D} = 4.99 \text{ m/km}$

Tramo 2: TRATAMIENTO SUPRESOR DE POLVO
PROG 850 A 425 A 3M DE CUNETETA OESTE - PARTE 1

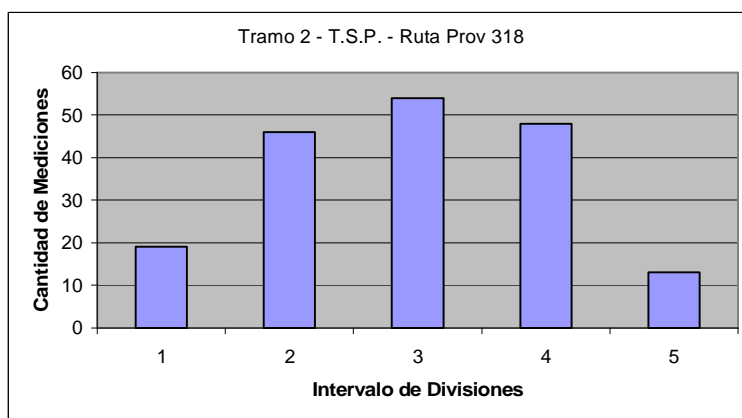
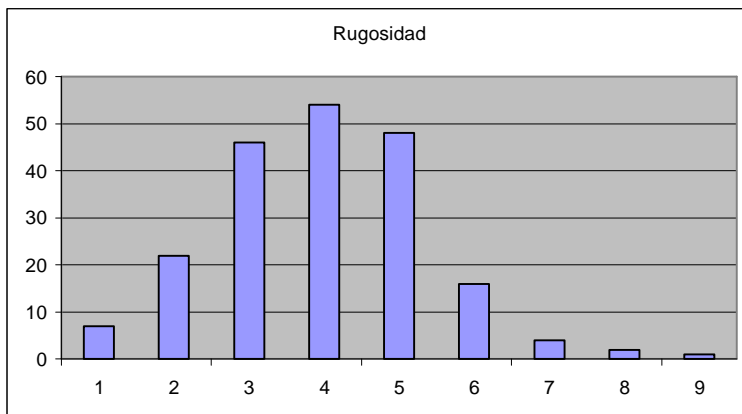


Figura 21. Ejemplo del procesamiento estadístico de datos obtenidos con MERLIN

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2, donde puede apreciarse que el subtramo 2 presenta valores de IRI más bajos respecto al subtramo 1, considerando que en el subtramo 2 se aplicó el producto y que en el subtramo 1 sólo se hizo reacondicionamiento de la superficie de rodadura para permitir su comparación directa. No se incorporaron los valores originalmente medidos en el subtramo 3, que de todas formas resultaron muy similares a los observados en el subtramo 1, ya que el tercer subtramo fue finalmente descartado del análisis, tal como se comentó anteriormente.

Tabla 2. IRI estimado desde datos de rugosidad medidos con MERLIN, R.P. N° 318

Superficie Rodadura	Subtramo 1		Subtramo 2	
	Enripiado		Trat. Supresor de polvo	
Prog. Subtramo (m)	900 a 475	475 a 50	850 a 425	425 a 0
Unidades MERLIN	115	154.8	93.4	98.4
IRI (m/km)	6.00	7.88	4.99	5.23

5.4.2 Medición de la emisión de polvo

Estas mediciones fueron realizadas por el personal de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña con el asesoramiento de la empresa chilena SALMAG, que facilitó el aparato medidor de polvo tipo DustMate™. Este equipo (Fig. 22), desarrollado por la firma inglesa Turnkey Instruments, fue adaptado para la medición de polvo en caminos no pavimentados en Chile a través de la metodología desarrollada por investigadores del Centro de Ingeniería e Investigación Vial de DICTUC, Pontificia Universidad Católica de Chile (Thenoux et al., 2007).

El DustMate™ es capaz de obtener directamente una muestra del aire circundante mediante una bomba interna de 600 cc/min de capacidad. Las partículas absorbidas son analizadas en cantidad y tamaño por un fotómetro láser, entregando resultados para concentración de partículas de tamaños PM2,5 y PM10 con una frecuencia de hasta 1 muestra por segundo.

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 (Fig. 22). 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 recorrida versus cantidad de partículas emitidas por unidad de tiempo.



Figura 22. Aparato medidor de polvo y su instalación en el vehículo de medición

En este estudio, una vez instalado el aparato se registró la medición de polvo, para ambos tipos de partículas, en función de la distancia recorrida, haciendo circular el vehículo a una velocidad constante de 60 km/h. Esta medición se llevó a cabo casi tres semanas (20 días) después de ejecutar el tratamiento supresor de polvo.

La figura 23 muestra el registro gráfico de dichas lecturas, con una dirección de circulación sur – norte (es decir, desde el final del subtramo hacia el inicio del mismo, en dirección al poblado de Cañada Honda). En dicha figura puede apreciarse claramente la disminución de la emisión de polvo que se registra cuando el vehículo pasa por el subtramo 2, en comparación con los valores de polvo emitido en el resto del subtramo, lo que demuestra la eficacia del tratamiento aplicado como reductor del efecto perjudicial asociado a la emisión de polvo en caminos no pavimentados.

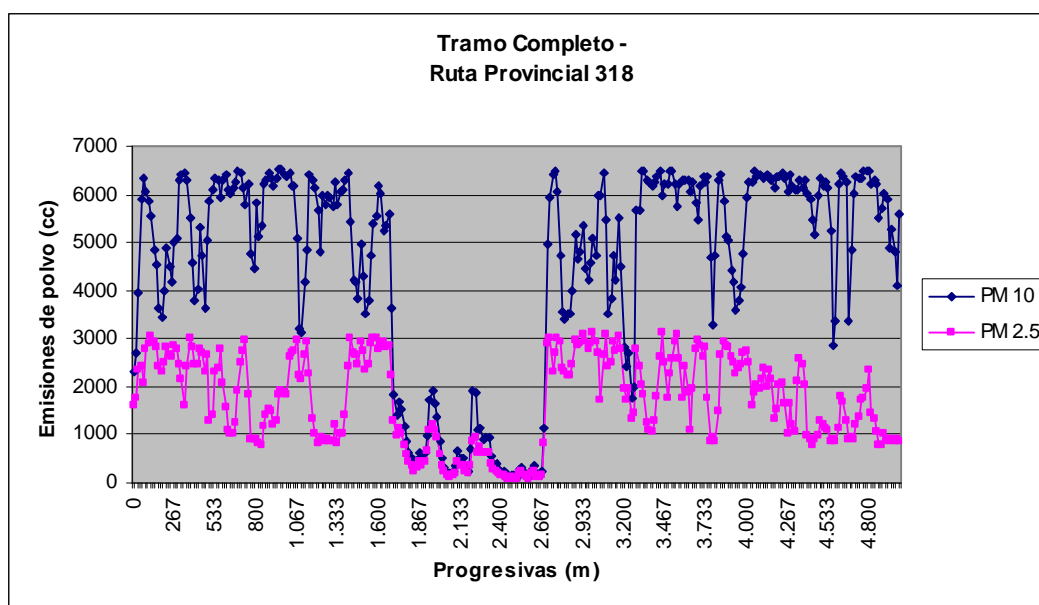


Figura 23. Registros de emisión de polvo, tramo completo de la R.P. N° 318

Cabe aclarar que la curva graficada de emisión de partículas PM10 en la Fig. 23 también incluye a las partículas PM2,5, cuya curva específica aparece en la parte inferior del gráfico.

6. PROXIMAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR

6.1 Medición y Procesamiento de datos faltantes de deterioro:

Como parte de las actividades previstas para el proyecto, desde junio de 2009 está previsto continuar realizando las mediciones de indicadores de deterioro en la Ruta Provincial N° 318

(Departamento Sarmiento), y también en el acceso sur a Huaco (departamento Jáchal), una vez que se haya terminado la fase de acondicionamiento en este último tramo, con una periodicidad estimativa mensual. Se efectuarán relevamientos topográficos del perfil transversal y longitudinal de los sectores bajo estudio, con apoyatura en estacas y puntos fijos, a efectos de poder cuantificar la variación de los perfiles y determinar la pérdida de espesor de grava en la zona de tránsito.

Se procurará efectuar asimismo un análisis estadístico descriptivo de la información obtenida, procurando determinar posibles correlaciones entre las variables y modelar la evolución de deterioro a través del tiempo mediante la utilización de una matriz factorial que permita analizar la incidencia de las diferentes variables del estudio.

6.2 Ajuste de los modelos de predicción de deterioro HDM-4

Se analizarán asimismo en profundidad los modelos de predicción del deterioro y efectos de la conservación contenidos en el software computacional HDM-4, en especial las características asociadas a los factores de calibración de los mismos, en base a la documentación provista en los manuales del usuario del programa, para determinar la forma más apropiada de ajustar dichos factores para que puedan considerarse las nuevas técnicas de mantenimiento mediante estabilizadores químicos.

Se establecerá el procedimiento a seguir para incorporar la información de campo ya procesada como datos de ingreso al programa, contrastar las predicciones de los modelos "sin calibrar" respecto a los datos efectivamente observados en terreno, y adaptarlos para el caso de las técnicas de estabilización química y a nuestra región, lo cual no es posible de lograr en el actual formato del programa.

Se reproducirán los modelos del programa en planilla Excel, para tener mayor flexibilidad en el análisis de la información y de los modelos propiamente dichos, y se analizarán los resultados obtenidos por ambas vías (programa y planilla electrónica) en forma comparativa, como forma de validar las predicciones efectuadas por el HDM-4. Los factores de ajuste obtenidos para cada caso se analizarán en forma conjunta y se evaluará la existencia de tendencias y características comunes entre los mismos. Se contrastará además esta metodología con el programa R.E.D. del Banco Mundial.

Una vez ajustados los modelos de predicción del deterioro y efectos de la conservación del programa HDM-4, se realizará una evaluación técnico-económica comparativa entre las alternativas de conservación con y sin la utilización de sales de magnesio, para determinar la conveniencia relativa entre las estrategias de mantenimiento aplicadas. Esta evaluación incluirá un análisis de sensibilidad que permita cuantificar la incidencia relativa de las variables involucradas (volumen y composición del tránsito, tipos y costos de las alternativas de conservación, factores climáticos, periodicidad de la ejecución de las tareas "convencionales" de mantenimiento, características de los materiales utilizados, etc.) sobre los indicadores comparativos entre alternativas.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Se espera contar con más información a medida que se vayan completando las próximas etapas del proyecto, lo que permitirá además verificar el efecto de variables tales como el tránsito, sobre el cual se dispone de información muy preliminar para los tramos analizados, al momento de redactar este trabajo, y por lo tanto debe ser mejorada la calidad de estos datos con información adicional, como así también de suelos y parámetros climáticos.

No obstante, a la fecha las conclusiones parciales y recomendaciones que pueden extraerse de este estudio son:

- Al aplicar el tratamiento supresor de polvo, se logra una importante reducción del polvo emitido por los vehículos, no inferior al 80 u 85%.
- Esto genera en consecuencia una reducción en el consumo de agua para la conservación de los caminos, considerando que para el mantenimiento tradicional con agua en la región se deberían realizar dos riegos diarios. Consecuentemente, el uso de camiones aljibes también se reduce sustancialmente.
- Por la misma causa, se reduce la necesidad de utilizar motoniveladoras para reacondicionar el camino, ni otro tipo de maquinarias tales como rodillos compactadores, generando importantes economías en el costo de conservación de los mismos.
- Se presume también que se registrarán valores más bajos de IRI a lo largo del tiempo, dada la menor progresión del deterioro esperable en las superficies tratadas, aunque a la

fecha no se cuenta con suficientes datos de IRI como para confirmar esta hipótesis.

- De todas formas, es necesario optimizar el proceso de acondicionamiento de los caminos, para que sea lo más eficiente posible. En el estudio se pudo detectar que el proceso constructivo tuvo algunas deficiencias, propias de la falta de recursos, lo cual impidió lograr todos los beneficios que hubieran sido esperables con un proceso constructivo optimizado.

Las municipalidades también podrán aplicar las conclusiones y recomendaciones que surjan del proyecto, ya que están a cargo de administrar de manera directa muchos caminos vecinales que si bien no sería factible pavimentarlos, por razones de tipo económico, sí en cambio podría resultar muy beneficioso aplicarles una solución más económica y efectiva tal como la que se evalúa en este proyecto, en la medida que se comprueben dichas ventajas comparativas frente a una conservación de tipo tradicional.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean en primer lugar agradecer la colaboración de la Dirección Nacional de Vialidad, 9º Distrito San Juan, y de la Municipalidad del departamento Sarmiento, en el desarrollo de las tareas de acondicionamiento de los caminos bajo estudio. También se agradece el aporte efectuado por las empresas Vialtec S.A. de Argentina, y SALMAG y DICTUC de Chile, en todo lo referente a la provisión del producto necesario para la prueba, el financiamiento de determinadas actividades, y el asesoramiento brindado para la ejecución de las técnicas de aplicación del producto y de medición del polvo emitido. Finalmente, se expresa un especial agradecimiento a la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña y a CICITCA de la Universidad Nacional de San Juan, por el apoyo y financiamiento parcial otorgado para las actividades del proyecto de investigación.

9. BIBLIOGRAFÍA

Campos D., Gabriel, y Espinoza O., Esteban (2006): "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". Dirección Nacional de Vialidad de Chile, Región del Maule. VIII Congreso Internacional Provincial 2006, Antofagasta, Chile, octubre de 2006.

Cundill, M.A. (1991): "The MERLIN Low Cost Road Roughness Measuring Machine". TRRL Research Report 301. Transportation and Road Research Laboratory, Department of Transport. United Kingdom, 1991.

Del Aguila, Pablo (1999): "Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión". 10° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Sevilla-España, Noviembre 1999.

Halles, F.; Thenoux, G.; Bellolio, J.P.; Pavez, M.; Ovalle, J.T. (2005) "Proyecto Evaluación de la Bischofita como Riego Supresor de Polvo". XIV Simposium de Ingeniería en Minas. Santiago de Chile, 24 de Agosto de 2005.

Rojas Cazaluade, Oscar (2008): "Ajuste de las Variables que Gobiernan los Modelos de Comportamiento de HDM-4 para Vías No Pavimentadas de la Región de Antofagasta, Chile". Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2008.

Thenoux, G., y Vera, S. (2003): "Guía para la Aplicación de Roadmag como Supresor de Polvo en Caminos No Pavimentados". Centro de Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC, Santiago de Chile. Febrero del 2003.

Thenoux, G., y Vera, S. (2003): "Guía para la Aplicación de Roadmag como Estabilizador de Caminos No Pavimentados". Centro de Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC, Santiago de Chile. Febrero del 2003.

Thenoux, G.; Bellolio, J.P.; Halles, F. (2007): "Development of a Methodology for Measurement of Vehicle Dust Generation on Unpaved Roads". Transportation Research Record N° 1989, Vol. 1, pp. 299 – 304. Journal of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A., 2007.

Thenoux, G.; Halles, F.; Vargas, A.; Bellolio, J.P.; Carrillo, H. (2007): "Laboratory and Field Evaluation of Fluid Bed Combustion Fly Ash as Granular Road Stabilizer". Transportation Research Record N° 1989, Vol. 2, pp. 36 – 41. Journal of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A., 2007.

Vera Araya, Sergio (2001): "Evaluación de la Efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como Estabilizador Químico de Carpetas Granulares de Rodado". Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica. Santiago de Chile, 2001.