



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Pradena, M; Mery, J.P; Novoa, E
Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve
en zona de montaña
Revista de la Construcción, vol. 9, núm. 2, diciembre, 2010, pp. 97-107
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619215010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Unpaved roads
stabilization and
maintenance under
ice-snow conditions
in mountain
areas*

Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña



Autores

- PRADENA, M.** Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Concepción, Chile
mpradena@udec.cl
- MERY, J.-P.** Profesor Asistente, Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
jpmary@uc.cl
- NOVOA, É.** Constructor Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
evnovo@uc.cl

Fecha de recepción 28/05/2010
Fecha de aceptación 01/12/2010



Resumen

Como es sabido, entre los principales factores que intervienen en la vida útil de un camino se encuentra el tránsito y las condiciones climáticas. Algunos caminos no pavimentados que se encuentran en zonas de montaña, por ser parte de faenas industriales importantes, deben mantenerse operativos el mayor tiempo posible durante el año, debido al fuerte impacto económico que podría significar su cierre. El paso constante de vehículos pesados y las

condiciones extremas de hielo y nieve aumentan de manera significativa el deterioro de estos caminos. Por lo anterior, se realizan procesos de estabilización de la carpeta de rodado tendientes a disminuir el potencial daño al que se someten, logrando a su vez un efectivo control del hielo y la nieve. En este artículo se realiza una síntesis y discusión sobre el uso de productos estabilizantes en este tipo de caminos tanto en Chile como en otros países.

Palabras clave: Caminos no pavimentados, estabilización, hielo-nieve, montaña.

Abstract

Traffic and climate conditions are well known variables that define the road cycle of life. Some unpaved roads located in mountain areas should be kept open as much as possible throughout the year, since they are part of important industrial works and because of the economical impact its closing could cause. Permanent traffic of heavy-duty vehicles in addition to extreme snow and ice condition

increase deterioration of these roads significantly. Thus, stabilization processes of the road pavement are performed to reduce the potential damage they will be subject to, achieving in turn effective control on ice and snow. This article focuses on a synthesis and discussion about the use of stabilizing agents in this kind of roads, both in Chile and in other countries.

Key words: Unpaved road, stabilization, ice-snow, mountain.

1. Introducción

1.1 Caminos no pavimentados

Es necesario que los caminos no pavimentados se encuentren sometidos a una gestión en la cual se incluya el mantenimiento como actividad relevante debido a la necesidad de minimizar los deterioros que comúnmente se observan, tales como pérdida de fracción gruesa, erosiones, baches, calaminas, entre otros deterioros. A ello debe sumarse el desprendimiento de finos que genera emisiones de polvo y la preocupación por un correcto saneamiento y drenaje.

Para mejorar las condiciones de la carpeta de rodado puede recurrirse a la estabilización del suelo por medios mecánicos o químicos, siendo la primera una solución que se logra a través de la compactación y mejoramiento de la estructura granulométrica (INN, 2001), mientras que la segunda consiste en la aplicación de aditivos químicos como sales, enzimas, polímeros y otros subproductos del petróleo, que se mezclan con el suelo (carpeta) a tratar, según dosis previamente definidas. Algunas de estas soluciones requieren adicionalmente un curado posterior a su aplicación.

1.2 Caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo y nieve

Si bien el objetivo principal de las redes viales no pavimentadas es proporcionar conectividad a bajo costo, existen ciertos caminos como los ligados al sector productivo (principalmente minero y forestal en Chile) que además demandan un estándar de servicio mínimo que garantice seguridad, operatividad y durabilidad. Muchas de estas vías se encuentran emplazadas precisamente en zonas de montaña y bajo condiciones de hielo y nieve, donde las solicitudes se tornan más agresivas.

Para este tipo de caminos es recomendable disponer una carpeta de rodado granular, que proteja la subrasante proveyendo estabilidad debida, entre otras cosas, a la menor vulnerabilidad frente a los ciclos hielo-deshielo. Adicionalmente, es posible estabilizar el camino con algún producto, minimizando el deterioro, además de mantener el control de hielo y nieve.

1.3 Objetivo

El presente trabajo tiene por finalidad realizar una síntesis y discusión sobre el comportamiento de agentes estabilizantes en caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo y nieve en zonas de montaña.

2. Estabilización de caminos no pavimentados

Existe una amplia variedad de productos utilizados para estabilizar carpetas granulares, cuyas propiedades resultan apropiadas para utilizarlas en sectores con clima propio de montaña, donde las condiciones de hielo y nieve son un problema constante y/o en zonas donde el clima es seco, con tendencia a aumentar la emisión de polvo. Los cloruros en general se caracterizan por disminuir el punto de congelamiento del agua y ser corrosivos para los automóviles, mientras que los polímeros mejoran la resistencia mecánica del suelo. Por otra parte, los productos enzimáticos requieren un especial periodo de curado. En la Tabla 1 se presenta una descripción resumida de los productos estabilizantes utilizados normalmente.

3. Situación chilena: la experiencia minera

En Chile, la estabilización se encuentra incorporada en la normativa vial de manera más sistemática con posterioridad al año 2000, junto con la actualización del Manual de Carreteras y cuando nace el programa gubernamental de mejoramiento de la red vial no pavimentada, "Caminos Básicos", en 2003, siendo presentado como una solución técnica de bajo costo para mejorar la condición de rodadura en carpetas granulares, brindando una durabilidad mayor que la obtenida con una conservación tradicional. Además, trae como consecuencia una considerable reducción de las emisiones de polvo y una disminución en la frecuencia de intervenciones de conservación. Junto con esta experiencia se han presentado otros estudios en las distintas versiones del Congreso Internacional PROVIAL CHILE orientados a buscar un comportamiento óptimo de las carpetas. Sin embargo, la mayoría de estas aplicaciones se han enfocado en caminos de zonas no afectas a condiciones de hielo y nieve.

En Chile ha sido el rubro de la minería quien precisamente ha dado protagonismo a esta última situación, debido a que gran parte de esta actividad se emplaza en la cordillera y a que sus operaciones no se pueden detener por el impacto económico que supondría paralizar el proceso industrial (transporte de mineral, personal, logística, servicios, etc.). Por otro lado, el tránsito de maquinaria pesada y los horizontes de proyecto habitualmente hacen inviable el uso de caminos pavimentados, debiendo recurrirse a soluciones granulares de alto desempeño.

Dentro de la experiencia minera chilena sometida a condiciones extremas de nieve, hielo, tránsito pesado y



Tabla 1 *Productos estabilizantes de uso habitual*

Producto estabilizante	Descripción
Cloruro de calcio (CaCl)	Disminuye el punto de congelamiento del agua a -51°C y la permeabilidad del suelo. Potencial corrosión de vehículos. El agua tiende a lavar el producto y a formar superficie resbaladiza. Potencial daño medioambiental. Buen desempeño en suelos granulares limosos y/o arcillosos.
Cloruro de magnesio (MgCl)	Más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Disminuye punto de congelamiento del agua a -32°C. Considerado muy corrosivo. El agua diluye los cloruros. Efectivo en carpetas bien graduadas.
Cloruro de sodio (NaCl)	Disminuye punto de congelamiento del agua a -21°C. Moderadamente corrosivo en metales. El agua puede generar un potencial lavado del producto. Buen uso en gravas arenosas, suelos arcillosos y/o limosos, libres de materia orgánica.
Polímeros	Provoca una floculación del suelo que permite mejorar la resistencia mecánica. Disminuye el agua contenida entre las partículas de suelo y reduce la permeabilidad. Tiene dificultad para mantener una superficie dura. Buen uso en suelos granulares, limosos y/o arcillosos.
Agentes enzimáticos	Requieren un periodo de curado, lo cual genera dificultad de uso masivo en áreas donde las condiciones meteorológicas son lluviosas y húmedas. Efectivo en suelos que contienen arcillas, limos y material orgánico.

baja humedad atmosférica (especialmente en verano) se encuentran algunas empresas importantes como Minera Los Pelambres (IV Región), Codelco División Andina (V Región) y Anglo American Chile División Los Bronces (Región Metropolitana), entre varias otras.

Los caminos industriales de estos yacimientos tienen ciertas características propias del entorno de montaña y de su actividad operacional. Estas características técnicas son en general recurrentes y se podrían resumir en:

Calzadas entre 7 y 8 m (hasta 21 m en el área del rajo y explotación).

- Espesores de carpeta de rodado entre 10 y 20 cm.
- Pendientes y gradientes cercanas al 8% en promedio (o un poco más en rampas especiales).
- Curvas horizontales con radios de giro variables, observándose desde curvas de retorno de baja velocidad de proyecto hasta sectores de trazado amplio y curvas para $V_p > 70$ Kph.
- Sistemas de drenaje conformados por cunetas a pie de talud de corte y camellones por el lado del terraplén. Los peraltes y bombeos no necesariamente siguen un diseño conforme a las normas.
- Los alineamientos verticales y horizontales en general no siguen diseños previamente estudiados, sino que más bien responden a una adecuación entre lo necesario y la topografía de montaña donde se emplazan las vías.

De acuerdo a lo observado por los autores, los tipos de productos estabilizantes comúnmente utilizados son los referidos en la Tabla 2.

La red vial de la minera Codelco, División Andina, en invierno se encuentra sometida a condiciones extremas de hielo y nevadas, mientras que en el periodo de verano predomina la sequedad generándose importantes emisiones de polvo por el alto tránsito industrial.

Por lo anterior, una vez finalizada la temporada invernal se realiza una mantención de la carpeta de rodado, reconstruyéndola con mezclas homogeneizadas de suelo y cloruro de sodio, que es sobrepuesta a la anterior y finalizando con un sello del mismo producto. Por este motivo, la sal cumple una función triple: mejorar la carpeta funcionando para derretir la nieve y hielo en periodos fríos, disminuir el punto de congelamiento y reducir la emisión de polvo en periodos secos (principalmente época estival).

La estabilización con cloruro de sodio fue previamente evaluada a fin de optimizar y mejorar las operaciones de mantenimiento que se realizaban en dicha red vial (Jara, 1999). Más tarde se desarrollaron pruebas en periodo estival (enero-marzo) para comparar la sal con distintos productos estabilizadores. Como conclusión se verificó que el mejor estabilizador de suelos para el camino debería ser el *Pennzsupress'D* (polímero), para su utilización tanto en verano como en invierno (Zapata, 2004). Sin embargo, este producto aún no ha sido implementado.

Tabla 2 *Productos estabilizantes utilizados en algunos caminos¹ de minería en Chile*

Empresa	Producto estabilizador
Codelco División Andina	Cloruro de sodio (NaCl)
Anglo American División Los Bronces	Cloruro de sodio (NaCl) ²
Minera Los Pelambres	Fitosoil Dust Control ® ³ y Cloruro de sodio ⁴

¹ Se incluyen todos los caminos: red vial interior logística y red vial propia de las explotaciones del rajo. ² Desarrollaron pruebas con productos enzimáticos, con resultados no muy satisfactorios. Se continúa el uso de NaCl. ³ Producto de origen vegetal y mineral. ⁴ El NaCl es utilizado en curvas y a una altitud sobre los 2.500 m.s.n.m., fundamentalmente para controlar hielo.

Figura 1 *Camino industrial División Andina, Codelco Chile. Elevación 2.700 m.s.n.m. Carpeta estabilizada con NaCl. Octubre 2009*



Figura 2 *Camino industrial División Andina, Codelco Chile. Elevación 3.200 m.s.n.m. Condición hielo-nieve al final del período invernal. Octubre 2009*



Figura 3 *Camino industrial División Los Bronces, Anglo American Chile. Elevación 2.100 m.s.n.m. Mantenimiento de la carpeta con NaCl terminado el período de invierno. Noviembre 2007*



Figura 4 *Camino industrial División Los Bronces, Anglo American Chile. Elevación 2.300 m.s.n.m. Aspecto superficial de la carpeta después del mantenimiento. Diciembre 2006*



Figura 5 Camino industrial Minera Los Pelambres, Chile. Elevación 2.300 m.s.n.m. Carpeta con Fitosoil®. Diciembre 2007



Por otra parte, la minera Anglo American Chile, División Los Bronces, realiza dos tipos de mantenciones anuales a su red vial: una intervención total y otras conservaciones rutinarias.

La primera comienza con un escarificado de los residuos de la plataforma de la carpeta, para luego aplicar cloruro de sodio junto con una dosis de agua, homogeneizando la mezcla con el material granular y compactando, a lo que se agrega un sello con el mismo producto. Una vez finalizada la temporada invernal (fines de septiembre e inicio de octubre) y dependiendo del estado de la carpeta, se realiza un resellado para evitar emisiones de polvo. Las mantenciones rutinarias corresponden a aquellas que se desarrollan a lo largo de todo el año, conforme a inspecciones detalladas. Como resultado, se tiende a lograr el mejoramiento continuo de la carpeta.

A diferencia de los yacimientos anteriores, Minera Los Pelambres se ubica más al norte, al interior de la IV Región, cuyo clima también se caracteriza por ser de media y alta montaña, aunque con la particularidad de ser un poco más cálido, donde las condiciones de hielo sobre el camino prevalecen menos tiempo después de las nevadas. El camino principal entre sus instalaciones presenta una solución constructiva similar a los caminos ya mencionados. La carpeta de rodado se forma a partir de una mezcla de suelo, cloruro de sodio y agua, y finalmente con una cantidad definida de riegos de Fitosoil®. El requerimiento funcional especial a cumplir, es el control del fino en la superficie de la carpeta, para reducir la generación de polvo. En aquellos tramos sometidos a nevazones, se indica la utilización del cloruro

Figura 6 Terminación superficial de la carpeta con Fitosoil®. Elevación 3.200 m.s.n.m. Minera Los Pelambres, Chile. Diciembre 2007



de sodio para controlar hielo y nieve, además de las típicas faenas de despeje con maquinaria. Cuando la nieve caída es escasa, y dado que se trata de una zona algo más cálida, no se realiza esta gestión.

4. Situación internacional

A diferencia de la situación en Chile, en el extranjero se advierte escaso uso de productos para estabilización en condiciones meteorológicas invernales. Sin embargo, se utiliza un sistema de gestión para estas condiciones, basado en programas con políticas para control de hielo y nieve.

En estos sistemas, habitualmente se incluye una priorización de los caminos, en los que intervienen factores como las solicitudes de tránsito, velocidad de operación y categoría del camino dentro de la red vial, donde las vías principales suelen ser carreteras que conectan zonas importantes, y las secundarias, aquellas que conectan pequeños centros poblados cuyos caminos son fundamentalmente no pavimentados.

Algunos condados en EE.UU. que cuentan con estas políticas son El Paso (Estado de Colorado), Becker, McLeod y Wadena (Estado de Minnesota) y Juneau (Estado de Alaska), mientras que en Canadá se observan políticas en Nueva Escocia. Sin embargo, de acuerdo a la revisión bibliográfica del presente trabajo, se constataron escasas referencias a estabilizantes químicos para carpetas granulares en EE.UU. En algunos casos se utiliza la estabilización mecánica añadiendo material granular

para mejorar la prestación del camino en presencia de hielo-nieve.

En países como Finlandia, Suecia, Noruega y Escocia, donde los inviernos suelen presentar características climáticas extremas y persistentes durante gran parte del año, se aplican operaciones de conservación antes del invierno, para minimizar posibles deterioros que causa la nieve y hielo, y antes del verano, para el control de emisiones de polvo (Tabla 3).

Para la mantención antes del invierno, condiciones comunes a considerar son siempre el drenaje y saneamiento del camino, mientras que para el verano siempre se pretende corregir el desgaste que ha sufrido la carpeta por la época fría, y agregar algún producto estabilizador para evitar problemas de polvo.

Una solución que se emplea en los deshielos durante la primavera son las restricciones a las solicitudes de tránsito, aplicadas en sectores donde la estructura del camino se encuentra congelada gran parte del año. Durante las temporadas frías, cuando la capacidad de carga de la carretera se encuentra en su punto más débil, la estructura del camino requiere protección, razón por

la cual en EE.UU., Escocia y en países escandinavos se utilizan este tipo de medidas (Tabla 4).

Una característica común para estos países es la industria del transporte, especialmente las operaciones relacionadas con el sector forestal y pesquero, los cuales se han convertido en un factor importante. Por lo anterior, la gestión del mantenimiento se encuentra actualmente bajo una gran presión de tener que disminuir las restricciones de peso, aceptándose una mayor carga por eje respecto de los tradicionalmente permitidos durante los inviernos.

5. Discusión

Países como Finlandia, Suecia, Noruega y Escocia realizan mantenciones que pueden incluir el mejoramiento del saneamiento y drenaje, recebo y perfilado de la carpeta, despeje de nevadas y la aplicación de algún tipo de supresor químico de polvo. Además de esto establecen restricciones de carga para disminuir el deterioro que genera el transporte pesado sobre la carpeta, al actuar conjuntamente con las solicitudes del medio ambiente. Sin embargo, muchos de estos caminos se

Tabla 3 Operaciones de mantenimiento invernal en algunos países con frío extremo		
Región/ país	Época de intervención	Descripción
Laponia, Finlandia	Invierno	Se llevan a cabo justo antes de la temporada. Las motoniveladoras son utilizadas para nivelar al 4% el bombeo de la sección transversal. También son niveladas las bermas. Se incluyen en la mantención, la limpieza de cunetas e inspección de alcantarillas.
	Primavera	Se realiza descongelamiento de alcantarillas y limpieza de las cunetas con residuos de hielo. Una vez que la nieve se ha derretido, se realizan perfilados de los caminos. Para control de polvo se utiliza 1-2 ton/km de NaCl.
Región Norte, Suecia	Invierno	En caminos donde el bombeo es insuficiente, se mejora al 3,5%.
	Primavera	Remoción de nieve de bermas, limpieza de alcantarillas y perfilado con motoniveladoras. Para el control de polvo se utiliza el cloruro de magnesio (MgCl) y cloruro de calcio (CaCl).
Troms, Noruega	Invierno	No existen técnicas especiales para la mantención de invierno.
	Primavera	Carpeta de rodado se receba nivelándola. El drenaje es mejorado removiendo la nieve de bermas después de que comienza el descongelamiento. Para el control de polvo se utiliza el cloruro de calcio (CaCl).
The Highlands, Escocia	Invierno	No hay medidas especiales que se empleen para el comienzo del invierno.
	Primavera	En primavera, los caminos no pavimentados son mantenidos por la industria forestal, siendo la técnica principal el recebo de la carpeta de rodado con un perfilado.

Tabla 4 Restricción de cargas solicitantes en algunos países de climas fríos

País	Descripción
Suecia	Utiliza restricciones permanentes (los caminos son divididos en clases donde las cargas se limitan a 8, 10, 51.4, o 60 ton) y temporales (utilizadas para caminos de grava y puentes clasificados como “débiles”), durando entre 40 y 50 días, desde abril hasta mayo. Durante la temporada de deshielo en primavera, alrededor de 13.000 km de caminos son cerrados al tránsito pesado.
Finlandia	Los problemas en primavera se tratan de dos formas: a) implementado restricciones de carga en caminos cuando el daño es potencial, y b) cuando el deterioro es muy grande se realizan reparaciones.
Noruega	Las restricciones temporales no son utilizadas. La red vial de este país ha sido clasificada en cuatro grupos dependiendo de la carga. El peso máximo por vehículo es de 50 toneladas.
Escocia	Los pesos máximos admisibles varían entre las 9.5 a 11.5 ton por eje y dependen de la tracción, junto a la disposición de neumáticos. La carga máxima permisible por vehículo es de 41 ton.
EE.UU.	Dieciséis estados usan restricciones de peso anual y cuatro de ellos cuando las condiciones lo demandan. En cinco de ellos se ha implementado para caminos de grava.

caracterizan por gravitar fuertemente en la conectividad entre distintos tipos de sectores productivos, por lo que estas restricciones dejan de ser totalmente efectivas, cuando por ejemplo amenazan el transporte de bienes de primera necesidad a centros urbanos. Por lo tanto, la utilización de productos estabilizantes en caminos no pavimentados bajo condiciones de hielo y nieve podría aumentar en estos países.

Desde la perspectiva chilena, en general se observa un mantenimiento sistemático de las redes viales no pavimentadas del sector minero, apoyada con recursos y tecnología, según lo demanda el negocio y sus altos estándares de seguridad. En este contexto la utilización de productos estabilizantes está asociada a una solución integral de mantenimiento, controlando el hielo y la nieve durante la temporada invernal, y reduciendo las emisiones de polvo en los periodos secos (verano). Por otra parte en las redes viales públicas existe amplia experiencia en la utilización de estabilizadores como controladores de polvo. Sin embargo, la aplicación de estos productos en caminos no pavimentados sometidos a la acción del hielo y la nieve es aún reducida, priorizando obras importantes como los pasos fronterizos.

Zapata (2004) recomienda el producto *Pennzsupress'D* para mejorar las características de la carpeta en periodo invernal. No obstante, esta afirmación debe validarse por el hecho de que la investigación se realizó en verano. De esta manera en la red vial de la minera Codelco, División Andina se sigue utilizando cloruro de sodio en periodo invernal. Por otra parte, Ugarte (1987) concluyó que el NaCl era el supresor de polvo que entregaba los mejores resultados en términos de costo y comportamiento. De

igual modo se puede inferir de la investigación de Zapata (2004), que la sal es un producto que aporta importantes beneficios en términos de costo. Esto tiende a ser corroborado por la experiencia de la compañía Anglo American Chile, División Los Bronces, donde se sometieron a prueba en 2009 algunos productos enzimáticos no logrando los efectos deseados, situación que por el momento aconseja continuar con el uso de cloruro de sodio todo el año.

El acetato de calcio y de magnesio son productos que se han comenzado a utilizar como sustituto del cloruro de sodio y cloruro de calcio para controlar el hielo en caminos pavimentados, debido al nocivo impacto que estos últimos producirían al medio ambiente. Sin embargo, de acuerdo a la revisión bibliográfica del presente trabajo, no se constataron estudios para su aplicación en el control de hielo, nieve y/o polvo en caminos no pavimentados.

En síntesis, es mucho lo que se puede hacer aún para optimizar el uso de estabilizadores en caminos de montaña. Los ejemplos presentados en este trabajo, particularmente los asociados a la industria minera en Chile, son exitosos desde el punto de vista de los objetivos para el cual son utilizados.

6. Conclusiones

Los caminos no pavimentados suelen tener un importante impacto en diversos países del mundo, proveyendo accesibilidad no solo a centros poblados, sino que además como promotor de sectores productivos. La

utilización de este tipo de caminos es particularmente importante en Chile y en América en general.

Si bien uno de los mayores inconvenientes de los caminos no pavimentados es la emisión de polvo, esta puede ser controlada utilizando productos estabilizantes. Al respecto, existen diversos estudios sobre la reducción efectiva del polvo y el mejoramiento de las propiedades de la carpeta en caminos que contienen estos productos. Sin embargo, cuando se trata de investigaciones relacionadas con sectores sujetos a condiciones de hielo y nieve, se aprecia un reducido número de investigaciones. Pese lo anterior, la mayor información sobre el uso y operación de estabilizadores utilizados en temporadas invernales, puede encontrarse en la experiencia práctica de aquellas empresas mineras emplazadas en la cordillera de los Andes y que permanentemente deben hacer frente a sus condiciones climáticas adversas.

El mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo y nieve, debería considerar el mejoramiento del saneamiento y drenaje, recebo y perfilado de la carpeta, uso de estabilizadores para el control del polvo y la mitigación de la acción del hielo y la nieve, y despeje de nevadas. Adicionalmente, y según las características particulares de las actividades asociadas a los caminos, podría incluirse restricciones al tránsito pesado.

A pesar del desarrollo de nuevos productos estabilizantes, en este trabajo se confirma que el cloruro de sodio sigue siendo un aditivo que permite a los caminos no pavimentados mantener un aceptable estándar de servicio al actuar como controlador de polvo y mitigando la acción del hielo y la nieve sobre la carpeta.

Por último, y particularmente en zonas con condiciones de montaña, se hace necesario que las operaciones de conservación se encuentren a cargo de profesionales y técnicos capaces de planificarlas, programarlas y llevarlas a cabo de manera integrada en un sistema de gestión de mantenimiento acorde a las condiciones locales.

7. Recomendaciones

Con respecto al limitado uso y falta de mayor experiencia de productos estabilizantes como solución al problema de hielo y nieve en caminos no pavimentados, se propone que se realicen investigaciones que permitan comparar el comportamiento de estos productos considerando variables como: configuración y volumen de tránsito, clima, frecuencia de intervenciones, nivel de servicio, costos totales, efectos sobre el medio ambiente, geometría del camino, composición granulométrica, entre otros.

En particular en referencia al cloruro de sodio, si bien es un producto estabilizante que soluciona en buena medida el problema de las emisiones de polvo (en verano) y el control de hielo-nieve (en invierno), se recomienda realizar estudios para optimizar las operaciones, los costos e incluso la utilización del mismo producto, pues el uso excesivo de este puede ser sensible al comportamiento del medio ambiente y tiene potencial corrosivo.

Si bien este trabajo se enfocó en el mantenimiento de los caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve, es importante mencionar la relevancia de contar con un adecuado diseño ingenieril desde la geometría del camino, pasando por el saneamiento y drenaje, hasta la composición granular de la carpeta.

Se sugiere considerar las experiencias presentadas en este artículo para su extrapolación y adaptación a caminos públicos no pavimentados que se encuentren sometidos a la acción del hielo y la nieve.

Se recomienda que la investigación realizada por Zapata (2004) sea estudiada durante los periodos fríos del año. De esta forma se podría confirmar o rechazar la validez de la solución presentada en aquella investigación.

Finalmente, se sugiere estudiar y analizar el posible uso del acetato de calcio y magnesio en caminos no pavimentados, como agente supresor de polvo, estabilizador y para operaciones en condiciones de hielo-nieve.

8. Bibliografía

1. ADDO, Jonathan, SANDERS, Thomas y CHENARD, Melanie. Road Dust Suppression: Effect on Maintenance Stability, Safety and the Environment. Phases 1-3, May 2004. 64 pp.
2. ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo. Evaluating economically justified road works expenditures on unpaved roads in developing countries. Transportation Research Record, 1: 41-49, 2007.
3. BECKER County Highway Department. Snow and ice control policy [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2003 [fecha de consulta: 3 de octubre de 2009]. Disponible en: [http://co.becker.mn.us/dept/highway/PDFs/forms/Snow%20%26%20Ice%20Control%20Policy.pdf#search="superintendent"](http://co.becker.mn.us/dept/highway/PDFs/forms/Snow%20%26%20Ice%20Control%20Policy.pdf#search=)
4. DATA analysis and evaluation of road weather information system integrated in Lithuania por Alfredas Laurinavicius, Donatas Cygas, Kestutis Ciuprinskas y Lina Jukneviute. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2(1): 5-11, 2007
5. DEPARTMENT of the Army (2004). Dust control for roads, airfields, and adjacent areas [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2004 [fecha de consulta: 6 de octubre de 2009]. Disponible en: http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_3_260_17.pdf
6. DIONYSIOU, Dionysios, TSIANOU, Marina y BOTSARIS, Gregory. Investigation of the conditions for the production of calcium magnesium acetate (CMA) road deicer in an extractive crystallization process. Crystal Research and Technology, 35(9): 1035-1049, Septiembre 2000.
7. EL PASO County Department of Transportation. Snow and ice control policy [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2000 [fecha de consulta: 3 de octubre de 2009]. Disponible en: <http://adm2.elpasoco.com/transprt/hac.asp>
8. GANJYAL, G, FANG, Q, y HANNA, M, Freezing points and small-scale deicing tests for salts of levulinic acid made from grain sorghum. Bioresource Technology, 98(15), 2814-2818, noviembre 2007.
9. GENERATION of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates por Heikki Tervahattu Kaarle Kupiainen· Mika Raisanen Timo Makela y Risto Hillamo. Journal of Hazardous Materials, 132(1), 39-46, abril 2006.
10. INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). Estabilización química de suelos – Caracterización del producto y evaluación de las propiedades de desempeño del suelo. NCH 2505: Of 2001. Santiago, Chile, 2001. 17 pp.
11. INTERNATIONAL Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways, and Airfields (8°, 2009, Illinois, USA). Effect of a changed climate on gravel roads. Illinois, USA, Edited by Erol Tutumluer and Imad L. Al-Qadi, 2009. 10 pp.
12. JARA, Gonzalo. Optimización sistema de estabilizado de suelo-NaCl para División Andina de CODELCO Chile. Tesis (Ingeniero en Construcción). Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería en Construcción, 1999. 77 pp.
13. JEREMY Lea y JONES David Jones. Initial findings on skid resistance of unpaved roads, Transportation Research Record, 2016(2007): 49-55, enero 2008
14. KRAMBERGER, Tomaz y ZEROVNIK, Janez. A contribution to environmentally friendly winter road maintenance: Optimizing road de-icing. Transportation Research Part D-Transport and Environment, 13(5): 340-346, julio 2008.
15. LABORATORY study on the relative performance of treated granular materials used for unpaved roads por Pascale, Bilodeau Pierre, Legere Jean y Dore Glen. Canadian Journal of Civil Engineering, 35(6), 624-634, junio 2008
16. LIVINGSTON County Road Commission. Gravel road maintenance information [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2008 [Fecha de consulta: 12 octubre de 2009]. Disponible en: <http://hamburg.mi.us/roads/PDFs/Gravel%20Road%20Maintenance%20Info-Brochure.pdf>
17. MCLEOD County Highway Department. Snow and ice control policy [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2007 [Fecha de consulta: 9 de octubre de 2009]. Disponible en: http://co.mcleod.mn.us/departament_files/Highway/McLeod_County_Snow_Ice_Control_REVISED_11-21-07_Policy.pdf
18. MONLUX, S. Stabilizing unpaved roads with calcium chloride. Transportation Research Board, 2(1819): 52-56, 2003.
19. MONLUX, Stephen y MITCHELL, Michael. Chloride stabilization of unpaved road aggregate surfacing, Transportation Research Record, 2(1989): 50-58, 2007.
20. MOP. Dirección de Vialidad. Manual de Carreteras. Volumen 5 y 7. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 2002.

21. MUNRO, Ron, EVANS, Richard, y SAARENKETO, Timo. ROADDEX II Project: Focusing on Low-Volume Roads in the European Northern Periphery. Transportation Research Record, 2(1989): 292-299, 2007.
22. NOVA Scotia Government. Winter maintenance and road safety tips [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2009 [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2009]. Disponible en: http://gov.ns.ca/tran/winter/booklet_winter_maintenance.pdf
23. OSCARSSON, Karin. Dust suppressants in Nordic gravel roads [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2007 [fecha de consulta: 3 de octubre de 2009]. Disponible en: <http://swepub.kb.se/bib/swepub:oai:DiVA.org:kth-4356?tab2=abs&language=en>
24. RICO, Alfonso. (1974). La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México: Eds. Limusa. 1974. 461 pp.
25. ROAD Commission for Oakland County. Gravel Roads [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2009 [fecha de consulta: 21 de octubre de 2009]. Disponible en: <http://rcocweb.org/Lists/Publications/Attachments/17/brochure%2009.pdf>
26. SAARENKETO, Timo. Roadex sub Project A, Phase I, state of the art study report; Road Condition Management of Low Traffic Volume Roads in the Northern Periphery. ISBN 951-98609-1-6, 2000.
27. SCHLUP, U y RUESS, B. Abrasives and salt - New research on their impact on security economy, and the environment (1741): 47-53, 2001.
28. THENOUX, Guillermo y SAN JUAN, Mauricio. (2000). Estabilización físico-química de suelos para caminos [Diapositiva]. Santiago, PROVIAL, 2000. 14 diapositivas.
29. UGARTE, Gonzalo. Control de polvo en rutas cordilleranas. Tesis (Constructor Civil). Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil, 1987. 189 pp.
30. UNITED States Environmental Protection Agency. Gravel Roads: Maintenance and Design Manual [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2000 [fecha de consulta: 25 de octubre de 2009]. Disponible en: http://water.epa.gov/polwaste/nps/gravelroads_index.cfm
31. VAN VEELEN y M. VISSER, A. T. The performance of unpaved road material using soil stabilizers, Journal of the South African Institution of Civil Engineering, 49(4): 2-9, 2007.
32. WADENA County Highway Department. Snow and ice control policy [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2007 [fecha de consulta: 6 de octubre de 2009]. Disponible en: http://co.wadena.mn.us/county_directory/highway/CONTROL%20POLICY.df
33. ZAPATA, Andrea. Análisis de alternativas de estabilizado de suelo para el Camino Industrial de CODELCO Chile, División Andina. Tesis (Constructor Civil). Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, 2004. 250 pp.