

**ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO EN EL  
MANTENIMIENTO DE CAMINOS SIN PAVIMENTAR, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE  
SALES ESTABILIZANTES**

**Palabras clave:** caminos sin pavimentar – recurso hídrico – mantenimiento – emisión de polvo – cloruro de magnesio hexahidratado

**Autores:**

Marcelo Gastón BUSTOS

Pablo GIRARDI MANCINI

Oscar Víctor CORDO

Miguel Oscar PEREYRA

María Paula CRUZ

Jaime CABRERA SALAZAR

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña  
Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan  
Dirección postal: Av. Libertador 1109 (Oeste). C.P. 5400, San Juan, Argentina  
Teléfono: 54-264-4272439

Correo electrónico de contacto: [mbustos@eicam.unsj.edu.ar](mailto:mbustos@eicam.unsj.edu.ar)

## **Resumen**

El presente trabajo describe el estado de avance de un proyecto de investigación orientado a evaluar las posibilidades de disminuir y optimizar el uso del recurso hídrico para el mantenimiento de caminos no pavimentados, mediante la aplicación de sales estabilizantes sobre la superficie de dichos caminos.

En general, en las provincias con climas secos es necesario realizar con elevada frecuencia riegos superficiales de agua, para mantener a estos caminos en estado transitable y para reducir la emisión de polvo, especialmente en verano donde se presenta una combinación de elevadas temperaturas y mayor tránsito.

Se analiza la incidencia de distintos factores tales como aplicación de riegos, configuración de tránsito, condiciones climáticas, capa de rodadura, etc., en relación a la emisión de polvo tras el paso de vehículos, y se compara con los registros de emisiones de polvo en caminos tratados con sales de estabilización, tales como el cloruro de magnesio hexa-hidratado, presentando finalmente los principales resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se está investigando la posibilidad de disminuir y optimizar el uso del recurso hídrico para el mantenimiento periódico de caminos no pavimentados. La emisión de polvo asociada al paso de vehículos sobre caminos no pavimentados genera múltiples problemas. La pérdida de finos da como resultado un incremento de la pérdida de cohesión de los agregados, y deja más expuestas las partículas gruesas del suelo, facilitando su desprendimiento por el tránsito de los vehículos. La calidad de rodadura va disminuyendo rápidamente, y eso produce molestias a los conductores y aumento de los costos de circulación. Se hace necesario aplicar frecuentes reperfilados con motoniveladoras, e incluso llegar a reponer material, lo cual produce un notorio incremento en los costos de conservación de este tipo de caminos.

Por otro lado, la generación de polvo da origen a problemas ambientales, afectando a la comunidad aledaña al camino, generando problemas de tipo respiratorio por la inhalación sistemática de material particulado en suspensión. También afecta a los cultivos cercanos, al cubrirlos de finas películas de polvo que atentan contra su calidad u obligan a invertir en limpieza manual de los productos agrícolas. Por otra parte, la presencia de polvo en suspensión dificulta la visibilidad, generando problemas de seguridad en el tránsito. El polvo también penetra en el motor y en ciertos componentes móviles del vehículo, aumentando su tasa de desgaste.

Todo ello hace que sea muy importante encontrar mecanismos alternativos para controlar y minimizar la emisión de polvo, dado su efecto negativo sobre el entorno. La técnica más usada habitualmente para este propósito consiste en aplicar riegos de agua por aspersión sobre el camino, mediante camiones tanque que permiten regar el camino en prácticamente todo su ancho. Esto es muy eficiente en un primer momento luego del riego, pero la duración de sus efectos es limitada y en relativamente poco tiempo la emisión de polvo vuelve a los niveles previos a la aplicación del riego, especialmente en verano o en días con elevada temperatura ambiental.

En consecuencia, el recurso hídrico que se aplica como paliativo de polvo tiene una eficacia muy acotada, y en lugares donde dicho recurso es escaso y no puede ser aplicado con la frecuencia que sería deseable para prolongar su efecto aplacador, se justifica más aún explorar otras metodologías alternativas de conservación que tengan una mayor eficiencia y

una mayor perdurabilidad de su acción a través del tiempo. Estudios precedentes realizadas por ingenieros de la Universidad Nacional de San Juan (Bustos y otros, 2015), basados a su vez en experiencias previas realizadas en Chile (Vera Araya, 2001; Campos y otros, 2006), han permitido constatar que la aplicación de sales de estabilización tales como el cloruro de magnesio hexa-hidratado, también conocido como bischofita (este mineral fue descubierto por Carl-Christian Ochsenius, pero su denominación fue en homenaje al geólogo y geoquímico alemán Gustav Bischof) sobre estos caminos, son muy convenientes frente a las técnicas habituales utilizadas para su conservación, ya que permiten no sólo reducir el polvo emitido sino también disminuir costos totales de conservación, en un análisis económico de mediano o largo plazo.

No obstante, se considera que no ha sido suficientemente analizado, en dichas publicaciones, el problema del impacto ambiental de la emisión de polvo, y su caracterización en diferentes condiciones. Asimismo, es necesario avanzar más en la cuantificación de la necesidad de riegos periódicos que permitan mantener el mayor tiempo posible una emisión mínima de polvo, estimando en consecuencia el consumo de recurso hídrico que se requeriría para ello, y cómo la utilización de técnicas tales como la estabilización con sales permitiría lograr estos mismos objetivos pero con un consumo de agua muy inferior o incluso prácticamente nulo. Estos son, en términos generales, los objetivos principales del estudio cuyo estado de avance se describe en el presente artículo.

## **2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

A continuación se describe sintéticamente la metodología planteada para el análisis de dichos aspectos a partir de mediciones en terreno, que consta de los siguientes pasos:

- a) Selección de tramos no pavimentados en los cuales se puedan aplicar estabilizadores químicos, y donde se ejecuten las actividades tradicionales de conservación en base a reperfilados con motoniveladora y riegos con camiones tanque. De ser necesario, se evaluará la posibilidad de ejecutar trabajos previos de acondicionamiento en algunos tramos.
- b) Obtención de datos de tránsito mediante censos de conteo manual o información provista por organismos viales. Otros datos, tales como indicadores de deterioro, o variables climáticas, se medirán con aparatos específicos.

- c) Una vez seleccionados y/o acondicionados los tramos testigo, se prevé realizar mediciones periódicas tanto de rugosidad IRI (utilizando aparato MERLIN proporcionado por la EICAM), como de emisión de polvo por tránsito vehicular mediante aparatos disponibles para la investigación: un dispositivo Dylos, y un aparato DustMate. Este último equipo contiene una bomba aspirante en su interior, que permite obtener una muestra del aire circundante, y cuenta con un fotómetro láser que permite cuantificar el número y tamaño de las partículas en suspensión, permitiendo posteriormente transferir los datos registrados a una computadora.
- En particular, se realizarán mediciones de la variación de polvo emitido por un vehículo inmediatamente después de efectuar un riego con agua en caminos sólo enripiados, y repetir posteriormente dichas mediciones en intervalos a definir. De esa manera, se contará con una curva de evolución de la cantidad de polvo emitida en el corto y mediano plazo después de regar el camino, y se podrá determinar en qué momento el polvo emitido ya tiene una magnitud semejante a la que se registra en un camino con el ripio seco.
  - Se procurará asimismo repetir dichas mediciones en condiciones de temperatura ambiente variadas, para determinar la incidencia de dicha variable sobre la evaporación del agua regada, y consecuentemente sobre la evolución del polvo emitido.
  - Se deberán asimismo determinar las características granulométricas del material ripioso existente sobre la calzada, para analizar la influencia del tipo de material sobre la emisión de polvo.
  - Para determinar el alcance del polvo emitido, se realizarán mediciones complementarias en dirección perpendicular al eje del camino, a ciertas distancias a definir respecto de dicho eje, alejándose hasta unos 50 o 100 m del mismo. Dichas mediciones deberán realizarse en un día calmo o con vientos inferiores a los 10 km/h, para descartar la influencia del viento en el aporte de polvo que llega hasta el instrumento que permite su registro.
  - A efectos de evaluar la influencia de la velocidad de circulación del tránsito sobre las emisiones de polvo, se medirá el polvo emitido por un vehículo pasando a diferentes velocidades.
- d) Con toda la información recopilada, se prevé finalmente realizar una evaluación técnico-económica comparativa entre las alternativas de conservación con y sin la utilización de sales, 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 sobre los indicadores comparativos entre alternativas.

### **3. ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

#### **3.1 Selección de tramos testigo**

En este primer año de proyecto se han evaluado diferentes tramos para su selección como tramos testigos dentro del experimento. En ellos se pretende comparar las características de la emisión de polvo generado cuando están solamente enripiados, respecto a lo que ocurre cuando se tratan con sales de estabilización en superficie. Los tramos deben tener preferentemente entre 200 y 300 metros de longitud, en recta y con buena visibilidad, para que el vehículo de mediciones pueda alcanzar velocidades suficientemente altas cuando sea necesario.

Se inspeccionaron varios tramos situados en departamentos de la provincia de San Juan. En el departamento Chimbas, finalmente, se decidió realizar mediciones de prueba para poder verificar el uso de los equipos y la metodología experimental y de muestreo, cuyos resultados se describen más adelante. Para ello se seleccionó una calle no pavimentada (Calle Rivadavia) en una zona suburbana (Fig. 1), y se coordinó la realización de un riego superficial con camión tanque (Fig. 2), con personal contratado por el municipio.

Las principales características de dicho tramo son:

- Geometría: Ancho promedio 6 metros, longitud 300 m. Se trata de un camino sin variaciones importantes de geometría vertical y horizontal.
- Tránsito: El T.M.D.A. estimado está en un rango de 200 vehículos, del cual un gran porcentaje corresponde a motocicletas.
- Impacto social: El camino elegido es de tipo semiurbano, con tránsito permanente de vehículos. Existe una comunidad que reside en los terrenos adyacentes a la vía.
- Conservación: Este camino tradicionalmente ha sido conservado por la municipalidad del departamento Chimbas, con reperfilados cada 2 meses y más frecuentemente en verano. Los riegos en la época de verano pueden ser hasta 2 por día.



Figura 1. Tramo de prueba en el departamento Chimbab



Figura 2. Coordinación de operación con el camión regador

Se muestra a continuación en las Fig. 3 y 4 una secuencia fotográfica las distintas etapas del camino luego de aplicado el riego.



Figura 3. Vista del camino, (a) recién regado con agua, y (b) media hora después del riego



Figura 4. Vista del camino, (c) 1 hora después del riego, y (d) 4 horas después del riego

### 3.2 Mediciones realizadas: principales hipótesis.

Las mediciones realizadas en esta primera etapa estuvieron orientadas a comprobar algunas hipótesis previas relacionadas con las características de la dispersión del polvo emitido por el tránsito vehicular. Dichas hipótesis se esbozan a continuación.

En las zonas contiguas a la mayoría de los caminos sin pavimentar se percibe una nube de polvo en el ambiente provocada por el paso de los vehículos, la cual afecta tanto a los habitantes de dicha zona como también a la flora y fauna del lugar. Conocer la cantidad de partículas emitidas a la orilla de un camino permite estimar cuán lejos puede extenderse el volumen de partículas generado por el tránsito vehicular, analizando así cuánto afecta el polvo en el entorno del camino en estudio. Si se analiza visualmente cómo se comporta la nube de polvo generada por el tránsito, la misma tiende a desaparecer una vez transcurrido un cierto tiempo y recorrida una cierta extensión, por lo que se puede esperar que la concentración de polvo disminuya a medida que el observador se aleja del camino, dando como resultado una curva que comienza en un nivel máximo de concentración a la orilla del camino y disminuye asintóticamente a partir de cierta distancia.

Considerando la temperatura, velocidad de circulación del vehículo, humedad y cantidad de finos del suelo, se espera que la mayor dispersión de partículas de polvo, debido a la turbulencia generada, se produzca en aquellos caminos con superficie seca, que tengan un material superficial con mayor cantidad de finos, bajo altas temperaturas y con un tránsito vehicular a alta velocidad. Por otro lado, en aquellos caminos recién regados, la dispersión y presencia de partículas de polvo será prácticamente nula. Pero a medida que se comienza a



secar la superficie, volverá a incrementarse paulatinamente la cantidad de polvo emitido, dependiendo en gran medida de la temperatura ambiente y humedad del suelo.

El propósito de las primeras mediciones de prueba, en tal sentido, ha sido verificar si estas hipótesis efectivamente se cumplen en terreno.

### **3.3 Mediciones climatológicas ejecutadas**

La velocidad del viento, humedad ambiental, temperatura y otras variables meteorológicas se han medido utilizando un aparato con los sensores correspondientes (Fig. 5).



Figura 5. Operador con aparato climatológico

### **3.4 Mediciones de polvo emitido**

Desde el punto de vista de la salud, hay dos categorías principales para caracterizar los efectos adversos del polvo de acuerdo al tamaño de las partículas (Campos y otros, 2006), el polvo inhalable  $PM_{10}$  que es la fracción de polvo aspirada que es retenida en la nariz, garganta, y vías respiratorias superiores con diámetros de partículas de aproximadamente  $10\ \mu m$  y el polvo respirable  $PM_{2.5}$  con partículas aún menores, con diámetros medios de  $2,5\ \mu m$ , que no son retenidas y pueden llegar a penetrar profundamente en los pulmones. En este estudio, las mediciones de emisión de polvo se realizaron con los aparatos portátiles DustMate y Dylos.

El equipo DustMate, mediante una bomba interna de 600 cc/min de capacidad, es capaz de obtener directamente una muestra del aire circundante. Las partículas absorbidas son analizadas en cantidad y tamaño por un fotómetro láser, entregando resultados para concentración de partículas de tamaños  $PM_{1}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con una frecuencia de hasta 1 muestra por segundo, midiendo cantidad de partículas cada  $m^3$ . (Fig. 6). La firma VIALTEC S.A. adquirió durante el mes de marzo del 2016 este medidor de partículas de polvo, el cual fue cedido para su uso dentro del proyecto en curso.



Figura 6. Medición con el aparato "DustMate" del polvo ambiental

El otro aparato de medición de polvo es un "Dylos", de menor capacidad de prestaciones si se lo compara con el mencionado "Dustmate", pero posee capacidades aceptables para su uso en la investigación diseñada. Si bien está más orientado a la medición de polvo en ambientes cerrados, el aparato Dylos puede ser utilizado en campañas de registro de datos en caminos, con muy buena calidad de mediciones. Con este aparato, la medición de cada tamaño PM se realiza por pie cúbico, y mide partículas de tamaños  $PM_{0.5}$  y  $PM_{2.5}$  (Fig. 7).



Figura 8. Medición de polvo con aparato "Dylos" en borde de camino

## Proceso de mediciones

Las mediciones se llevaron a cabo cuando no hubo tránsito continuo en el tramo seleccionado ubicado en el depto. Chimbas, para minimizar el sesgo en las muestras a causa de la aparición de material particulado asociado a polvo levantado por otros vehículos. En todos los casos, se pudieron realizar los registros de datos en condiciones de viento calmo (hasta 10 km/h de velocidad de viento), lo cual eliminaba el sesgo asociado al material superficial levantado por viento.

Utilizando como vehículo de prueba un automóvil manejado por uno de los miembros del equipo del proyecto, en primer lugar se tomó un registro basal del polvo en el lugar, sin nadie circulando sobre el camino, para tomarlo como medición de referencia. A continuación se hicieron pasadas con el vehículo circulando a diferentes velocidades (20, 50 y 80 km/h), para evaluar la diferencia entre el polvo emitido a cada velocidad. Estas mediciones se hicieron con ambos aparatos, Dylos y DustMate.

Posteriormente, manteniendo una velocidad constante de 50 km/h, se realizaron mediciones que se iban alejando progresivamente del camino en cada pasada: se midió primero en el borde del camino, y luego a 5 m, a 10 m, a 20 m y a 50 m del borde, respectivamente. Estas mediciones se realizaron sólo con DustMate (Fig. 8), que tiene una mayor capacidad de registro de la información ya que la guarda en su memoria, cosa que hasta el momento no ha sido posible lograr con el aparato Dylos.



Figura 8. Mediciones de polvo con aparato DustMate a distintas distancias del camino

Finalmente, se realizaron mediciones en distintos momentos después de la aplicación de un riego con agua sobre el camino, para evaluar cuánto tarda el ripio superficial en volver a un estado seco, con una emisión de polvo comparable a la del camino antes de regar. En el momento de realizar estas últimas mediciones, la temperatura ambiente fluctuaba entre 25 y 29 °C. Para estos registros se usó solamente el aparato DustMate. Una vez concluida la campaña, se procesaron los datos recopilados con planillas electrónicas, para facilitar su manejo estadístico y la presentación gráfica de resultados. En la Fig. 9 se muestra la planilla de campo utilizada para el registro manual de algunos datos.

Lugar:		Fecha:		Estado del tiempo:		Lectura Dylos																	
N°	Hora		Muestra Distancia	Posición (ruta o calle, progresiva, etc.)	Temper. Amb.	Humedad Amb.	Viento (km/h)	HF Actual Superf.	Peso Inici (g)	Peso Seco (g)	GPS	PM Fines											
	Inicial	Final																					
	10:20			carretera contibatal y Susa	16,9	43%	4,5	01	443														
								02	276														
	<del>10:28</del>		<del>2</del>																				
	10:30		3	Calle Boudouard y Calle Ferde Sur - Zaira																			
	10:35		4	Calle Norte - Solana																			
	10:45		5	Calle Norte - Solana																			
	10:50		6	Calle Norte - Solana																			
	11:00		7	Calle Norte - Solana																			
	11:05		8	Calle Norte - Solana																			
	11:13		9	Calle Norte - Solana																			
	11:20		10	20 metros - Solana																			
	11:23		11	50 metros - Solana																			
	11:35			Medición Pasad Dylos	23,5	37%	14/5							273	276	493	246	216	282	240			
														256	242	455	402	425	545	352			
	11:40			Med. Dylos - 20 km/h										249	243	429	466	425	449	422	364	234	234
														274	265	436	497	455	456	425	310	471	
	11:47			Med. Dylos - 50 km/h										264	245	424	481	446	424	425	425	225	225
														278	281	550	402	375	449	244	168	217	

Figura 9. Primera planilla utilizada en campaña, con registro de datos

**3.5 Análisis de resultados: vehículo circulando a diferentes velocidades**

**Aparato Dylos**

Al efectuar el análisis de la información provista por el aparato Dylos, en primer lugar, se puede apreciar que las gráficas de evolución en el corto plazo de la cantidad de polvo presente en el aire luego del paso de un vehículo se ajustan perfectamente a las previsiones formuladas en las hipótesis iniciales. La Fig. 10 muestra las gráficas para PM<sub>0,5</sub> y PM<sub>2,5</sub> con

el vehículo circulando a diferentes velocidades, y se nota por un lado el marcado ascenso repentino del polvo emitido justo luego de pasar el vehículo delante del aparato, seguido de un paulatino descenso hasta llegar a niveles prácticamente basales, en un lapso de poco menos de 2 minutos después del paso del vehículo. Asimismo, en la Fig. 10 es muy evidente el incremento de la cantidad de polvo emitido, a medida que el vehículo aumenta su velocidad de circulación.

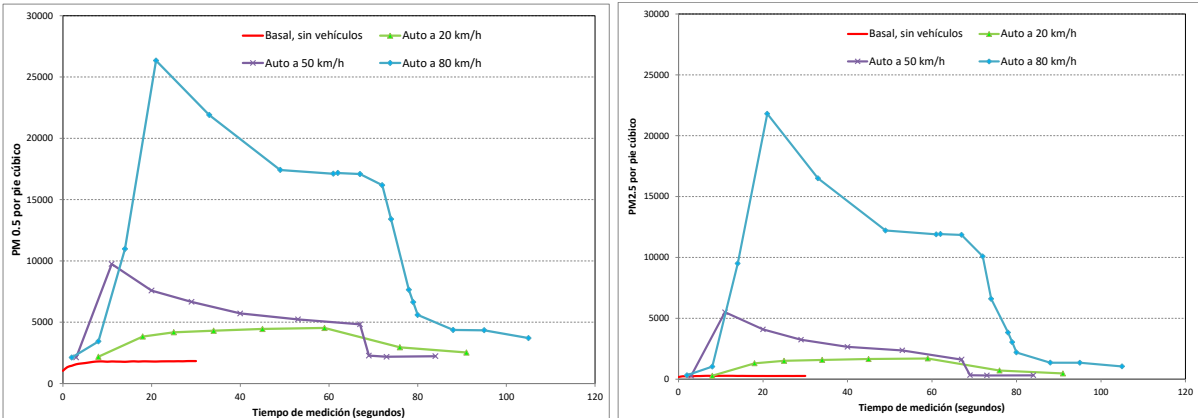


Figura 10. Variación de N° de partículas PM<sub>0,5</sub> y PM<sub>2,5</sub> a través del tiempo para distintas velocidades del vehículo pasante, datos Dylos

Las Figuras 11 a 13 muestran los datos específicos del aparato Dylos para una misma velocidad de circulación en cada caso, pero diferenciando entre tamaños de partículas

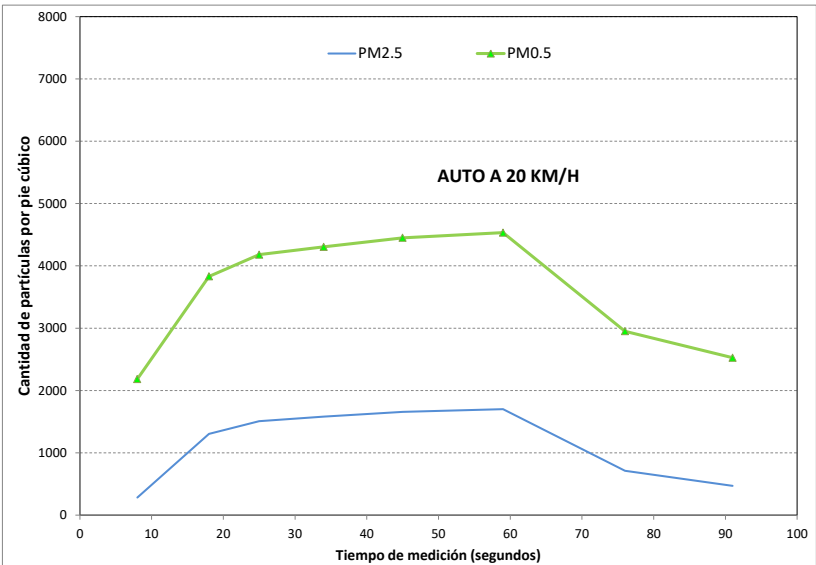


Figura 11. Evolución de la cantidad de partículas de distinto tamaño, velocidad 20 km/h

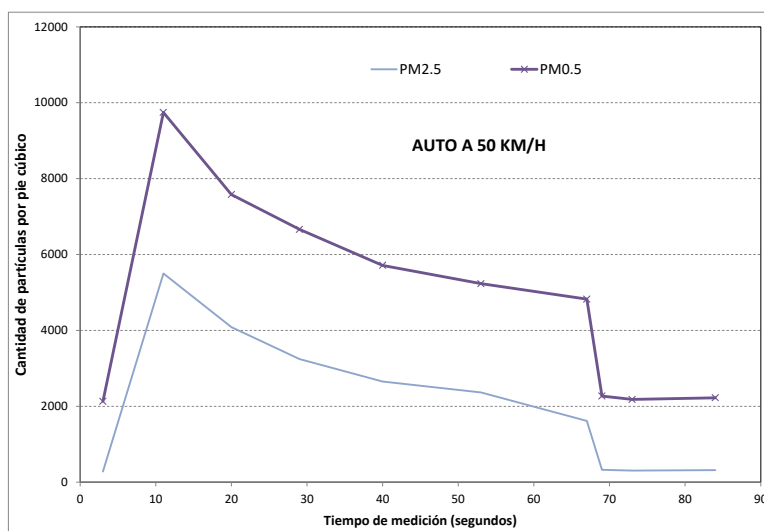


Figura 12. Evolución de la cantidad de partículas de distinto tamaño, velocidad 50 km/h

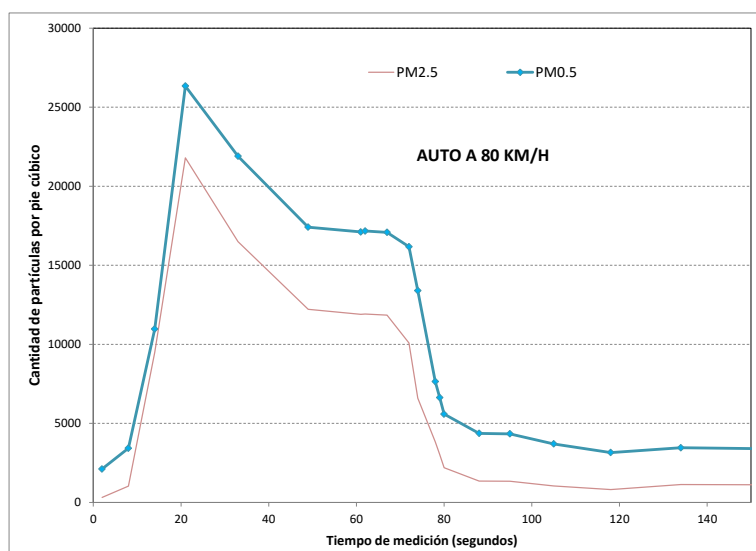
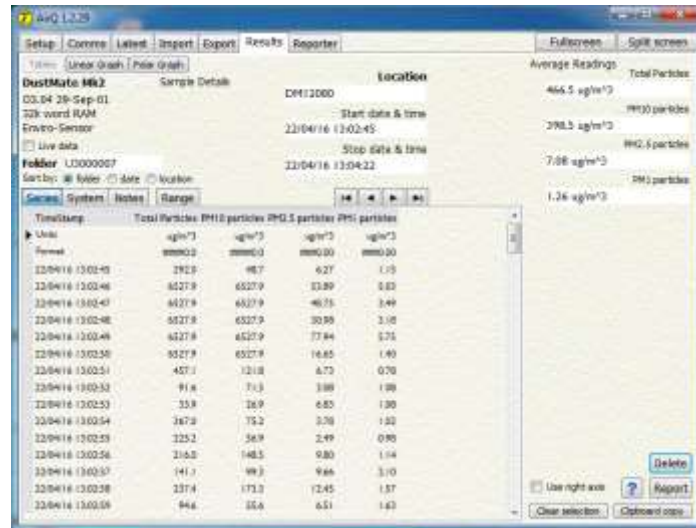


Figura 13. Evolución de la cantidad de partículas de distinto tamaño, velocidad 80 km/h

### Aparato DustMate

Respecto a la información provista por Dustmate, cabe mencionar el aparato permite descargar los datos recopilados a través del software AirQ32, con formato tabular y frecuencia de registro de 1 segundo, tal como se observa en la Fig. 14. Sin embargo, también tiene la opción de exportar los datos para su visualización en Excel. Al trabajar los datos con Excel, pudo apreciarse que los datos registran una gran variabilidad entre mediciones sucesivas, de manera que para suavizar las gráficas de tendencias se decidió

utilizar media móvil como recurso estadístico, con base 5 datos consecutivos, logrando mejores resultados en cuanto a la visualización de la información aportada.



En la Fig. 15 se presentan las gráficas DustMate de la emisión de polvo con los vehículos circulando a diferentes velocidades. Se puede apreciar que en los vehículos circulando a 50 km/h o a velocidades mayores, se registra un fuerte incremento inicial del polvo emitido, en ambos niveles de tamaño (partículas totales y  $PM_{2.5}$ ), aunque la diferencia entre circular a 50 km/h u 80 km/h no es tan notoria, como sí pudo apreciarse con el aparato Dylos. Este aspecto debe ser investigado con mayor profundidad en futuras campañas, ya que no es claro cuál puede haber sido la causa de esta diferencia entre ambos aparatos.

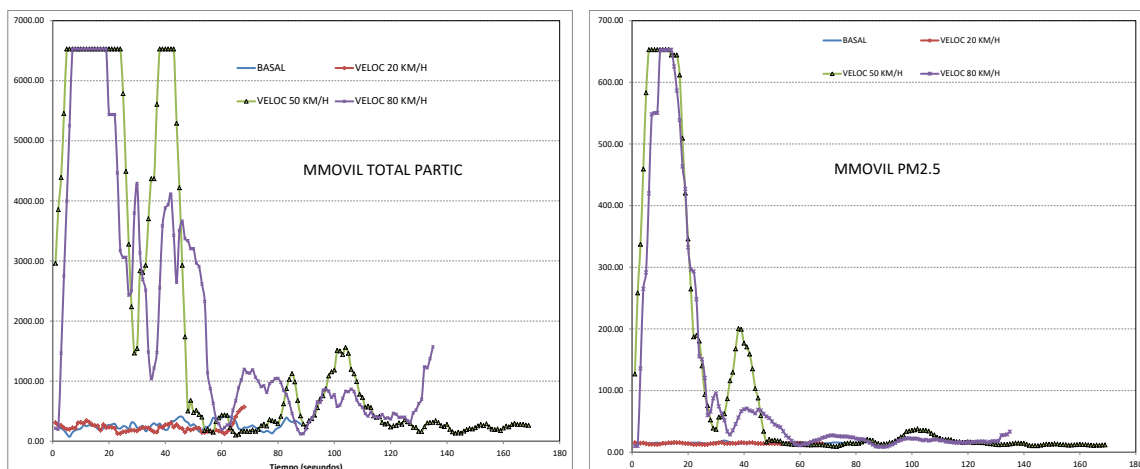


Figura 15. Evolución del polvo presente en el aire a diferentes velocidades de circulación, distintos tamaños de partículas, aparato DustMate

### 3.6 Resultados de mediciones a distancias crecientes respecto al camino

En cuanto a la variación del registro de polvo a medida que el punto de medición se va alejando del borde del camino, la Fig. 16 muestra los registros tomados a diferentes distancias, considerando que el tiempo de inicio de cada registro coincide con el instante en que el vehículo pasa justo frente al aparato DustMate. Cabe recordar que el vehículo circula en ese momento a una velocidad de 50 km/h, cualquiera sea la distancia al borde de camino en la que esté posicionado el aparato.

En la Fig. 16 se aprecia que en el borde del camino la medición registra instantáneamente el aumento del polvo, pero que a 5 mts el pico máximo de la fase de incremento del polvo se produce casi 1 minuto después del paso del vehículo frente al aparato. Por su parte, las mediciones a distancias mayores casi no registran una fase notable de incremento del polvo registrado por el aparato, sólo sobre el final hay un incremento un poco mayor.

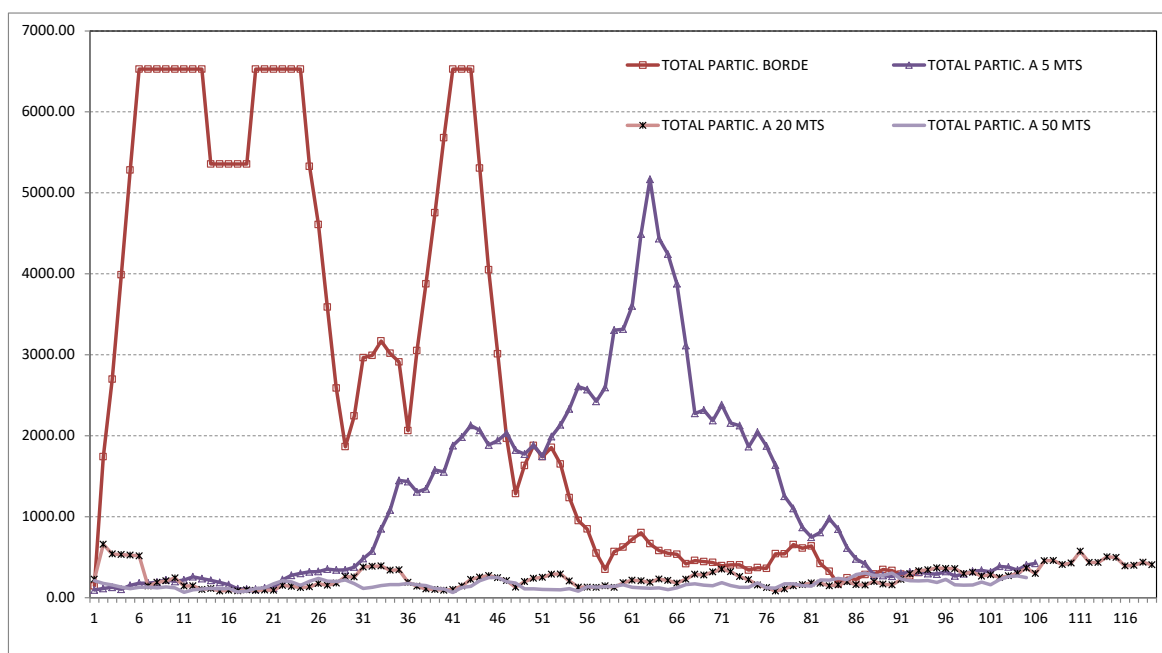


Figura 16. Evolución del polvo en el aire, diferentes distancias respecto al borde del camino

En futuras campañas se deberá repetir la medición a 10 mts del borde, que en este caso debió ser descartada por presencia de viento en ese momento, que alteró los resultados obtenidos. Pero en el resto de las mediciones, la tendencia es tal como se esperaba inicialmente.



### 3.7 Resultados de mediciones en distintos momentos luego de un riego

Finalmente, respecto a la evolución del polvo en diferentes momentos de medición luego de la aplicación del riego, la Fig. 17 muestra las curvas registradas por DustMate en cada momento, para el total de partículas.

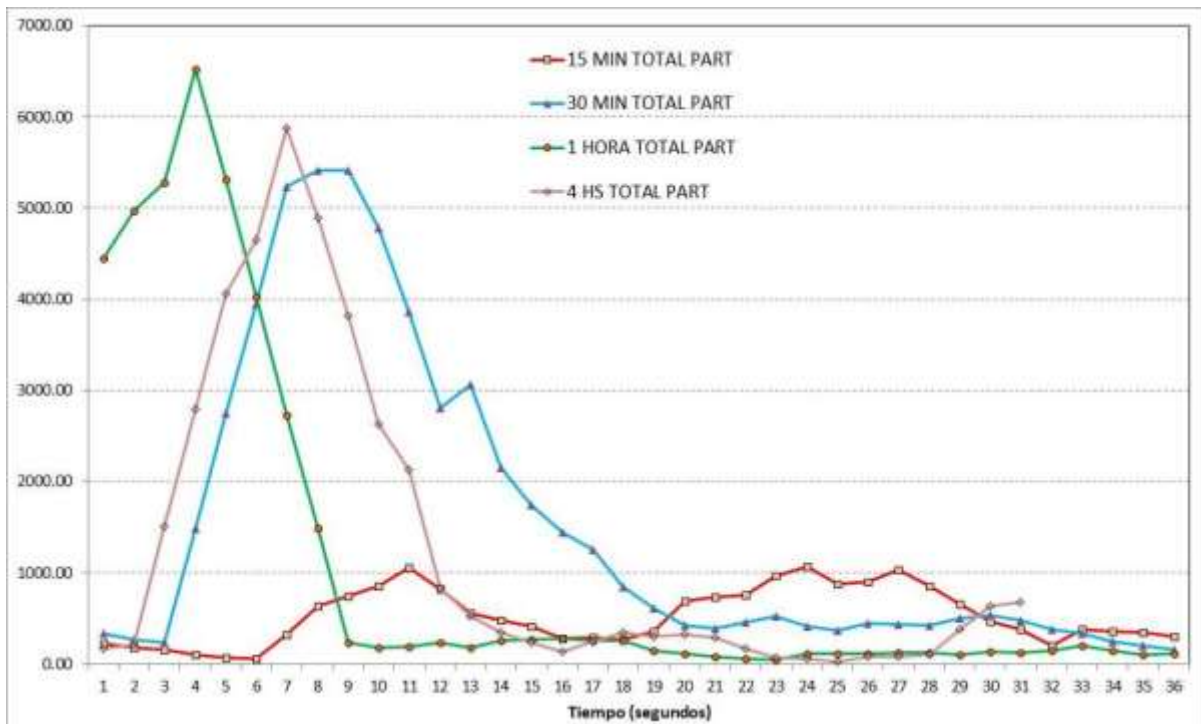


Figura 17. Polvo emitido, mediciones en diferentes momentos después del riego superficial

Debido a la alta temperatura reinante al momento de la ejecución de estas mediciones (entre 25 y 29 °C), la evaporación del agua regada fue bastante rápida, y a la media hora después del riego la cantidad de polvo emitida ya era bastante importante. Para visualizar mejor este efecto, se presenta a continuación la gráfica de la Fig. 18 donde sólo se ha considerado el valor del pico máximo de polvo registrado en cada momento de medición. Allí se aprecia claramente la forma de la gráfica, coincidente con lo esperable en las hipótesis.

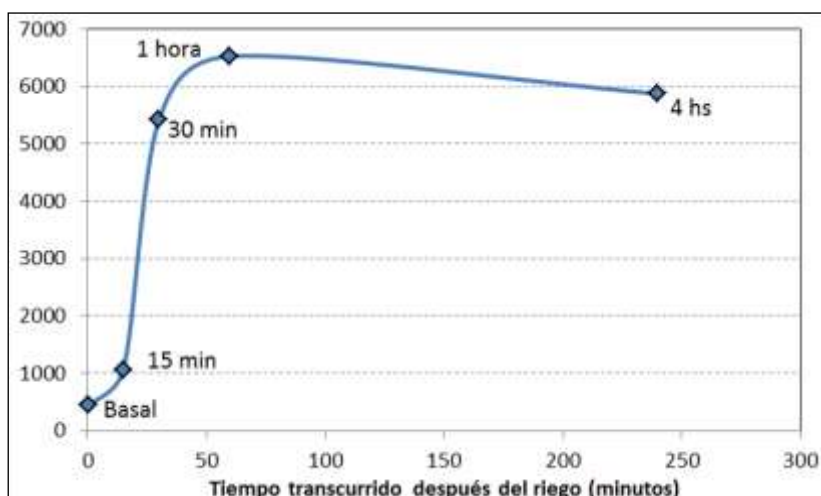


Figura 18. Evolución de la cantidad máxima de polvo emitido, en cada medición realizada en diferentes momentos después del riego superficial.

La Tabla 1 muestra las mediciones de humedad realizadas sobre muestras del material superficial de ripio, tomadas en cada período de medición. Se aprecia que las muestras recién regadas alcanzan una humedad superior al 3,5% en peso, y posteriormente dicha humedad se va perdiendo a medida que transcurre el tiempo, hasta llegar a las 4 hs a niveles muy cercanos a la humedad basal, antes de aplicar el riego. Indudablemente la alta temperatura reinante en las hs del mediodía contribuyó al rápido descenso de la humedad en la superficie enripiada. Estas condiciones son muy similares a las de pleno verano, por lo cual el efecto paliativo del agua se pierde casi completamente una vez transcurridas unas 4 hs, o antes.

Tabla 1. Mediciones de humedad en muestras de la superficie enripiada, calle en Chimbas

Muestra	Hora	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Humedad	Promedio % Hum
M1	10:20	441	441	0	0.18
M2	10:22	276	275	0.36	
	<b>12:00</b>	<b>RIEGO</b>			
M3	12:10	369	356	3.65	3.54
M4	12:12	363	351	3.42	
M5	12:25	376	371	1.35	1.70
M6	12:27	297	291	2.06	
M7	13:00	332	328	1.22	1.36
M8	13:02	271	267	1.50	
M9	15:50	297	296	0.34	0.47
M10	15:52	337	335	0.60	

#### 4. CAMPAÑA DE MEDICIÓN EN TRAMOS CON TRATAMIENTO DE SALES

Uno de los objetivos principales del proyecto es establecer una comparación entre los resultados de mediciones de polvo emitido en caminos sólo enripiados, y en caminos que reciban tratamientos con sales de estabilización. En las cercanías de la ciudad de San Juan, en el departamento Albardón situado hacia el norte de dicha ciudad, se encuentran compañías mineras dedicadas a la extracción y procesamiento de calizas. La Fig. 19 muestra los caminos de acceso a dichos emprendimientos desde la R.N. N° 40.



Figura 19. Tramos inspeccionados en campaña a accesos a emprendimientos mineros

El tramo situado más hacia el noreste (en color rojo en la Fig. 19), ha sido tratado con cloruro de magnesio hexahidratado en los 3 cm superiores de su superficie, pero dicho tratamiento ya tenía aproximadamente un año de antigüedad al momento de la inspección realizada dentro del presente proyecto. Por lo cual, habían segmentos en mejor estado y otros muy deteriorados superficialmente, de hecho durante la visita realizada durante el mes de junio de 2016 pudo apreciarse que ya están siendo nuevamente tratados para mejorar su calidad de rodadura.

El tramo situado hacia el noroeste, que empalma con la R.N. N° 40, no ha sido tratado con sales de estabilización y permanece sólo enripiado. En la Fig. 20 se muestran fotos del tramo tratado, tomadas durante la campaña realizada, donde se aprecian secciones con buen estado general y otras con deterioro significativo en superficie.



Figura 20. Imágenes del tramo tratado con cloruro de magnesio

En esta campaña se utilizó para la medición continua de polvo el aparato DustMate, cuyo sensor se colocó ajustado a la parte trasera de la movilidad para poder registrar en forma directa el polvo emitido por las ruedas traseras, tal como se muestra en la Fig. 21, y el aparato DustMate se mantuvo dentro de la cabina de la movilidad durante las mediciones.



Figura 21. Disposición del sensor del aparato DustMate para las mediciones

Se procedió a realizar una medición completa del polvo emitido a lo largo del circuito conformado por ambos tramos, iniciando desde el ingreso al emprendimiento minero, en dirección hacia la R.N. N° 40, con la movilidad circulando a una velocidad estable de 60 km/h. Pudo apreciarse que en un primer segmento el tramo tratado estaba bastante deteriorado y con muchos baches, luego siguió un segmento en buen estado general, y finalmente otro más irregular, con partes aceptables y otras más deterioradas. Luego se ingresó al tramo sólo enripiado, hasta finalizar el circuito en la R.N. N° 40. Allí se tomaron muestras de la capa superficial de ripio, para analizar la humedad presente en las mismas. La Tabla 2 muestra los resultados de las mediciones de humedad, donde se aprecia que el ripio tenía una humedad significativa, debido a lluvias caídas poco tiempo antes.

Tabla 2. Resultados de mediciones de humedad, campaña en Albardón, tramo enripiado

Muestra	Hora	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Humedad	Promedio % Hum	Observaciones
M11	17:45	605	593	2.02	2.25	Muestras con humedad de lluvia reciente
M12	17:47	415	405	2.47		

Los resultados de las mediciones de polvo emitido se presentan en la Fig. 22, con valores suavizados utilizando media móvil tal como en la campaña de Chimbas, y presentando sólo los resultados de mediciones de partículas de tamaño PM10 y PM2,5. Se puede apreciar claramente que los valores de polvo emitido son muy altos en buena parte de los primeros 2 km, en el segmento más cercano al acceso al emprendimiento minero. Luego, hasta el km 7, los valores de polvo emitido son mínimos, en coincidencia con el segmento tratado con cloruro de magnesio que presenta el mejor estado superficial.

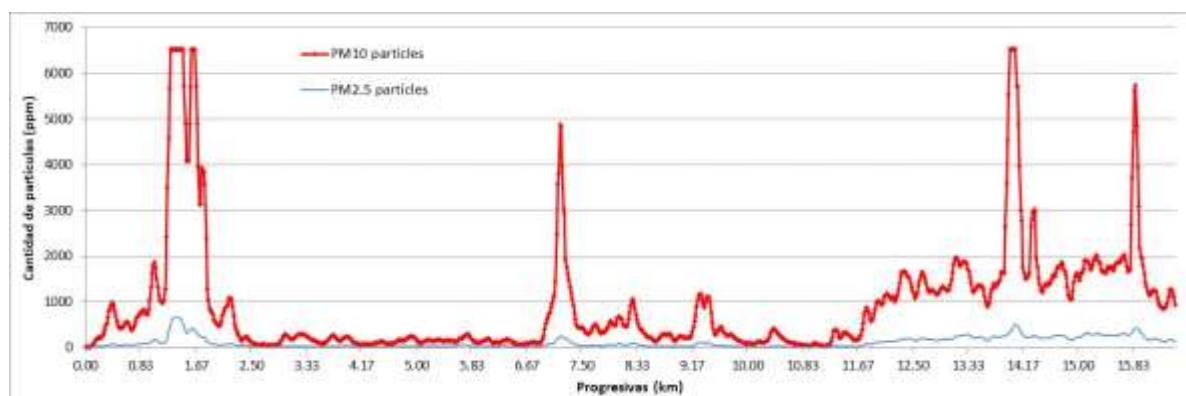


Figura 22. Variación del polvo emitido a lo largo de todo el tramo, tamaños PM10 y PM2,5

Posteriormente, entre los km 7 y 11,5 aparece un segmento con emisión de polvo variable, la cual en algunos sitios puntuales es muy elevada, pero en general es bastante baja. A partir del km 11,5 se ingresa al tramo sólo enripiado, donde se nota claramente que los valores de emisión de polvo crecen respecto a los segmentos tratados precedentes.

Teniendo en cuenta que el tratamiento con cloruro de magnesio ya tiene una antigüedad superior a un año, se evidencia que en la mayor parte del tramo tratado (salvo en las zonas con tránsito lento de camiones, con drenaje insuficiente o con trazado muy sinuoso u ondulado, que además son las que reflejan un deterioro superficial bastante elevado), la emisión de polvo se mantiene en valores muy reducidos. Asimismo, cabe destacar que la significativa humedad presente en el material superficial del tramo sólo enripiado, contribuye significativamente a reducir la emisión de polvo, la cual presenta valores que en general son muy inferiores a los que se registran en tiempo cálido y con la superficie seca. La temperatura del momento de la medición estuvo en el orden de los 12 °C, con viento inferior a los 5 km/h.

## **CONCLUSIONES**

Las mediciones en terreno realizadas hasta el momento se enmarcan dentro de un diseño experimental que pretende analizar la incidencia de diversos parámetros por efecto del paso de vehículos. Entre dichos parámetros, se encuentra la velocidad de circulación, el tiempo transcurrido luego de la aplicación de riegos paliativos con agua, la distancia transversal al camino, las condiciones climáticas ambientales (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) existentes al momento de medir, etc.

Los resultados preliminares obtenidos hasta el momento muestran que las tendencias esperables respecto a las características del polvo emitido tras el paso de vehículos se cumplen en forma bastante aproximada de acuerdo a las expectativas previas, pero también indican la necesidad de compatibilizar y homogeneizar la información provista por los aparatos DustMate y Dylos al ser usados bajo idénticas condiciones, ya que no entregan los resultados en las mismas unidades ni con la misma configuración.

Del primer conjunto de mediciones realizadas en la campaña en el Depto. Chimbas, se concluye en forma preliminar que los parámetros dan resultados dentro de lo esperable, aun cuando se considera necesario realizar otras mediciones de prueba de forma de avanzar en

el ajuste del uso de los aparatos, la logística de campaña, la coordinación de registros respecto al paso de los vehículos, etc., como así también realizar mediciones comparativas entre tramos con tratamientos, respecto a lo registrado en tramos sin pavimentar. Todo ello se prevé llevarlo a cabo durante las próximas etapas dentro del proyecto en curso a la fecha de presentación de este trabajo.

Finalmente, las mediciones realizadas sobre tramos tratados con cloruro de magnesio muestran una clara diferencia en la emisión de polvo respecto a tramos sólo enripiados, considerando que los tratamientos ya presentaban una antigüedad considerable para este tipo de soluciones, por lo cual se muestra claramente la conveniencia de usar tratamientos con sales estabilizantes como una buena alternativa para disminuir de manera efectiva y permanente la emisión de polvo en caminos sin pavimentar, y por consiguiente reducir al mínimo o eliminar completamente la necesidad de regar los mismos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- **Bustos, M.; Cordo, O.; Girardi, P., Pereyra, M. (2015):** ““Evaluation of the Use of Magnesium Chloride for Surface Stabilization and Dust Control on Unpaved Roads”. Transportation Research Record N° 2473, “Low-Volume Roads 2015”, Vol. 2, pp. 13-22. ISSN 0361-1981. DOI: 10.3141/2473-02. Journal of the Transportation Research Board, National Academies. Washington D.C., U.S.A., August 2015.
  
- **Bustos, M.; Girardi, P.; Cordo, O.; Pereyra, M.; Hidalgo, J. (2012):** “Evaluación del Uso de Bischofita en la Estabilización Superficial de Caminos Sin Pavimentar”. XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Córdoba, Argentina, 22 al 26 de Octubre del 2012
  
- **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 Provincial 2006, Antofagasta, Chile.

- **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.

- **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.