

# CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES UTILIZADOS EN TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INVERNAL EN ZONAS CORDILLERANAS

## **Autores:**

Jorge Segundo MATURANO

Rosa Carolina AGUILERA SORAIRE

Marcelo Gastón BUSTOS

Oscar Víctor CORDO

Miguel Oscar PEREYRA

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: [jmatur@eicam.unsj.edu.ar](mailto:jmatur@eicam.unsj.edu.ar)

**Palabras clave:** Técnicas anti-hielo – pavimento negro – soluciones salinas.

## **Resumen**

Las actuales técnicas de mantenimiento invernal han adoptado un enfoque pro-activo para mantener los caminos libres de hielo, lo que requiere que los fundentes químicos salinos permanezcan sobre calzada tanto tiempo como sea factible, y que el tránsito no los elimine fácilmente de la superficie pavimentada. En la Argentina, desde hace algunos años se han comenzado a utilizar productos orgánicos derivados del procesamiento de sustancias alimenticias, mezclados en una solución con sales habitualmente empleadas en el mantenimiento invernal.

En un estudio reciente, para ampliar el alcance de investigaciones previas, la Universidad Nacional de San Juan ha realizado análisis de caracterización físico-química sobre diferentes tipos de productos orgánicos, con la intención de mejorar la comprensión de los fenómenos que definen las condiciones de adherencia de los compuestos a la superficie pavimentada. Por otro lado, se han evaluado combinaciones de compuestos salinos y productos orgánicos disueltos, analizando la incidencia de diversas proporciones de los componentes sobre el punto de congelamiento de las soluciones, con el objetivo de optimizar técnica y económicamente la composición de las soluciones utilizadas en la aplicación de técnicas anti-hielo.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Definición del problema**

El uso masivo de soluciones salinas que realizan las reparticiones públicas y también los privados, con los compuestos químicos habitualmente utilizados (cloruros de Sodio, Calcio o Magnesio), produce una demanda de toneladas de estas sales durante los operativos invernales, ocasionando grandes costos en materia prima, personal, instalaciones y equipos, además de los perjuicios ocasionados al medio ambiente en que se utilizan los mismos.

Es así, que en muchos países con esta problemática, se vienen agregando aditivos orgánicos en la solución salina, dado que las conclusiones de investigaciones previas llevadas a cabo permitieron determinar que la incorporación de estos productos orgánicos consigue incrementar la permanencia del fundente (residuo salino) sobre la calzada de rodamiento.

Dentro de un proyecto de investigación más amplio, el tema de este trabajo radica en conocer y determinar qué propiedades físico-químicas se observan en diferentes aditivos orgánicos procedentes de la Argentina, que eventualmente pueden incidir sobre la permanencia de la sal fundente sobre la calzada, lo cual favorece la adherencia entre el neumático y el pavimento regado con esta solución en condiciones de congelamiento durante la temporada invernal.

Otro punto analizado en el trabajo, es la evaluación de combinaciones de diferentes tipos de sales con aditivos orgánicos buscando el porcentaje óptimo de ambos elementos.

### **1.2 Objetivos del trabajo**

El proyecto de investigación llevado a cabo en forma conjunta por la Dirección Nacional de Vialidad y la Universidad Nacional de San Juan se propuso alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Ampliar y profundizar el conocimiento sobre productos factibles de utilizar, considerando fundentes químicos y aditivos orgánicos de origen agroindustrial, para mejorar la eficacia de las técnicas preventivas (antihielo). y analizar sus propiedades físicas y químicas relacionadas con la adherencia neumático-pavimento.
- Evaluar soluciones en distintas proporciones de los diferentes compuestos en estudio a los efectos de hacer riegos sobre pavimentos, y determinar la

incidencia de dichas proporciones sobre el punto de congelamiento alcanzado en dichas soluciones.

- Desarrollar mejoras en las técnicas de medición del residuo salino remanente sobre la calzada, para lograr mayor seguridad, rapidez y eficiencia en la toma de datos en campañas.
- Con las mediciones obtenidas, evaluar permanencia de sal en calzada, en función del tiempo y el tránsito pasante.

Para cumplimentar los objetivos propuestos, trabajaron en forma conjunta, el Centro Universitario de Vialidad Invernal (CUVI), la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña (EICAM) y el Instituto de Biotecnología (IBT), todos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos respecto a los dos primeros objetivos planteados; el resto de los resultados del proyecto de investigación se presentan en otro artículo dentro de este mismo Congreso.

## 2. ESTUDIO DE ANTECEDENTES

La nieve en su etapa inicial se presenta como polvo blanco y el primer efecto negativo que ejerce sobre el conductor es la pérdida de visibilidad. Si cae de una manera copiosa genera un efecto parecido a la niebla y se hace difícil penetrarla con los faros del vehículo, especialmente en la conducción nocturna. A medida que se va acumulando sobre el camino, comienza a afectar la adherencia de los neumáticos y la tracción. La mayor dificultad aparece cuando la nieve depositada se congela y se convierte en hielo. En ese momento, un neumático convencional pierde absolutamente la adherencia y cualquier acción brusca que se ejerza sobre el vehículo se traducirá en un deslizamiento incontrolado que puede traer mayores consecuencias. Esto genera lo que se denomina adherencia cero. Cuando se presenta esta situación puede llegar a ser necesario suspender el tránsito hasta que se recuperen condiciones mínimas de seguridad.

El problema más complejo se presenta cuando por efecto de las bajas temperaturas la humedad presente se convierte rápidamente en hielo, dejando al pavimento con una **costra superficial resbaladiza** que no puede extraerse completamente sólo con medios mecánicos, ya que se vuelve a formar una y otra vez, si la temperatura ambiental permanece sostenidamente por debajo de los 0 °C. En estos casos, no queda otra solución que aplicar fundentes químicos que permitan reducir el punto de congelamiento del agua superficial sobre la calzada.

La aplicación en la superficie del pavimento de productos químicos destinados a bajar el punto de congelamiento del agua, antes del comienzo de una tormenta de nieve o

inmediatamente después que haya comenzado, reduce la ligazón hielo - pavimento. Es más, la aplicación periódica adicional de pequeñas cantidades del producto durante la tormenta, refuerza la acción inhibitoria de formación de esa liga, reduciendo sustancialmente los esfuerzos necesarios para mantener el pavimento libre de hielo superficial. Por ello, las técnicas preventivas anti-hielo resultan finalmente más eficaces que la actuación “a posteriori”, permitiendo reducir costos e insumos, disminuir el impacto sobre el medioambiente y generar una notable mejora de los aspectos de seguridad vial.

La sal común (cloruro de sodio, NaCl) es el elemento químico más utilizado para el control del hielo, pues permite mantener el agua en estado líquido a temperaturas un poco más bajas que el punto de congelamiento. Otros tipos de agentes anticongelantes son el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y el cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), que reducen aún más el punto de congelamiento del agua. La sal en estado sólido se denomina en el ámbito vial “agente sólido” y su uso en este estado tiene sus limitaciones, pues la oportunidad de aplicación resulta crítica para minimizar las pérdidas por dispersión que ocasiona la circulación del tránsito. Probablemente el uso más apropiado de los agentes sólidos sea durante el transcurso de una precipitación tipo lluvia-nieve y cuando el pavimento se encuentra húmedo, ya sea por una lluvia previa o porque se ha utilizado previamente una salmuera, ya que de esa forma se disuelve en relativamente poco tiempo y su eficacia es claramente superior.

También se ha utilizado la técnica de aplicar la sal pre-humedecida con agua, lo cual tiene algunas ventajas respecto de la sal seca; existen menores posibilidades que la mezcla sea desplazada por la acción del tránsito ya que se disuelve rápidamente, formando una capa de salmuera sobre el pavimento, y en consecuencia, se puede reducir la cantidad necesaria, derritiendo el hielo con mayor rapidez y a temperaturas más bajas. Por último, existen los agentes anticongelantes líquidos, es decir con las sales ya disueltas. Una solución de cloruro de sodio saturada del 23 al 24% en peso, es decir con la máxima concentración por encima del cual la sal ya no se continúa disolviendo y precipita, es uno de los agentes líquidos que más se utiliza. La temperatura a la que se congela una solución saturada de NaCl, en agua destilada está en el orden de  $-21\text{ }^\circ\text{C}$ , pero en terreno la presencia de impurezas y de otros factores incrementan esta temperatura de congelamiento. No obstante, hasta temperaturas de congelamiento cercanas a los  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ , resultan eficientes para mantener el pavimento sin formación de hielo (pavimento negro).

## 2.1 Experiencias internacionales

En el continente norteamericano, dada su configuración geográfica cercana al Polo Norte, el control del hielo y de la nieve es una de las funciones más importantes que llevan adelante las áreas de conservación en muchos departamentos viales, estatales o municipales. Esta función de mantenimiento invernal exige usar una importante cantidad de recursos y de hecho en algunos casos las tareas de control del hielo y la nieve constituyen el mayor ítem en el presupuesto de mantenimiento vial. Algo similar ocurre en Rusia y en los países del norte de Europa, especialmente en Escandinavia (Suecia, Noruega y Finlandia).

Los agentes anticongelantes líquidos han sido extensamente estudiados en Estados Unidos dentro del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (Strategic Highway Research Program, SHRP), ejecutado desde principios de la década del '90 hasta fines de la década pasada. Las investigaciones han mostrado que estos agentes son altamente beneficiosos para aumentar la seguridad de los usuarios y así mismo, reducir los costos de los elementos empleados durante el mantenimiento invernal. Los líquidos más usados en EE.UU. son aquellos compuestos por Cloruros de : Sodio (NaCl), de Magnesio ( $MgCl_2$ ), de Calcio ( $CaCl_2$ ) y Calcio Magnesio Acetato (CMA).

El Departamento de Tránsito (DOT) del estado de Iowa también usa agentes anti-hielo de manera preventiva. Analizando la conveniencia del uso de estas técnicas, se observó que se podían ahorrar hasta tres pasadas del equipo barrenieve por cada pasada preventiva del equipo de aplicación de solución anti-hielo (Nixon, 2008).

## 2.2 Experiencias nacionales

La Vialidad Invernal en Argentina, es una disciplina relativamente nueva. La misma nace principalmente debido al elevado tránsito que se verifica a lo largo de todo el año en el Corredor Internacional de Ruta 7 en Mendoza, Paso Los Libertadores, que especialmente utiliza el tránsito comercial de Argentina y Brasil, con salida por el puerto de Valparaíso, Chile. La importancia del mismo requiere que el mismo no deba cerrarse, por hielo o nieve, salvo temporales o acontecimientos especiales, y por el menor tiempo que sea posible, ya que la demanda de tránsito exige una pronta solución a estos inconvenientes. No obstante, también se presenta la necesidad de aplicar mantenimiento invernal en otros lugares del país, especialmente en rutas ubicadas en zonas cordilleranas, o en el sur patagónico.

Por ello la DNV en el año 2005, en acuerdo con la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, EICAM (Universidad Nacional de San Juan, UNSJ) crea el Centro Universitario de Vialidad Invernal (CUVI) con sede en la citada Escuela. Además, por un convenio con la Federal Highway Administration (FHWA) de EE.UU. se propicia la

especialización de profesionales viales en las nuevas técnicas aplicadas para combatir los efectos perjudiciales de hielo y nieve sobre los caminos.

En Argentina, se han aplicado productos orgánicos para incrementar la permanencia y mejorar la eficiencia de las soluciones salinas anti-hielo de NaCl, pudiendo concluir en base a resultados preliminares que efectivamente esto se puede conseguir utilizando determinados productos orgánicos, llamados genéricamente “vinazas” ya que son líquidos residuales derivados del procesamiento de sustancias utilizadas en la industria alimenticia (caña de azúcar, maíz, uva, remolacha, etc.). Específicamente, en el año 2008 en el 4º Distrito Mendoza de la DNV se llevó a cabo un proyecto de investigación conjunto con la Universidad Nacional de Cuyo (Franciosi y Pérez, 2012), donde se evaluó la utilización de un producto comercial, obtenido del procesamiento de la caña de azúcar, agregado a las salmueras que se aplicaban en camino, buscando con ello mejorar el rendimiento del fundente químico, pero sin alcanzar un acabado conocimiento físico-químico de este producto, ni de cómo y por qué favorece a la permanencia de la sal en calzada.

En consecuencia, considerando los antecedentes previos, se establecieron las siguientes finalidades principales para este trabajo:

- Validar y complementar lo aplicado por el 4º Distrito Mendoza, DNV y la U.N.C. sobre el uso de vinaza comercial dentro de la salmuera regada para antihielo.
- Trabajar asimismo con otros productos orgánicos derivados de la industria de la alimentación, como vinaza de maíz, uva, pera, caña de azúcar y de remolacha azucarera, usados algunos de ellos en otras provincias (Santa Cruz, Neuquén).
- Determinar qué **propiedades físico – químicas** tienen los productos orgánicos que se agregan y cómo influyen sobre propiedades tales como el punto de congelamiento de las soluciones que se elaboren considerando su aplicación en proporciones dentro de mezclas de sales disueltas en agua.

### 3. ANÁLISIS DE PRODUCTOS PARA SU USO EN VIALIDAD INVERNAL

Dentro del proyecto de investigación ejecutado por la UNSJ, se analizaron tanto compuestos salinos como productos orgánicos, diferenciando claramente las propiedades de ambos grupos. Por un lado, existen diversos compuestos salinos además del cloruro de sodio o sal común que también se utilizan dentro de las técnicas anti-hielo. Entre ellos, el cloruro de calcio ( $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ) y el cloruro de magnesio ( $\text{Cl}_2\text{Mg}$ ), disponible en la Argentina y Chile en su variante hexa-hidratada ( $\text{Cl}_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) también denominada comúnmente “Bischofita”. El costo de dichos compuestos es alto en

relación a la sal común, por lo cual la conveniencia de su aplicación debe ser cuidadosamente evaluada.

Los químicos fundentes más usados a nivel mundial son: Sal Común ó Cloruro de Sodio (NaCl); Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>); Cloruro de Magnesio (MgCl<sub>2</sub>); Cloruro de Potasio (KCl); Calcio Magnesio Acetato (CMA) y Urea. Muchos de los químicos que se encuentran en el mercado son mezclas de los compuestos listados anteriormente. En la Tabla 1 se presenta un breve resumen de las características de cada uno de ellos.

Tabla 1. Características de los fundentes salinos

Compuesto	Ventajas	Desventajas
NaCl (cloruro de sodio)	Alta disponibilidad	Inefectivo a temperaturas menores de -5°C
	Bajo costo	Funciona sólo en contacto directo con humedad
	En estado sólido	Necesita calor para funcionar
	Es fácil de almacenar	Puede dañar la vegetación
Es altamente corrosivo		
CaCl <sub>2</sub> (cloruro de calcio)	Es efectivo hasta temperaturas de -32°C	Puede tener efectos en el concreto y vegetación
	Funciona rápidamente absorbiendo humedad del ambiente y liberando calor	Puede dejar el suelo resbaloso
		Se requiere uso de máscara, guantes y antiparras – Muy costoso
MgCl <sub>2</sub> (cloruro de magnesio)	Es efectivo hasta temperaturas de -15°C	Se diluye rápidamente y tiende a re congelar. En ambientes húmedos se diluye.
	Funciona rápidamente absorbiendo humedad del ambiente y liberando calor	Puede dejar el suelo resbaloso, y endurecerse al almacenarlo

Por otra parte, la gama de productos de origen agroindustrial que pueden analizarse, como agentes complementarios dentro de las soluciones salinas es amplia, incluyendo derivados del maíz, de la caña de azúcar, de la manzana, de la uva y de la remolacha azucarera, sólo por citar los más importantes.

Dentro de este trabajo y en función de las prácticas que se vienen desarrollando en las distintas jurisdicciones del país, se eligieron para trabajar los siguientes productos:

- Químicos: Cloruro de Sodio (NaCl); Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>); Cloruro de Magnesio (MgCl<sub>2</sub>)
- Orgánicos: Vinaza Comercial (provista por DNV), Vinazas de residuo de Caña de azúcar, de uva, de pera y de remolacha azucarera.

El Instituto de Biotecnología (IBT) de la UNSJ llevó a cabo una serie de tareas con este propósito:

- Caracterización físico – química de los materiales orgánicos a evaluar
- Análisis y elaboración de muestras de soluciones salinas con productos orgánicos y sin ellos.
- Determinación de punto de congelamiento y conductividad de las soluciones elaboradas.

### **3.1 Caracterización de propiedades físicas de los aditivos orgánicos**

En una primera instancia, el IBT realizó diversos ensayos sobre muestras de productos orgánicos que se usan en Distritos de la DNV y efectuó una caracterización descriptiva de sus principales aspectos físico - químicos, analizando propiedades tales como:

- Composición química
- Viscosidad
- Contenido de pectinas
- Lignosulfonatos
- Azúcares totales
- Determinación de pH

De esta manera se trató de encontrar elementos de juicio con base científica que permitan mejorar la comprensión de los fenómenos que gobiernan la adherencia del residuo salino a la carpeta de rodamiento y la permanencia de éste sobre la calzada a lo largo del tiempo, y así contar con más elementos de juicio para comprender mejor su comportamiento en la práctica. Los productos orgánicos evaluados fueron los siguientes, todos ellos de origen agrícola:

- Vinaza comercial derivado de la caña de azúcar, tipo fertilizante.
- Vinaza residual obtenido del procesamiento de caña azucarera.
- Vinaza residual, derivada del procesamiento de la manzana.
- Vinaza residual, derivada del procesamiento de la pera.

- Vinaza residual, derivada del procesamiento de la remolacha azucarera.
- Vinaza residual, derivada del procesamiento de uva.

A continuación se presentan resultados obtenidos para distintas propiedades.

### 3.1.1 Viscosidad

La Viscosidad se define como la medida de la resistencia de un líquido a fluir. Cuanto más viscoso sea el líquido, menos fluye, vale decir que la viscosidad colabora con la permanencia de la sal residual en la calzada. La viscosidad varía en forma inversamente proporcional con la temperatura, por eso su valor debe relacionarse con la temperatura a la que el resultado es reportado.

En este proyecto, se midió dicha propiedad con un aparato viscosímetro de Haake, computarizado. La viscosidad se tomó a 5 y 20 °C para tener en cuenta su variación respecto de la temperatura, donde a 5°C se asemejaría a condiciones de montaña. La diferente coloración de las vinazas analizadas se observa en la Figura 1, y los resultados arrojados sobre viscosidad pueden verse en la Tabla 2.



Figura 1. Diferentes productos orgánicos (vinazas) ensayados

Tabla 2. Viscosidad de las vinazas para temperaturas de 5 y 20° C

Tipo de Vinaza	Temperatura (°C)	Viscosidad (cp)	Tipo de Vinaza	Temperatura (°C)	Viscosidad (cp)
V1: Vinaza pura.	5	2,37	V5: Vinaza de remolacha.	5	2,09
	20	1,65		20	1,66
V2: Vinaza de manzana.	5	22,74	V6: Solución con sal (230gr/lit).	5	2,28
	20	15,09		20	1,90
V3: Vinaza de vino.	5	3,11	V7: Extracto de pulpa de manzana.	5	9,19
	20	2,14		20	7,34
V4: Vinaza de vino concentrada.	5	318,75			
	20	220,47			

### 3.1.2 Pectinas

Se definen como fibras solubles que en las plantas tienen la función de unir las células vegetales y determinar la porosidad de sus paredes celulares. En presencia de agua las pectinas forman geles.

Se observa en la Tabla 3 que las vinazas que tienen un porcentaje de pectina de cierta importancia son V2; V1 y V4, en orden decreciente. Estos valores se tendrán en cuenta, al momento de analizar la **conductividad vs residuo salino**.

Tabla 3. Determinación de pectinas para muestras de vinazas

MUESTRAS	Tara papel de filtro	Peso Final	Peso muestra (gr)	Vol muestra (ml)	% Pectina
V1 (Vinaza de vino pura)	1,945	2,136	0,191	5	3,82
V2 (Vinaza concentrada *)	1,947	5,389	3,442	5	68,84
V3 (Extracto de pulpa de manzana)	1,965	1,969	0,004	5	0,08
V4 (Vinaza Manzana)	1,912	2,086	0,174	5	3,48
V5 (Vinaza remolacha)	1,916	1,917	0,001	5	0,02
V6 (Vinaza de vino)	1,904	1,906	0,002	5	0,04

### 3.1.3 Otros ensayos de parámetros físicos en vinazas

Se midió también Conductividad y pH, determinados ambos con pH-metro-Conductímetro Adwa AD800. En la Tabla 4 se muestran los resultados de estas mediciones, junto con los resultados de viscosidad ya mostrados en la Tabla 2.

Tabla 4. Caracterización física de todas las muestras ensayadas

MUESTRAS	Densidad a 20 °C, g/l	pH	Conductividad (mS/cm)	Viscosidad, cp	
				A 5°C	A 20 °C
V1 (Vinaza de caña de azúcar)	1,0326	5,94	22,7	2,37	1,65
V2 (Vinaza concentrada *)	1,2215	7,07	41,5	318,75	220,47
V3 (Extracto de pulpa de manzana)	0,9982	5	1,11	9,19	7,34
V4 (Vinaza Neuquén)	1,045	4,95	12,02	3,11	2,15
V5 (Vinaza Río Negro)	1,056	3,6	2,97	22,74	15,09
V6 (Vinaza de remolacha)	1,0309	3,57	6,63	2,09	1,66
V7 (Vinaza de vino)	1,023	3,34	7,87	2,28	1,9
V8 (Cloruro de sodio 233 g/l)	1,1449	.....	.....	2,2759	1,9023

### 3.2 Características químicas de los aditivos orgánicos

Para la determinación química de todas las muestras de vinazas se procedieron a realizar los siguientes métodos:

- Los contenidos de azúcares se llevaron a cabo mediante métodos espectrofotométricos.
- El contenido de iones metálicos (hierro, cobre, zinc, sodio y potasio), mediante Espectrofotómetro de absorción Atómica Shimadzu AA 700.

Los valores obtenidos pueden observarse en Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización química de todas las muestras ensayadas

MUESTRAS	Azúcares, g/l		Pectina (g/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)
	Reductores	Totales						
V1 (Vinaza de caña de azúcar)	9,210	32,059	3,82	8,63	0,30	1,92	554,75	7355,25
V2 (Vinaza concentrada *)	242,050	270,588	68,84	187,22	1,36	24,07	9222,50	43452,50
V3 (Extracto de pulpa de manzana)	0,885	14,471	0,08	.....	.....	.....	.....	.....
V4 (Vinaza Neuquén)	23,700	97,560	1,05	0,64	0,18	3,53	538,13	3493,13
V5 (Vinaza Río Negro)	28,100	148,000	3,48	1,47	0,86	0,46	406,25	1917,50
V6 (Vinaza de remolacha)	56,725	74,118	0,02	ND	ND	ND	980,09	1890,76
V7 (Vinaza de vino)	3,035	6,706	0,04	.....	.....	.....	.....	.....
V8 (Cloruro de sodio 233 g/l)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

\*Fertilizante comercial  
ND: no detectable.

## 4. ANÁLISIS DEL PUNTO DE CONGELAMIENTO DE SOLUCIONES

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de posibles mezclas entre los componentes en distintas proporciones, a fin de determinar variaciones en el punto de congelamiento de las soluciones estudiadas. Teniendo en cuenta las definiciones anteriores y con el fin de analizar la influencia de las distintas mezclas de sales en porcentajes variados para estudiar su comportamiento en campo, se prepararon las siguientes soluciones, en laboratorio:

**Cloruro de Sodio-Agua**, composición eutéctica: **NaCl 23.3%** (p/p).

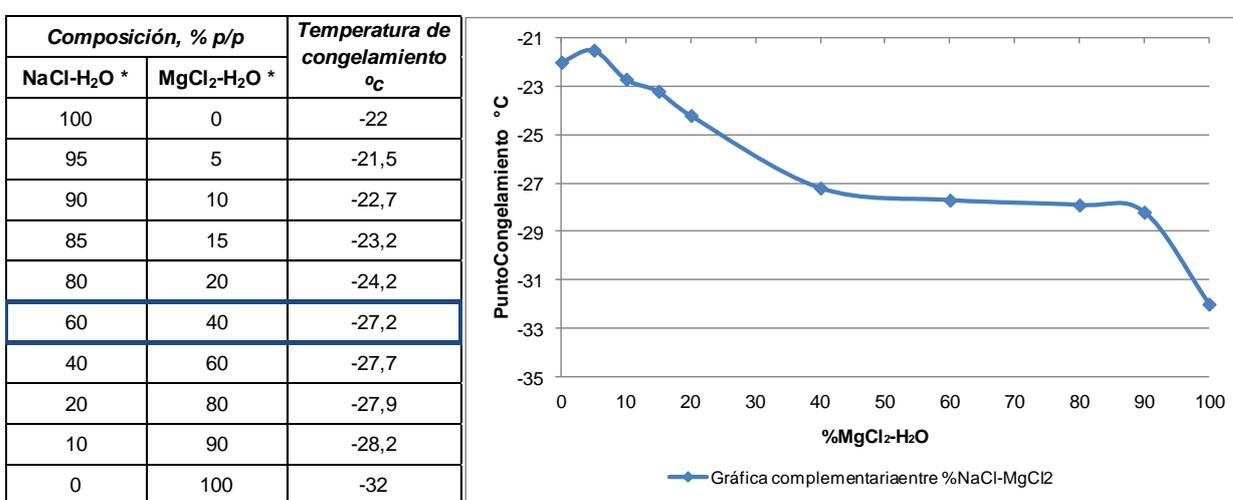
**Cloruro de Magnesio-Agua**, composición eutéctica: **MgCl<sub>2</sub> 22%** (p/p).

**Cloruro de Calcio-Agua**, composición eutéctica: **CaCl<sub>2</sub> 29.87%** (p/p).

### Mezcla Cloruro de Sodio - Cloruro de Magnesio (Bischofita)

Primero se prepararon las soluciones por separado. En los ensayos con mezclas, el porcentaje % se refiere a volumen de solución eutéctica de cada sal. La combinación de porcentajes de las distintas sales da lugar a los resultados presentados en Figura 2.

Se puede apreciar en la Figura 2 que con mezclas de cloruros de sodio y magnesio las temperaturas de congelamiento comienzan a reducirse sensiblemente cuando los contenidos de cloruro de magnesio en la mezcla superan al 10%, en proporción casi lineal con el contenido de  $\text{Cl}_2\text{Mg}$  hasta que se llega a un 40%, donde se alcanza un punto de congelamiento de  $-27,2\text{ }^\circ\text{C}$ .



\* Comp. Eutéctica

Figura 2. Determinación Punto Congelamiento para la mezcla NaCl-MgCl<sub>2</sub>

Desde allí en adelante, no aporta mucho seguir incrementando el contenido de  $\text{Cl}_2\text{Mg}$ , ya que las temperaturas de congelamiento se estabilizan entre  $-27$  y  $-28\text{ }^\circ\text{C}$ .

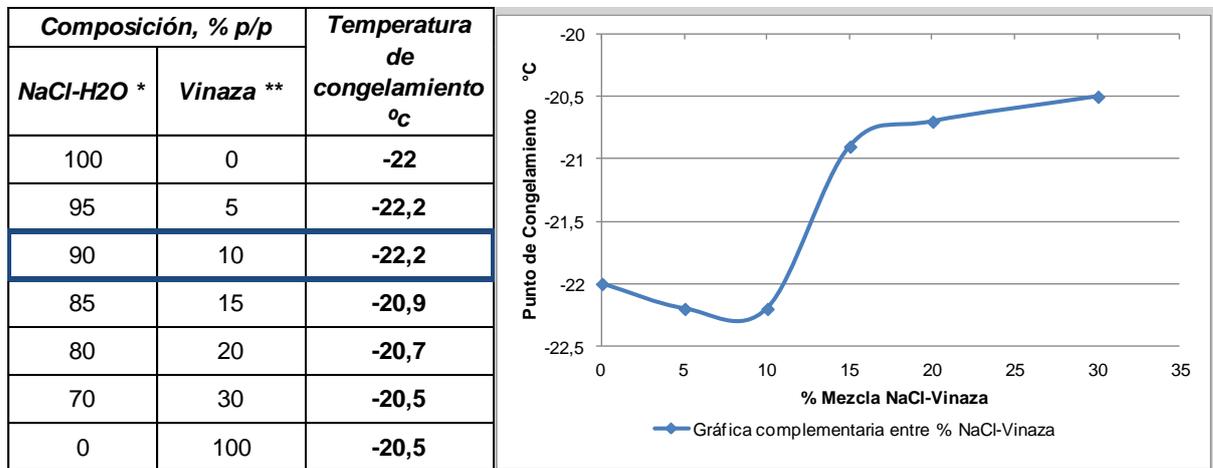
Por ello, si se combina cloruro y de sodio y magnesio, se sugiere no utilizar porcentajes mayores al 40% de solución de cloruro de magnesio, porque no se observan reducciones significativas del Punto Congelamiento de la solución.

### Mezcla de Cloruro de Sodio - Vinaza Concentrada

Para el caso de la mezcla de cloruro de sodio con vinaza concentrada, Fig. 3, se puede apreciar que al incrementar la proporción de la vinaza en la mezcla no se producen reducciones significativas de la temperatura de congelamiento de la solución.

Puede observarse en la Fig. 3 que al incorporar contenidos de vinaza por encima del 10% se comienza a elevar el punto de congelamiento de la solución, lo cual es contraproducente respecto al objetivo de la aplicación de este tipo de soluciones. Por lo

cual, las mejoras esperables de la incorporación de la vinaza en la solución anti-hielo no estarán asociadas al descenso del punto de congelamiento, sino a su capacidad de lograr que el residuo salino permanezca más tiempo sobre la calzada.

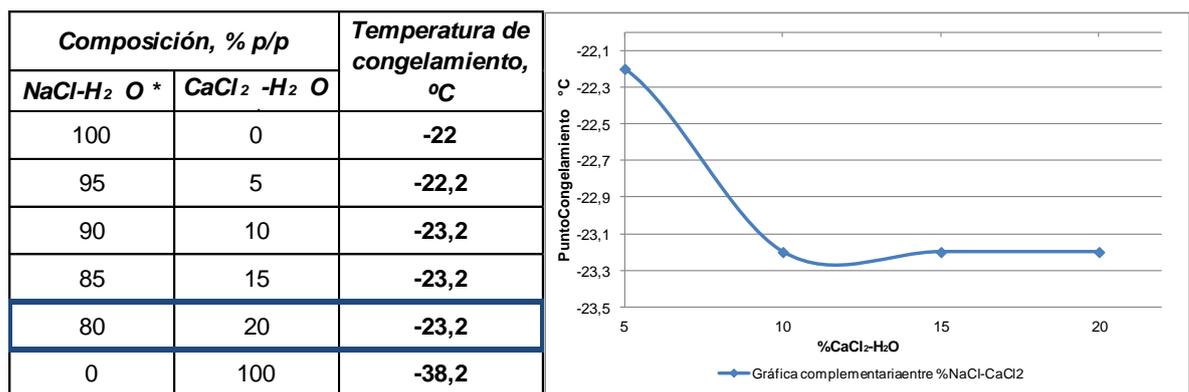


\* Comp. Eutéctica - \*\* Vinaza Concentrada comercial

Figura 3. Determinación Punto Congelamiento, mezcla NaCl-Vinaza concentrada

#### Mezcla Cloruro de Sodio - Cloruro de Calcio

Del análisis de la información presentada en la Figura 4, analizando mezclas de cloruro de sodio y de calcio, se observa que las temperaturas de congelamiento para proporciones de hasta un 20% de cloruro de calcio se mantienen prácticamente constantes, con una variación no superior a 1 °C.



\* Comp. Eutéctica

Figura 4. Determinación Punto Congelamiento para la mezcla NaCl-CaCl<sub>2</sub>

De los gráficos presentados en las Figuras 2 a 4, se puede advertir que agregar otras sales al cloruro de sodio recién comienza a ser conveniente con temperaturas de trabajo por debajo de los -22 °C.

Es importante destacar que estas temperaturas han sido medidas en condiciones de laboratorio, lo cual difiere de las condiciones reales en terreno donde las temperaturas de punto de congelamiento generalmente son más altas, por distintos motivos.

## **5. CONCLUSIONES**

De los resultados obtenidos, se concluye que la Vinaza concentrada (Abono comercial) es la que presenta valores más altos en aquellas características físico-químicas relacionadas con la adherencia del fluido a la superficie (viscosidad, contenido de azúcares y pectina). Asimismo, el pH de la Vinaza concentrada es el más cercano al valor NEUTRO (pH = 7) entre todos los productos ensayados, lo cual evitaría fenómenos de tipo corrosivo.

Se concluye por ello que la vinaza de origen comercial presenta los mejores resultados desde el punto de vista de su utilidad vial, aunque para el resto no se puede establecer claramente un orden de jerarquía entre ellas. No obstante, se aprecia que la vinaza de caña de azúcar está en segundo lugar en cuanto a la adherencia y las posibilidades de uso y aceptación. Las vinazas de pera y de manzana parecen ser las menos eficientes, y además se descomponen a temperatura ambiente, por lo tanto es posible que resulten contaminantes del ambiente y potencialmente patógenas, si se utilizan una vez descompuestas.

En este trabajo se han analizado asimismo diferentes combinaciones de compuestos salinos y aditivos orgánicos disueltos en proporciones variables, para determinar la variación del punto de congelamiento de dichas soluciones.

La incorporación de sales de cloruro de magnesio y cloruro de calcio en soluciones a base de cloruro de sodio permite reducir la temperatura de congelamiento, lo cual es positivo desde el punto de vista de la técnica invernal, pero hasta cierto punto, ya que por encima de determinados valores de cloruros de calcio o magnesio no se consigue seguir reduciendo el punto de congelamiento, y por el contrario la solución se encarece significativamente.

Por otra parte, la incorporación de vinaza dentro de las soluciones anti-hielo no contribuye a mejorar el punto de congelamiento de las mismas y por encima de un 10% incluso produce un incremento de la temperatura de congelamiento, lo cual es un efecto contraproducente.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean agradecer el apoyo económico y amplia colaboración brindados por la Dirección Nacional de Vialidad, el Banco Mundial (BIRF), y la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) para el desarrollo del proyecto de investigación que dio origen al presente trabajo, como así también reconocer el aporte y asesoramiento brindados por personal de los Institutos de Automática y Biotecnología de la UNSJ.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- “Lecciones sobre Mantenimiento Invernal”. Dr. Ing. Nixon Wilfrid, Universidad de Iowa, EE.UU., febrero de 2008.
- “Guía para el Control de Hielo y Nieve”, AASHTO. 1996.
- “Manual of Practice for Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance”. Publication FHWA-RD-95-202. June 1996
- “Desarrollo de mezclas anti-hielo en Argentina (Experiencia en la R.N. 7 Paso Internacional Cristo Redentor)”. Franciosi, M., y Pérez Pereyra, W. XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Córdoba, Argentina, Octubre del 2012.
- “Uso de Aditivos Orgánicos para Incrementar la Duración de Riegos Anti-Hielo sobre Calzadas Pavimentadas”. Rosa Carolina Aguilera Soraire. Tesis de Maestría. EICAM, UNSJ, 2015.