

## Uso de la vinaza en la compactación de suelos para caminos

Pedro Basualdo<sup>(1)</sup>, Edgardo Cuevas<sup>(1)</sup>, Ramón Sueiro<sup>(1)</sup>, Miguel Cardenas<sup>(1)</sup> Marta Gutierrez<sup>(2)</sup>, Elvecia Perez<sup>(2)</sup>, Gisella Fabiani<sup>(2)</sup> y Susana Pettinicchi<sup>(2)</sup>

(1) *Departamento Académico de Obras Viales, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*  
basualdo@unse.edu.ar

(2) *Departamento de Química, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero*  
supettinicchi@yahoo.com.ar

**RESUMEN:** El vuelco de la vinaza y otros productos del descarte de industrias, principalmente en la Cuenca Salí-Dulce, es un tema que preocupa y cuestiona, ante los evidentes impactos negativos provocados en la cuenca y su ecosistema, con claro perjuicio sobre los habitantes de las comunidades involucradas. La utilización de este residuo industrial, como reemplazo del agua para la construcción de núcleos de terraplén de caminos, aportaría una solución al problema en la cuenca, con ventajas ingenieriles y ambientales.

El objetivo es determinar la resistencia estructural de los suelos (A-4 (6) y A-4 (7)) tratados con vinaza, con vista a su utilización en obras viales, tales como terraplenes y banquetas.

A tal fin se realizó la caracterización química de la vinaza y de suelos típicos de esta Provincia y la determinación de propiedades ingenieriles de mezcla suelo vinaza en laboratorio. Tales como el aumento de la densidad máxima y disminución de la humedad óptima, con aplicación de idéntica energía de compactación. Incrementando la resistencia al esfuerzo de punzonamiento, que podría generar una modificación importante en el cálculo de los espesores de las capas de la superestructura de un camino, con la consecuente disminución de los costos de construcción.

### 1 INTRODUCCION

Desde hace varios años, el vuelco de la vinaza y otros productos descarte de industrias y municipios de la provincia de Tucumán, principalmente en la Cuenca Salí-Dulce, es un tema que preocupa y cuestiona, ante los evidentes impactos negativos provocados en la cuenca y su ecosistema, con claro perjuicio sobre los habitantes de las comunidades involucradas.

Esta situación genera la necesidad de que las instituciones intermedias reaccionen proponiendo el manejo de estos descartes como subproductos con diversas aplicaciones, como una manera de mitigar el impacto producido y aportar a la desaparición en el tiempo de residuos con impacto negativo sobre los ecosistemas.

El Departamento Académico de Obras Viales, tomando como base el concepto usado en países como los Escandinavos, donde más del 90 % de los productos de demolición son usados para formar el núcleo de terraplén de los caminos, decidió estudiar el efecto que la vinaza generaría

en los terraplenes de caminos usándola en reemplazo total o parcial del agua de mezclado, necesaria para la compactación o como mejorador del comportamiento de suelos usados en la estabilización de banquetas y/o paliativo de polvo.

La vinaza, que puede definirse como el efluente resultante de la producción de alcohol a partir de la fermentación y la destilación de una materia prima [1], en este caso, residuos de caña de azúcar, se caracteriza por ser un líquido de color marrón, con un gran contenido de sólidos suspendidos [2].

La composición de la vinaza es variable y depende de la materia prima usada en el proceso, las tecnologías y condiciones de operación. En general, contiene 93% de agua y 7% sólidos; el 75% de los sólidos son orgánicos y el 25%, inorgánicos; de estos últimos, el 64% es potasio en la forma de K<sub>2</sub>O. Posee un alto contenido de materia orgánica, es muy rica en potasio, moderadamente rica en calcio y magnesio, pobre

en fósforo y nitrógeno, y posee concentraciones importantes de hierro, sodio, manganeso, cobre y zinc.

El objetivo de este trabajo es caracterizar los suelos típicos de la Provincia para uso en caminos y su comportamiento como estructura compactada de núcleo de terraplén, subrasante y banquina, usando vinaza en remplazo total del agua de mezclado

## 2 MATERIALES Y METODOS

El trabajo realizado se divide en tres grandes bloques: Caracterización fisicoquímica de la vinaza; Caracterización de suelos seleccionados; Determinación de propiedades ingenieriles de la mezcla suelo vinaza.

### 2.1 Caracterización fisicoquímica de la vinaza

Se trabajó con muestras de vinaza obtenidas de tres ingenios diferentes, Santa Bárbara, Trinidad y La Florida de la provincia de Tucumán.. Se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos:

-Conductividad, salinidad, temperatura, pH: La medición de estos parámetros se realizaron con el pH-meter y el conductivímetro Hach y Hanna.

-Sulfatos: Se empleo el método gravimétrico por precipitación

-Azúcares Totales: por el método de Antrona, empleando el espectrofotómetro UV - Shimadzu 1603.

-Materia Orgánica Total: por oxidación con dicromato de potasio en medio ácido.

### 2.2 Caracterización de suelos típicos en laboratorio

Se trabajó con dos muestras de suelos:

S1: extraído de la Progresiva Km 1143 margen izquierda, de la Ruta Nacional N° 34.

S2: extraído de la Progresiva Km 719 margen derecha de Ruta Nacional N° 9.

Los ensayos realizados en este bloque fueron:

Sobre estos se realizaron los ensayos rutinarios de la práctica vial. Los mismos son:

- Granulometría

- Determinación de Límite Líquido (LL) y Índice Plástico (LP)

### 3.3 Determinación de propiedades ingenieriles de la mezcla suelo vinaza

En este bloque se trabajó con los suelos S1 y S2.

Los ensayos realizados fueron:

- Compactación PROCTOR

- Determinación de Valor Soporte

Todos según las Normas aplicadas actualmente en Vialidad de la Nación y el Consejo Provincial de Vialidad.

Para cada suelo, se realizaron los ensayos mencionados usando:

✓ Muestras preparadas con agua destilada

✓ Muestras preparadas con vinaza en remplazo del agua en un 100 %

Los resultados fueron utilizados para evaluar su comportamiento para uso como material de subrasante.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización fisicoquímica de la vinaza

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de las muestras de los ingenios Santa Bárbara, Trinidad y La Florida

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la vinaza

| Parámetro                          | Santa Bárbara | Trinidad | La Florida |
|------------------------------------|---------------|----------|------------|
| pH                                 | 3.98          | 3.94     | 4,01       |
| Conductividad mS/cm                | 3.8±0.02      | 3.2±0.04 | 4.5±0.03   |
| Azúcares mg/L                      | 3.9±1.4       | 0.6±0.2  | 6.0±0.1    |
| Sulfatos mg/L                      | 283±14        | 124±14   | 310±12     |
| Carbono Kg/m <sup>3</sup>          | 185           | 98       | 234        |
| Materia Orgánica Kg/m <sup>3</sup> | 386           | 268      | 561        |

Los resultados de sulfatos, carbono y materia orgánica fueron similares entre los ingenios de Santa Bárbara y La Florida y menores en Trinidad. Sin embargo los valores de pH y conductividad fueron cercanos en los tres ingenios. La vinaza no debe ser tomada como un contaminante en sí misma. El error está en su inadecuada disposición y en no considerar su potencial como subproducto del proceso de producción de etanol, la cual tiene una utilidad económica y social.

### 3.2 Caracterización de suelos

La caracterización de los suelos se realizó sobre muestras sin vinaza. Los resultados para el suelo 1 se muestran en las Tablas siguientes.

Tabla 2. Granulometría y valores de peso húmedo total de S1 sin vinaza.

|                     |       |              |                |       |
|---------------------|-------|--------------|----------------|-------|
| PESO HUMEDO TOTAL = |       |              | gramos         |       |
| PESO SECO TOTAL =   |       | 300          | gramos         |       |
| TAMIZ               |       | RETENIDOS    | PASA ACUMULADO |       |
| [N°]                | [mm]  | PARCIAL [gr] | [gr]           | [%]   |
| 3/8"                | 9,500 | 0,0          | 300,0          | 100,0 |
| 4                   | 4,800 | 0,0          | 300,0          | 100,0 |
| 10                  | 2,000 | 3,0          | 297,0          | 99,0  |
| 40                  | 0,420 | 10,0         | 287,0          | 95,7  |
| 200                 | 0,074 | 34,0         | 253,0          | 84,3  |

Como puede verse en la Tabla 2, la granulometría del suelo S1 seleccionado tiene un porcentaje importante de pasa Tamiz N°40 de 95,7 y un 84,3 de pasa Tamiz N°200. Por lo tanto, estamos ante un suelo típicamente descrito en las clasificaciones usuales de suelos para terraplén, como limo arcilloso.

En cuanto a las constantes físicas determinadas para el suelo S1, los resultados de estos ensayos pueden verse en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3: Determinación de Límite Líquido (LL) y Índice Plástico (IP) del suelo S1 sin vinaza.

|                   | LL      | LP   |
|-------------------|---------|------|
| Pesafiltro N°     | 25      | 26   |
| Pesafiltro + S.H. | 34,0    | 19,5 |
| Pesafiltro + S.S. | 29,6    | 18,1 |
| Agua              | 4,4     | 1,4  |
| Tara Pesafiltro   | 15,2    | 12,5 |
| Suelo Seco        | 14,4    | 5,6  |
| % Humedad         | 30,6    | 25,0 |
| N° de Golpes      | 23      | -    |
| Factor de Corr.   | 1,011   | -    |
| % Humedad Corr.   | 30,3    | -    |
| IP                | 5,3     |      |
| Clasificación HRB | A-4 (7) |      |

Para evaluar la calidad de un suelo como material para terraplenes: subrasantes, subbases y bases de los caminos; se debe añadir índices de grupo (IG). Este índice es calculado a partir de la siguiente ecuación empírica:

$$IG = (PT200 - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(PT200 - 15)(IP - 10) \quad (1)$$

donde:

IG: Índice de Grupo

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

PT200: lo que pasa del tamiz N° 200. Proviene de la Tabla de granulometría en seco (Tabla 2).

El valor de Índice de Grupo (IG) calculado para el suelo S1 es de 7, en consecuencia corresponde

clasificar a este como A-4 (7), de acuerdo a la Clasificación HRB (Highway Research Board), A partir del ensayo de granulometría del suelo S2 si vinaza y de los ensayos de propiedades físicas se determinó que este corresponde a un suelo A-4 (6).

Según el cuadro de clasificación de suelos (HRB) usado, los suelos A-4 se pueden calificar como de regular a malo para su uso en la construcción de caminos.

### 3.3 Determinación de las propiedades ingenieriles de los suelos típicos de la mezcla suelo – agua.

La determinación de estas propiedades se realizó sobre los suelos S1 y S2, en primer lugar con agua y posteriormente con vinaza en reemplazo de agua. Los resultados para el suelo 1 se muestran en las Tablas siguientes.

Para iniciar la determinación de las propiedades ingenieriles de los suelos para caminos, es necesario conocer la relación densidad máxima vs humedad óptima. Conocida en la ingeniería de carreteras como Curva Proctor.

Se realiza el ensayo Proctor para los suelos S1 (A-4 (7)) y S2 (A-4(6)), de acuerdo a la norma, utilizando en primer lugar agua destilada para el mezclado y posteriormente reemplazando la totalidad del agua por vinaza.

Los resultados obtenidos, en este ensayo, pueden observarse en los gráficos siguientes:

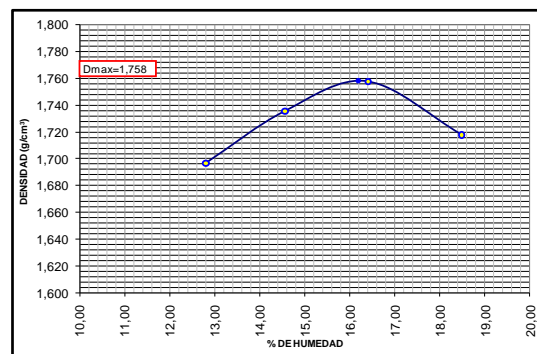


Figura 1: Curva Proctor para suelo S1, A-4 (7) con agua.

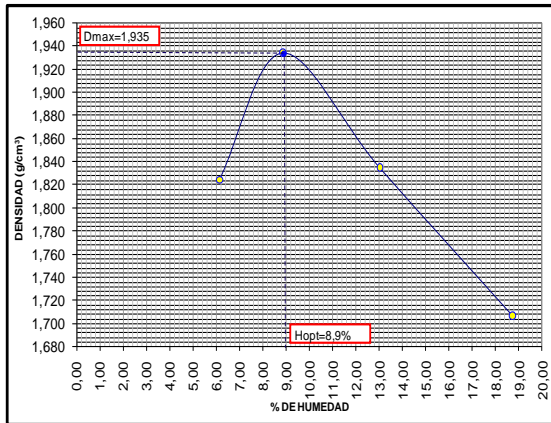


Figura 2: Curva Proctor para suelo S1, A-4 (7) con vinaza.

Como se observa en estos gráficos para el suelo tratado con agua la densidad máxima es de 1,759 gr/cm<sup>3</sup> y la humedad óptima es de 16,2 %, mientras que para el suelo con vinaza estos valores son de 1,935 gr/cm<sup>3</sup> y 8,9 % respectivamente.

En obra esta relación se puede traducir de esta manera: con menor inversión en mezclado (combustible-horas de equipo), se puede uniformar más eficazmente el suelo a compactar. Además con igual energía de compactación y menor humedad (en este caso reemplazando agua por vinaza), se logran mayores densidades máximas.

Este resultado constituye el primer indicio cierto de que la aplicación de vinaza como agua de mezclado nos lleva a aumentar la capacidad del suelo para soportar una sollicitación mayor que, en términos económicos, se traduce en menores espesores de materiales de superestructura: capa de rodamiento, base y sub-base (Figura 3), esto es directamente, menor inversión inicial en obra vial.

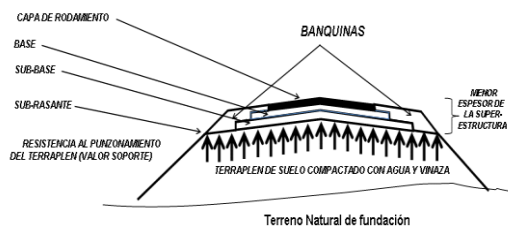


Figura 3: Perfil tipo de un camino:

Adicionalmente se observa en esta prueba que la homogenización de esta mezcla de suelo- vinaza se realiza en menor tiempo y con mayor facilidad que la mezcla suelo agua. Esto estaría indicando, en principio, que la vinaza genera un pequeño

efecto de lubricación, que se traduce en obra en una menor inversión en la homogenización del material, lo que equivale a reducir gastos en combustible y en horas máquina-hombre.

El mismo comportamiento observado para el suelo S1 A-4 (7) , se repite, aunque con menor intensidad en el suelo S2 A-4 (6), en el que los valores arrojados por la curva Proctor son los siguientes: Con agua Dmáx 1,716, H óptima 14,7; con vinaza Dmáx 1,727, H óptima 13,9.

En el estudio de las características ingenieriles de los materiales para caminos, estudio que influye directamente en el cálculo de los espesores de cada material componente de la superestructura (ver Figura 3), tiene un valor históricamente relevante, la determinación del Valor Soporte (VS) también llamado Ensayo CBR (Californian Bearing Ratio).

Este método, desarrollado por la División de carreteras del estado de California (EEUU) se utiliza en este estudio para evaluar la capacidad relativa del suelo como subrasante, es decir, de la capa de suelo inmediatamente inferior a la superestructura (ver Figura 3).

El ensayo de Valor Soporte mide la resistencia de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un % de la “relación de soporte”. El Valor Soporte está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre una profundidad determinada, expresada en porcentaje de la fuerza necesaria para que el pistón penetre, esa misma profundidad y con igual velocidad, en una “probeta normalizada”.

Cuando decimos “probeta normalizada” nos referimos a una probeta confeccionada con un material patrón, o material ideal para el ensayo del que se trata, que se considera tiene un Valor Soporte de 100%.

La expresión que define el Valor soporte o CBR, es la siguiente:

$$\%CBR = \frac{CUE}{CUP} \times 100 \quad (2)$$

donde

CUE: carga unitaria del ensayo

CUP: carga unitaria del patrón

El resultado de este ensayo, para el suelo S1, con agua y posteriormente con vinaza en reemplazo del agua, se esquematiza en el gráfico de Valor Soporte vs Densidad que se muestra en la Figura 4.

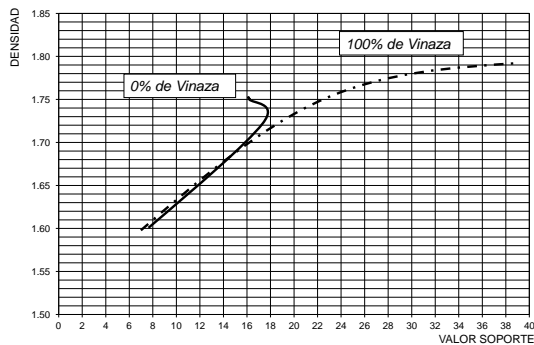


Figura 4: Valor Soporte vs Densidad para suelo S1 A-4 (7) con agua y con vinaza en reemplazo de agua.

En este gráfico se observa que para la mezcla suelo - agua, el valor soporte llega a un máximo de 18,5 luego de lo cual se produce la rotura del material. Mientras que en el caso de la mezcla suelo vinaza, no llega a producirse la rotura del material, a pesar de utilizar la máxima energía normalizada en el ensayo.

El ensayo de valor soporte, para el suelo S2 o A-4(6) aún no se concluyó, por lo que se consideró prudente no incluir valores preliminares en el presente trabajo.

Los resultados analizados podrían interpretarse de la siguiente manera: la vinaza usada como líquido de mezclado, aumenta la resistencia al corte de este suelo, generando en consecuencia un mejor comportamiento ante los esfuerzos producidos por el tránsito y el peso de la superestructura. Traduciendo estas experiencias en una obra de camino real y, considerando que el presente estudio es aún incompleto, podríamos inferir que el uso de la vinaza aumenta la resistencia al corte de este suelo como subrasante, en consecuencia es necesario continuar con los estudios sobre este efecto, a fin de determinar su comportamiento real, incluso con la ejecución de tramos experimentales de camino.

#### 4 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, podríamos indicar como conclusión provisoria en tanto se continúan los estudios del caso, que para los suelos estudiados caracterizados como A - 4(7) y A-4(6) se ingenieriles como consecuencia del reemplazo del agua de mezclado por vinaza como componente de los terraplenes de caminos, al menos en la etapa de laboratorio. Estas características involucran, en primer lugar, el aumento de la densidad máxima y disminución de la humedad óptima, con aplicación de idéntica energía de compactación. En segundo lugar, un incremento de la resistencia al esfuerzo de

punzonamiento, que podría generar una modificación importante en el cálculo de los espesores de las capas de la superestructura de un camino, con la consecuente disminución de los costos de construcción.

Hasta el momento los estudios realizados no permiten predecir su comportamiento como material de banquetas y/o paliativo de polvo.

