



Revisión de información sobre el uso del aditivo terrazyme para estabilización de suelos



Enero, 2005

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Objetivo	2
3. Alcance	2
4. Propiedades del terrazyme	3
5. Procedimiento de análisis en el laboratorio	4
5.1. Posibles materiales a estabilizar	4
5.2. Estudio de laboratorio	4
5.3. Preparación de muestras y realización de ensayos de laboratorio	5
5.3.1. Curado en el laboratorio para suelos tratados con terrazyme	6
5.4. Ensayos adicionales a ser considerados	7
6. Construcción y estabilización de caminos con terrazyme	7
7. Observaciones realizadas en campo	10
8. Comentarios	16

REVISIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE EL USO DEL ADITIVO TERRAZYME PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

1. INTRODUCCIÓN

En atención a la solicitud presentada por la Ing. María Lorena López, Viceministra del Ministerio de Obras Públicas y Transportes en el oficio DVOP-1810-04, se hace el presente análisis sobre las características del producto "terrazyme" como aditivo para la estabilización de suelos.

El presente estudio se hizo con base en la información suministrada por el Sr. Syed Murad, Presidente de Ecovías Tierraenzima S.A., conforme al siguiente detalle:

- Terrazyme concentrate specifications. Nature Plus, Inc.
- Terrazyme certificate of analysis. Nature Plus, Inc.
- CBR Soils Lab Analysis Procedures. Nature Plus, Inc.
- Terrazyme soil stabilizer application instructions. Nature Plus, Inc.
- Rollings, Kyle. Effect of soil treatment with terrazyme on CBR%. Brigham Young University.

2. OBJETIVO

Realizar un estudio de la información aportada sobre el uso del producto "terrazyme" para valorar la tecnología de estabilización de materiales para pavimentos con dicho aditivo.

3. ALCANCE

De acuerdo con lo anterior se analizaron los siguientes aspectos de la tecnología de estabilización con el producto terrazyme:

- Propiedades del aditivo terrazyme.
- Procedimiento de análisis en el laboratorio para incorporar el estabilizador.
- Procedimiento en campo para la construcción de capas estabilizadas con el aditivo terrazyme.

4. PROPIEDADES DEL TERRAZYME

De acuerdo con la información suministrada, terrazyme es un estabilizador de formulación líquida, natural, no tóxica, de enzimas que modifica las propiedades físicas y químicas, aumentando la densidad, estabilidad y resistencia de los suelos. Está compuesto por enzimas que permiten a los iones del suelo acercarse y formar enlaces estables. Las enzimas no forman parte de las reacciones, solo funcionan como un catalizador, facilitando que el suelo alcance con la compactación, una mayor densidad e impermeabilidad.

De igual forma se señala que el estabilizante se compone de moléculas orgánicas con capacidad o terminales iónicas. Estas trabajan o interactúan en conjunto con los iones metálicos que se encuentran en la fracción arcillosa del suelo. Por lo tanto, es importante asegurarse que la masa a estabilizar contenga arcilla cohesiva de plasticidad media como uno de sus componentes y no sólo limos plásticos.

Algunas características generales que se especifican de este producto se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades generales de terrazyme.

Propiedades generales	Resultado	Rango de tolerancia
Apariencia	líquida	líquida
Olor	característico	característico
Color de solución (*)	café dorado	café dorado
Claridad (*)	transparente	transparente
Gravedad específica a 20°C (g/ml)	1,042	1,000 – 1,080
pH	4,30	4,15 – 4,75

Fuente: Terrazyme certificate of analysis. Nature Plus, Inc.

(*) Dilución 1:100 (1 ml de concentrado terrazyme por cada 100 ml de agua)

5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

De conformidad con la información suministrada se destaca lo siguiente:

5.1. POSIBLES MATERIALES A ESTABILIZAR

Para lograr mejores resultados es importante tener en cuenta tanto la granulometría, como la plasticidad del suelo a estabilizar. Se pueden considerar los siguientes tipos de suelo:

- Suelos altamente plásticos: generalmente presentan el mayor incremento de CBR al ser tratados con el estabilizador.
- Suelos moderadamente plásticos (IP entre 8% - 15%): generalmente contienen grava o arena gruesa, y tienen valores iniciales de CBR de 10% a 30%.
- Suelos no plásticos o de plasticidad marginal (suelos granulares): pueden tener valores iniciales de CBR altos (30% a 80%). Según se afirma en la documentación, el uso de terrazyme mejora la eficiencia de la compactación para estos materiales de base o subbase.

5.2. ESTUDIO DE LABORATORIO

De la información aportada se destaca lo siguiente:

Antes de iniciar la evaluación de la estabilización del suelo, se requiere caracterizar el tipo de suelo que se va a estabilizar con el objetivo de analizar si la aplicación de esta técnica es la opción adecuada. Para este fin recomiendan el siguiente análisis:

- Granulometría (ASTM E-11, D-422 u otro método similar de análisis de graduación similar). Según se dice, el terrazyme requiere de materiales finos cohesivos (plásticos) en el suelo para poder funcionar. Los materiales utilizados deberán tener al menos 15%, y no más de 65% de porcentaje de finos pasando la malla N° 200 (0,075 μ m).
- Acidez del suelo, pH (un suelo con pH de 4,5 a 9,5 lo consideran muy adecuado. Además, comentan que suelos con pH bajos pueden ser tratados con carbonato de calcio. Suelos con pH alto puede ser tratado con sulfato de sodio, sulfato de magnesio o ácido muriático.)
- Límites de Atterberg (ASTM D-4318: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad). Recomendamos que el límite líquido sea menor que 40%, y el índice de plasticidad entre 5% y 18%.

- Densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad (ASTM D-1557, Proctor modificado). Para encontrar dicho contenido, recomiendan aplicar, a muestras distintas, terrazyme a 0,2, 0,3 y 0,4 ml/10kg de suelo y evaluar, para determinar la tasa de aplicación específica de terrazyme para resultados óptimos. Afirman que el tratamiento terrazyme incrementa la densidad del suelo y reduce el contenido óptimo de humedad entre el 1% y el 2%)

5.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Recomiendan seguir los siguientes pasos:

1. Seguir la norma de ensayo estándar para CBR saturado y no saturado (ASTM D 1883), con excepción del tiempo de curado (curar como se indica en la siguiente sección).
2. Preparar y ensayar, al menos tres muestras de laboratorio, para cada combinación de tipo de suelo y dosificación de terrazyme a evaluar.
3. Estimar el volumen del suelo requerido para cada molde de CBR, para preparar las tres muestras de cada tipo de suelo y dosificación. Luego calcular la cantidad de suelo total requerida. Preparar tres muestras de suelo para ser humedecidas con agua, sin terrazyme, esto como especímenes de control.
4. Recomendamos basar la dosificación de terrazyme en el volumen y el tipo de suelo a ser evaluado de acuerdo con la siguiente figura:

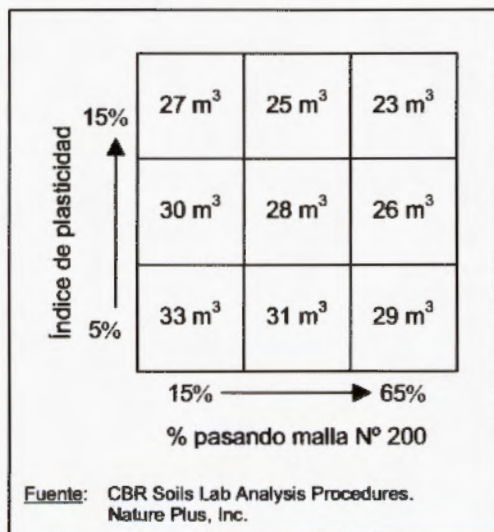


Figura 1. Metros cúbicos de suelo a ser tratados por litro de concentrado terrazyme

- Calcular el volumen de terrazyme necesario para cada tipo de suelo, basándose en el índice de plasticidad, granulometría y dosificación que recomiendan en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Dosificación en laboratorio por kg de muestra.

		m ³ de suelo por litro de concentrado terrazyme							
		27	28	29	30	31	32	33	
Densidad del suelo (kg/m ³)	1400	2,65	2,55	2,46	2,38	2,30	2,23	2,16	0,01 ml de dilución en laboratorio por kg de muestra
	1500	2,47	2,38	2,30	2,22	2,15	2,08	2,02	
	1600	2,31	2,23	2,16	2,08	2,02	1,95	1,89	
	1700	2,18	2,10	2,03	1,96	1,90	1,84	1,78	
	1800	2,06	1,98	1,92	1,85	1,79	1,74	1,68	
	1900	1,95	1,88	1,81	1,75	1,70	1,64	1,69	

Fuente: CBR Soils Lab Analysis Procedures. Nature Plus, Inc.

- Medir la humedad del suelo y calcular el volumen de agua necesario para obtener una humedad del suelo entre un 1,0% y un 2,0% por debajo del contenido óptimo de humedad.
- Mezclar el volumen calculado de terrazyme con el volumen estimado de agua para cada muestra a ser tratada.
- Humedecer el suelo de cada muestra con el volumen preparado de la mezcla terrazyme / agua. Colocar y compactar el suelo en el molde. Si la compactación no va a ser realizada inmediatamente, la mezcla humedecida puede ser tapada, de manera que no sufra secado. Suelos de plasticidad alta o moderada deben ser cubiertos para prevenir la pérdida de humedad y deben dejarse descansar de 24 a 48 horas previo a ser compactadas.

5.3.1. CURADO EN EL LABORATORIO PARA SUELOS TRATADOS CON TERRAZYME

Recomiendan seguir los siguientes pasos para lograr obtener los beneficios de la estabilización de suelos con terrazyme:

- Hay que modificar el procedimiento estándar de CBR cuando se ensayan muestras estabilizadas con terrazyme, como se especifica a continuación. La modificación se debe a que se requiere de un período

adecuado de curado para que se desarrollen los beneficios de la estabilización después de haber aplicado el terrazyme.

- a. Las mezclas compactadas deben ser colocadas dentro de una bolsa plástica que permanezca sellada al menos durante las dos primeras semanas del período de curado de 30 días. Un corte de 2 cm a 3 cm puede realizarse en la bolsa después de las dos semanas de curado para permitir una pérdida gradual de humedad durante los días finales del período de curado.
- b. Las muestras deben retener humedad durante el período de curado, razón por la cual las muestras se colocan en bolsas selladas. Un secado rápido de las muestras compactadas no representa las condiciones reales de campo, además de que se pierde la humedad necesaria para que la acción de la enzima continúe.
- c. Para CBR no saturado, las muestras compactadas deben ser removidas de las bolsas después del período de 30 días de curado y permitir que los niveles de humedad alcancen las condiciones prevalecientes de humedad del medio.
- d. Para el CBR saturado, las muestras compactadas y curadas por 30 días deben ser sumergidas en un baño después del curado.

5.4. ENSAYOS ADICIONALES A SER CONSIDERADOS

Adicionalmente se sugiere que después de realizar el ensayo de CBR, el suelo estabilizado puede ser usado para determinar otras características, como lo son índice de plasticidad, permeabilidad y densidad, con el fin de valorar comparativamente con el suelo original el efecto del estabilizador sobre estas propiedades.

6. CONSTRUCCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS CON TERRAZYME

Algunas de las recomendaciones que señalan para la etapa constructiva son las siguientes:

1. Preparación de la superficie de la carretera.
 - a. Identificar la longitud del proyecto en la cual se va a trabajar durante el día. Escarificar la superficie de la vía al espesor designado (generalmente 15 – 20 cm) para desintegrar el material, usando el equipo adecuado.
 - b. Si se requiere, se puede distribuir grava o arcilla uniformemente a una dosificación constante sobre la superficie de la vía y

reescarificar ligeramente ambos materiales (el suelo existente y el material que se adiciona) para homogenizar la mezcla.

- c. Mezclar y pulverizar el material suelto para homogenizarlo y lograr una distribución y penetración uniforme del estabilizante líquido. Pulverizar los cúmulos o materiales más gruesos. Remover las piedras superficiales de más de 7,5 cm.

2. Estimación de agua, longitud a estabilizar y volumen de terrazyme. Al respecto recomiendan:

- d. Se debe estimar los requerimientos de agua del material, justo antes del tratamiento, para alcanzar el contenido óptimo de humedad y lograr la compactación máxima; esta cantidad de agua depende del contenido de agua del suelo.
- e. Determinar la cantidad total de agua que se debe adicionar al tramo que se va a estabilizar, teniendo en cuenta la capacidad del tanque del distribuidor de agua.
- f. Calcular el volumen del aditivo terrazyme requerido para la longitud de carretera a ser tratada. Mezclar este volumen de terrazyme con el agua del camión requerida para el tramo de carretera que se va a estabilizar.

3. Distribución y mezclado de solución terrazyme con agua. Para esto recomiendan:

- g. Distribuir toda la carga de terrazyme diluida en el tanque en el tramo de carretera que está siendo tratada, administrando la presión de flujo / bombeo de agua y la velocidad del vehículo para obtener una distribución uniforme de todo el volumen de terrazyme.
- h. Mezclar para homogenizar el agua, el estabilizador en el material a estabilizar.
- i. Verificar el contenido de humedad en varios puntos a lo largo del tramo y uniformizar la capa tratada con terrazyme, con las pendientes longitudinal y transversal requeridas antes de empezar la compactación.

4. Para la compactación del material tratado con terrazyme recomiendan:

- j. El material debe ser compactado a un 1% o 2% por debajo del contenido óptimo de humedad. Si está muy seco, agregar más agua y remezclar. Si está muy húmedo, puede ser remezclado para permitir un tiempo de secado. El material puede ser compactado en un rango de 24 horas.

- k. Compactar la capa tratada usando un compactador adecuado: para materiales finos usar un compactador de pata de cabro y, para material grueso usar un rodillo de tambor liso. La compactación debe ser realizada de los bordes hacia el centro de la calle; todas las pasadas deben traslaparse 30% para evitar la formación de zonas débiles. La compactación final debe realizarse con un compactador de rodillo liso. Una vez terminado, revisar el porcentaje de compactación para confirmar que cumpla con la densidad requerida. Esto puede realizarse con varios instrumentos como el densímetro nuclear.

- l. La carretera tratada puede ser usada para tránsito liviano inmediatamente después de la compactación. Antes de permitir el tránsito de vehículos pesados, un corto período de curado (desarrollo de propiedades de la estabilización) se debe permitir para que el material tratado reduzca su contenido de humedad. El curado inicial puede tomar varias horas en temperaturas calientes y ambientes secos para suelos con alto contenido de arcillas. Condiciones climáticas adversas (climas muy lluviosos, bajas temperaturas) pueden incrementar el tiempo de curado inicial. Adicionalmente, hay que proteger la superficie con un sello superficial, si la carretera va a ser pavimentada.

7. OBSERVACIONES REALIZADAS EN CAMPO

Con el fin de observar el desempeño de suelos estabilizados con la enzima, se visitaron cuatro caminos, donde se ha aplicado la enzima terrazyme, ubicados en Heredia, estos son: Calle Precario, Calle Solar, Calle Cloaca y Calle Ancha Mercedes Norte (según nomenclatura suministrada por el municipio).

Estas calles fueron estabilizadas entre marzo y mayo del año 2004, y se realizaron visitas a dichos proyectos el 2 de noviembre y el 10 de noviembre del mismo año.

En las fotografías se muestran diferentes patrones de deterioro que experimentan las vías tratadas con esta enzima.



**Figura 2. Calle Precario.
Deformaciones en la superficie.**



**Figura 3. Calle Precario.
Formación de canales (erosión).**



Figura 4. Calle Precario. Erosión de finos.



**Figura 5. Calle Precario.
Corrugaciones en la superficie.**



Figura 5. Calle Precario. "Canales" longitudinales.



Figura 7. Calle Solar. Formación de huecos.



Figura 8. Calle Solar. Fisuras superficiales.

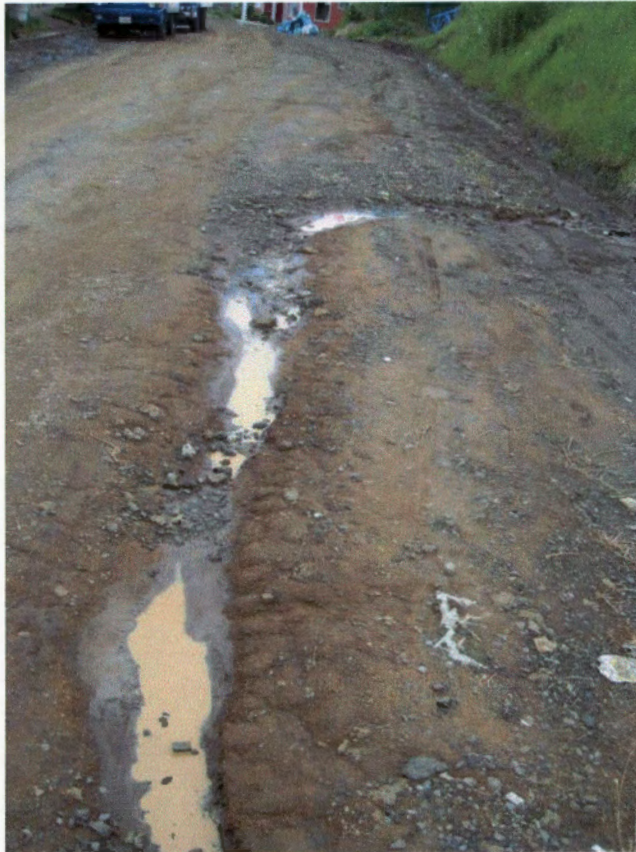


Figura 9. Calle Solar. Formación de canales e inadecuado escurrimiento de aguas.



Figura 10. Calle Cloaca. Formación de baches.



Figura 11. Calle Cloaca. Formación de baches.



**Figura 12. Calle Ancha Mercedes Norte.
Mala adherencia de la capa asfáltica.**



**Figura 13. Calle Ancha Mercedes Norte.
Formación de baches.**

8. COMENTARIOS

1. La tecnología planteada presenta un producto con propiedades físicas y químicas preestablecidas por el fabricante.
2. Como información relevante, se propone el tipo de materiales de carreteras a los cuales se puede aplicar esta técnica y adicionalmente expone el procedimiento a seguir en el laboratorio para dosificar e incorporar la enzima y para evaluar (a escala de laboratorio) el resultado del proceso de estabilización, medido a partir del ensayo de CBR. También, en la literatura analizada, se presenta una guía para la dosificación de la enzima basada en el índice de plasticidad del material y el porcentaje que pasa la malla N°200. Se muestran ejemplos del incremento de la capacidad de soporte (CBR) obtenidos en laboratorio en diferentes tipos de suelos analizados.
3. El proceso constructivo y de incorporación del aditivo en el campo también aparece especificado en la documentación aportada.
4. El diseño de la estabilización en el laboratorio requiere de cuidados especiales y la duración de este proceso se extiende por más de un mes.
5. Se destaca la importancia de un eficiente control de humedad del material durante el proceso de curado, lo cual aplica tanto para el campo, como para el análisis en el laboratorio con el fin de que se desarrollen adecuadamente las propiedades del producto. A saber, durante el curado en el laboratorio, se debe tener el cuidado de retener la humedad en la muestra durante las primeras dos semanas del curado, permitiendo una pérdida gradual de humedad durante la últimas dos semanas, con la idea de simular las condiciones de campo. En cuanto a curado en campo, se debe tener el cuidado de no permitir el tránsito de vehículos pesados durante el período de curado.
6. No se presentan estudios sobre la durabilidad de la estabilización a largo plazo, especialmente bajo las condiciones de cambio de humedad invierno – verano, a que estaría sometida la capa estabilizada.
7. No se presentan estudios específicos que determinen y correlacionen los valores de capacidad de soporte (CBR) obtenidos bajo condiciones controladas de laboratorio, con los respectivos valores realmente obtenidos en el campo.
8. No se presentan estudios sobre la dispersión en el campo, de los valores meta (de diseño) de capacidad de soporte que realmente se logran durante el proceso constructivo (dispersión normal del proceso), hecho especialmente relevante para definir el grado de sensibilidad del proceso constructivo y los criterios de aceptación y rechazo del trabajo realizado.

9. No se presentan estudios específicos sobre el modelo de falla por deformación permanente y módulos dinámicos del material, para efectos de diseño estructural del pavimento.
10. La tecnología analizada se presenta como una alternativa de estabilización para mejorar las propiedades de capacidad de soporte del suelo, no obstante en este análisis realizado se presentan observaciones técnicas pertinentes al uso de dicha alternativa.
11. Finalmente, conviene aclarar que al usarse procedimientos diferentes, en el campo y en el laboratorio, para estabilizar el suelo los parámetros de resistencia y demás parámetros de desempeño que son estudiados en el laboratorio del suelo estabilizado, no van a concordar necesariamente con los medidos en campo. Esto es, el análisis de laboratorio no va necesariamente a correlacionar, ni predecir el desempeño de la estabilización en campo.