

**INFORME DEL ANÁLISIS AMBIENTAL Y TOXICOLÓGICO
DE PERMA-ZYME™**

Diciembre 9, 2002

Elaborado por:

**Civil Engineer Research Foundation /
International Institute of Energy Conservation (CERF/HEC)
2131 K Street NW, Suite 700
Washington D.C., 20037-1810
202-785-6420**

1. Introducción

Civil Engineer Research Foundation / International Institute of Energy Conservation (CERF/HEC) suscribió un contrato con Federal Highway Association para evaluar el desempeño de los estabilizadores del suelo en carreteras no pavimentadas. Perma-Zyme™ es uno de los productos estabilizadores de suelos que CERF/HEC seleccionó para su evaluación de acuerdo con los requisitos del contrato. Esta evaluación incluye pruebas ambientales / toxicológicas, pruebas de campo y evaluación de desempeño, así como una investigación de desempeño de largo plazo.

En mayo de 2002, CERF/HEC y RTI International en el Research Triangle Park en Carolina del Norte, prepararon el *Protocolo genérico para los productos de supresión de polvo y estabilizadores de suelos* como parte de un trabajo del Programa de Verificación de Tecnología Ambiental (ETV - por sus siglas en inglés) para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA - por sus siglas en inglés). EPA aprobó el protocolo y la evaluación de Perma-Zyme™ se realiza de acuerdo con dicho protocolo. Este informe es un resumen analítico y un cálculo teórico para el impacto de Perma-Zyme™ en el ambiente y en los sistemas ecológicos cercanos, con base en una composición ambiental y en un análisis toxicológico de los laboratorios autorizados por el estado o EPA.

El CERF/HEC es una organización global sin ánimo de lucro 501(c)(3) que fue creada por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE - por sus siglas en inglés), cuyo foco es la construcción de un futuro eficiente y renovable. En asocio con las industrias de construcción, ingeniería y medio ambiente, CERF/HEC promueve y facilita el progreso de la innovación para una infraestructura sostenible. El CERF/HEC opera, especialmente, programas para la innovación tecnológica a fin de acelerar la puesta en marcha de lo innovador a la práctica en las áreas de transporte, obras públicas, sistemas de energía y sus aplicaciones y el medio ambiente.

2. Información de Laboratorio

La composición ambiental se analizó en el laboratorio Tri-State Inc., en Youngstown, Ohio. El laboratorio Tri-State está calificado para realizar análisis ambientales y tiene un certificado de aprobación de la Agencia para la Protección Ambiental de Ohio (OhioEPA). (Anexo A)

El análisis toxicológico se realizó en el laboratorio ABC en Columbia, Missouri. El laboratorio ABC está calificado para realizar análisis toxicológicos y cuenta con los certificados de inspección de la US EPA, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y de la Agencia para Alimentos y Drogas (FDA). (Anexo B)

3. Fabricación y uso de Perma-Zyme™

De acuerdo con el fabricante International Enzymes Inc., Perma-Zyme™ está formulado con materiales ricos en enzimas, que se fabrican mediante un proceso

de fermentación natural utilizando la caña de azúcar y otros compuestos orgánicos naturales. Cuando ésta se mezcla con agua y se aplica durante la compactación, Perma-Zyme™ actúa sobre los finos orgánicos del suelo a través de un proceso catalítico vinculante que produce un fuerte efecto de cementación. El resultado es una mezcla duradera y resistente al agua, que se puede utilizar en cualquier ambiente climático como una sub-base o como una superficie primaria.

El Perma-Zyme™ se diluye en agua antes de aplicarse en el suelo. La tasa de dilución es de 1:1.750 (v/v), pero puede variar de acuerdo con la humedad del suelo. Debido a que la gravedad específica de Perma-Zyme™ es de 1.4146, la concentración de Perma-Zyme™ en la mezcla de aplicación es de aproximadamente 810 mg/L, si la tasa de dilución es de 1:1.750 (v/v). La Mezcla de Aplicación de Perma-Zyme™ se rocía en el suelo, que se trató previamente con agua para obtener la humedad deseada. El suelo se mezcla con Perma-Zyme™ amontonado en hileras y compactado. La aplicación final de Perma-Zyme™ es de un galón por cada 165 yardas cúbicas de suelo. Gran parte de las gravedades del suelo oscilan entre 2.6 - 2.8; la concentración de Perma-Zyme™ en un suelo tratado es de alrededor de 17.3 mg/kg.

4. Propiedades físicas de Perma-Zyme™

El Perma-Zyme™ es un fluido viscoso de color café, no corrosivo, no combustible de olor ligeramente dulce. Las propiedades físicas de Perma-Zyme™ se resumen en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Propiedades físicas de Perma-Zyme™.

Color	Olor	Inflamable	Corrosivo	Gravedad Específica
Café	Ligero olor dulce	No	No corrosivo	1.4146

5. Resultados de la composición ambiental

De acuerdo con la información del fabricante provista por International Enzyme, Perma-Zyme™ está compuesto de materiales orgánicos. El análisis de composición ambiental consiste de un análisis de contenido orgánico y un análisis de químicos tóxicos. Los ítems analíticos de contenidos orgánico son demanda de oxígeno biológico (BOD) y demanda de oxígeno químico (COD). Los análisis de químicos tóxicos incluyen los metales, herbicidas / pesticidas, hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH), compuestos orgánicos semi-volátiles (SVOC) y compuestos orgánicos volátiles (VOC).

Desde la Tabla 5-1 a la Tabla 5-6, se observan las concentraciones de cada ítem en Perma-Zyme™ puro y en el suelo después de una aplicación estándar. Las concentraciones en el Perma-Zyme™ puro vienen directamente de la información analítica del laboratorio. Las concentraciones en el suelo se calculan con base en 17.3 mg/kg de Perma-Zyme™ en el suelo.

Tabla 5-1 Contenidos orgánicos en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme™ (mg/L)	Suelo (mg/kg)
BOD	405.1	600,000	7.34
COD	410.4	600,000	13.45

Tabla 5-2 Concentraciones de metales en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme™ (mg/L)	Suelo (mg/kg)
Aluminio	200.7	2.4	0.0415
Antimonio	200.7	ND	ND
Arsénico	200.7	ND	ND
Bario	200.7	2.71	0.0469
Berilio	200.7	ND	ND
Cadmio	200.7	ND	ND
Cromo	200.7	ND	ND
Cobre	200.7	ND	ND
Hierro	200.7	12.6	0.2180
Plomo	200.7	ND	ND
Manganeso	200.7	1.35	0.0234
Mercurio	200.7	0.003	0.0001
Níquel	200.7	ND	ND
Selenio	200.7	ND	ND
Plata	200.7	ND	ND
Talio	200.7	ND	ND
Zinc	200.7	2.85	0.0493

Tabla 5-3 Contenido de herbicidas / pesticidas en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme™ (mg/L)	Suelo (mg/kg)
2,4-D	8270	ND	ND
Plata	8270	ND	ND
Technical chlordan	8270	ND	ND
Endrin	8270	ND	ND
Heptachlor	8270	ND	ND
Lindane	8270	ND	ND
Methoxychlor	8270	ND	ND
Toxaphene	8270	ND	ND

Tabla 5-4 Contenido de PAH en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme™ (mg/L)	Suelo (mg/kg)
Acenaphthlene	8270	ND	ND
Acenaphthylene	8270	ND	ND
Anthracene	8270	ND	ND
Bezo(a)anthracene	8270	ND	ND
Bezo(a)pyrene	8270	ND	ND
Bezo(b)fluoranthene	8270	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	8270	ND	ND
Benzo(k)fluoranthene	8270	ND	ND
Chrysene	8270	ND	ND
Dibenzo(a,h)anthracene	8270	ND	ND
Fluoranthene	8270	ND	ND
Fluorene	8270	ND	ND
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	8270	ND	ND
Naphthalene	8270	ND	ND
Phenanthrene	8270	ND	ND
Pyrene	8270	ND	ND

Tabla 5-5 Contenido de SVOC en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme™ (mg/L)	Suelo (mg/kg)
Acenaphthene	8270	ND	ND
Acenaphthylene	8270	ND	ND
Anthracene	8270	ND	ND
Benzidine	8270	ND	ND
Benzo-(a)anthracene	8270	ND	ND
Benzo(a)pyrene	8270	ND	ND
3,4-Benzofluoranthene	8270	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	8270	ND	ND
Benzo(b)fluoranthene	8270	ND	ND
Benzo(k)fluoranthene	8270	ND	ND
Bis(2-chloroethoxy) methane	8270	ND	ND
Bis(2-chloroethyl) ether	8270	ND	ND
Bis(2-chloroisopropyl) Ether	8270	ND	ND
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	8270	ND	ND
4-Bromophenyl phenyl Ether	8270	ND	ND
Butyl benzyl phthalate	8270	ND	ND
2-chloronaphthalene	8270	ND	ND
4-Chlorophenyl phenyl Ether	8270	ND	ND

Chrysene	8270	ND	ND
Dibenzo(a,h)anthracene	8270	ND	ND
1,2- Dichlorobenzene	8270	ND	ND
1,3- Dichlorobenzene	8270	ND	ND
1,4-Dichlorobenzene	8270	ND	ND
3,3'-Dichlorobenzidine	8270	ND	ND
Diethyl phthalate	8270	ND	ND
Dimethyl phthalate	8270	ND	ND
Di-n-butyl phthalate	8270	ND	ND
2,4-Dinitrotoluene	8270	ND	ND
2,6-Dinitrotoluene	8270	ND	ND
Di-n-octyl phthalate	8270	ND	ND
1.2-Diphenylhydrazine (as azobenzene)	8270	ND	ND
Fluoranthene	8270	ND	ND
Fluorene	8270	ND	ND
Hexachlorobenzene	8270	ND	ND
Hexachlorobutadiene	8270	ND	ND
Hexachlocyclopentadiene	8270	ND	ND
Hexachloroethane	8270	ND	ND
Indeno (1,2,3-cd)pyrene	8270	ND	ND
Isophorone	8270	ND	ND
Naphthalene	8270	ND	ND
Nitrobenzene	8270	ND	ND
N-Nitrosodimethylamine (as diphenylamine)	8270	ND	ND
N-Nitrosodi-n-propylamine	8270	ND	ND
N-Nitrosodiphenylamine	8270	ND	ND
Phenanthrene	8270	ND	ND
Pyrene	8270	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	8270	ND	ND
2-Chlorophenol	8270	ND	ND
2,4-Dichlorophenol	8270	ND	ND
2,4-Dimethylphenol	8270	ND	ND
4,6-Dinitro-o-cresol	8270	ND	ND
2,4-Dinitrophenol	8270	ND	ND
2-Methyl phenol	8270	ND	ND
3,4-Methyl phenol	8270	ND	ND
2-Nitrophenol	8270	ND	ND
4-Nitrophenol	8270	ND	ND
Pentachlorophenol	8270	ND	ND
Phenol	8270	ND	ND
2,4,5-Trichlorophenol	8270	ND	ND
2,4,6-Trichlorophenol	8270	ND	ND

Tabla 5-6 Contenidos de SVOC en diferentes medios

Análisis	Método EPA	Perma-Zyme TM (mg/L)	Suelo (mg/kg)
Acetona	8260	ND	ND
Benzene	8260	ND	ND
Bromobenzene	8260	ND	ND
Bromochloromethane	8260	ND	ND
Bromodichloromethane	8260	ND	ND
Bromoform	8260	ND	ND
Bromomethane	8260	ND	ND
2-Butanone	8260	ND	ND
n-Butylbenzene	8260	ND	ND
sec-Butylbenzene	8260	ND	ND
tert-Butylbenzene	8260	ND	ND
Carbon Tetrachloride	8260	ND	ND
Chlorobenzene	8260	ND	ND
Chloroethane	8260	ND	ND
Chloroform	8260	ND	ND
Chloromethane	8260	ND	ND
2-Chlorotoluene	8260	ND	ND
4-Chlorotoluene	8260	ND	ND
1,2-Dibromo-3-chloropropane	8260	ND	ND
Dibromochloromethane	8260	ND	ND
1,2-Dibromoethane	8260	ND	ND
Dibromomethane	8260	ND	ND
1,2-Dichlorobenzene	8260	ND	ND
1,3-Dichlorobenzene	8260	ND	ND
1,4-Dichlorobenzene	8260	ND	ND
Dichlorodifluoromethane	8260	ND	ND
1,1-Dichloroethane	8260	ND	ND
1,2-Dichloroethane	8260	ND	ND
1,1-Dichloroethene	8260	ND	ND
cis-1,2-Dichloroethene	8260	ND	ND
trans-1,2-Dichloroethene	8260	ND	ND
1,2-Dichloropropane	8260	ND	ND
1,3-Dichloropropane	8260	ND	ND
2,2-Dichloropropene	8260	ND	ND
1,1-Dichloropropene	8260	ND	ND
Ethyl Benzene	8260	ND	ND
Hexachlorobutadiene	8260	ND	ND
2-Hexanone	8260	ND	ND
Isopropylbenzene	8260	ND	ND
p-Isopropyltoluene	8260	ND	ND
Methylene Chloride	8260	ND	ND
Methyl isobutyl ketone	8260	ND	ND

Naphthalene	8260	ND	ND
n-Propylbenzene	8260	ND	ND
Styrene	8260	ND	ND
1,1,1,2-Tetrachloroethane	8260	ND	ND
1,1,2,2-Tetrachloroethane	8260	ND	ND
Tetrachloroethene	8260	ND	ND
Toluene	8260	ND	ND
1,2,3-Trichlorobenzene	8260	ND	ND
1,2,4-Trichlorobenzene	8260	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	8260	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	8260	ND	ND
Trichloroethene	8260	ND	ND
Trichlorofluoromethane	8260	ND	ND
1,2,3-Trichloropropane	8260	ND	ND
1,2,4-Trimethylbenzene	8260	ND	ND
1,3,5-Trimethylbenzene	8260	ND	ND
Vinyl Chloride	8260	ND	ND
m,p,Xylene	8260	ND	ND
o-Xylene	8260	ND	ND

ND = No detectado

Las anteriores tablas indican que se detectaron siete químicos y BOD / COD en Perma-Zyme™. Las concentraciones químicas en el suelo se comparan con las Concentraciones con Base en los Riesgos (RBC) en suelos residenciales, que fuera desarrollada por la US EPA como un nivel de filtro para contaminantes en un sitio de interés. La Tabla 5-7 compara los valores RBC y las concentraciones químicas en el suelo causadas por la aplicación de Perma-Zyme™.

Tabla 5-7 Valores RBC y concentraciones de suelo

Químico	Nivel RBC en Suelos Residenciales (mg-kg)	Químicos en Suelo (mg-kg)
BOD	N/A	7.34
COD	N/A	13.45
Aluminio	48,000	0.0415
Bario	5,500	0.0469
Hierro	23,000	0.2180
Manganeso	1,600	0.0234
Mercurio	7.8	0.0001
Zinc	23,000	0.0493
2-Butatone	47,000	184.7

BOD / COD son dos de los principales indicadores para contenidos de compuestos orgánicos. Los valores BOD / COD son relativamente altos en el suelo debido a que Perma-Zyme™ se produce de caña de azúcar. Durante la fabricación de Perma-Zyme™, la caña de azúcar se utiliza como materia prima y

sigue el proceso hasta la fermentación. Los aditivos se agregan a los productos de fermentación, que producen el Perma-Zyme™.

Desde la Tabla 5-7 se puede observar que todas las concentraciones químicas detectadas son significativamente más bajas comparadas con los niveles de RBC en suelos residenciales, **lo que significa que la aplicación de Perma-Zyme™ no aumenta el nivel de riesgo en el suelo. Por consiguiente, la utilización de Perma-Zyme™ es segura en cuanto a su impacto ambiental.**

ATTACHMENT A

Certificates of Approval of Tri-State Laboratories

6. Resultados de los análisis toxicológicos

En esta prueba toxicológica particular, se utiliza LC₅₀ en el laboratorio para indicar la toxicidad de Perma-Zyme™ puro en agua, de acuerdo con el Método EPA/600/4-90/02TF y EPA/600/4-91/002 para toxicidad aguda o crónica, respectivamente. LC₅₀ significa concentraciones letales en el agua que matan el 50% de los pequeños organismos acuáticos que se utilizan en la prueba. Los resultados analíticos de toxicidad se enumeran en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1 Resultados analíticos de toxicidad

Pure Perma-Zyme Tm Concen.(mg/L)	Porcent Mortality					
	Ceriodaphnia Dubia		Fathead Minnow		Americamysis Bahia	
	Acute	Chronic	Acute	Chronic	Acute	Chronic
Control	0	0	0	3	0	15
0.13	-	-	-	-	-	17
0.25	-	-	-	-	-	25
0.5	-	-	-	-	-	15
1.0	-	-	-	-	0	10
1.3	0	0	0	0	-	-
2.0	-	-	-	-	65	35
2.5	0	0	0	3	-	-
4.0	-	-	-	-	90	-
5.0	-	0	5	13	-	-
8.0	-	-	-	-	100	-
10.0	0	80	35	100	-	-
16.0	-	-	-	-	100	-
20.0	80	100	100	100	-	-
40.0	100	-	-	-	-	-

De acuerdo con la norma EPA-540-9-85-006, el criterio de toxicidad sugerido para los materiales se enumera en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Categorías de toxicidad

LC50 (mg/L)	Category Description
< 0.1	Very highly toxic
0.1 - 1	Highly toxic
1 - 10	Moderadamente tóxico
10 - 100	Slightly toxic
> 100	Practicamente no tóxico

Si 100 mg de Mezcla de Aplicación de Perma-Zyme™ (que contiene 810 mg/L de Perma-Zyme™ puro) se diluye en 1 litro de solución de control, se genera una solución de Mezcla de Aplicación de 100 mg/L de Perma-Zyme™. Esta solución contiene 0.081 mg/L de Perma-Zyme™ puro. De la Tabla 6-1 se observa que

todos los resultados de análisis de toxicidad serán inferiores al 50%, a una concentración de 0.081 mg/L de Perma-Zyme™; por consiguiente, los valores LC₅₀ para la Mezcla de Aplicación de Perma-Zyme™ deberían ser superiores a 100mg/L.

La tabla 5-3 resume los valores LC₅₀ y las categorías de toxicidad para Perma-Zyme™ puro y para la Mezcla de Aplicación de Perma -Zyme™.

Tabla 6-3 LC₅₀ y categoría de toxicidad

	Pure Perma	Zyme™	Perma Zyme™	Application Mixture
	LC50(mg/L)	Toxicity Category	LC50(mg/L)	Toxicity Category
Ceriodaphnia Dubia acute	16.2	Slightly toxic	> 100	Practicamente no toxico
Ceriodaphnia Dubia chronic	8.1	Moderately toxic	> 100	Practicamente no toxico
Fathead Minnow acetate	10.7	Slightly toxic	> 100	Practicamente no toxico
Fathead Minnow chronic	6.4	Moderately toxic	> 100	Practicamente no toxico
Americamysis Bahia acute	1.7	Moderately toxic	> 100	Practicamente no toxico
Americamysis Bahia chronic	> 2	Moderately toxic	> 100	Practicamente no toxico

De la Tabla 6-3 se puede observar que el Perma-Zyme™ puro es levemente tóxico o moderadamente tóxico en diferentes métodos de pruebas. **Mientras que la Mezcla de Aplicación de Perma-Zyme™ no resulta tóxica en prácticamente ninguno de los casos.**

7. Conclusión

Con base en los cálculos y los comentarios de las secciones 5 y 6, se puede concluir lo siguiente:

- Existen siete químicos presentes en Perma-Zyme™, que aparecen en la Tabla RBC de la EPA.
- Después de aplicar Perma-Zyme™ en el suelo, todas las siete concentraciones químicas en el suelo serán significativamente inferiores que los niveles de RBC en suelos residenciales y esto significa que la aplicación de Perma -Zyme™ no aumenta el nivel de riesgo de los suelos.
- El Perma-Zyme™ puro resulta levemente tóxico o moderadamente tóxico, dependiendo de los diferentes análisis toxicológicos.
- La Mezcla de Aplicación de Perma-Zyme™ resulta casi no-tóxica en todos los análisis toxicológicos.