

CAPITULO II

PRUEBAS PARA DETERMINAR LA TOXICIDAD DE UN RESIDUO

El hecho de que una sustancia sea tóxica no implica que necesariamente represente un peligro. La toxicidad es la capacidad inherente de una sustancia para producir daño y es una función del nivel de dosis o de la duración de la exposición (esta última es el período de tiempo que un individuo está en contacto con una sustancia o situación). Mientras que un peligro es la posibilidad de que una sustancia produzca algún efecto adverso cuando se encuentra bajo condiciones específicas. El peligro es por lo tanto, una combinación de la toxicidad inherente del material y del riesgo de exposición.

Una clasificación general de los diferentes tipos de exposiciones a materiales peligrosos y situaciones nocivas en el área de trabajo y en el ambiente, es la siguiente [Cheremisinoff, 1984]:

a) *Exposiciones críticas*. La dosis es un evento único y rápido. A pesar de que este tipo de exposición es generalmente corto, las consecuencias o efectos pueden ser irreversibles porque se vence el mecanismo de protección del cuerpo.

b) *Exposiciones crónicas*. Involucra la exposición o dosis liberada durante un período de tiempo. La frecuencia y el tiempo de interés para tales exposiciones es una función de la toxicidad, dosis y efectos particulares del material. Estas exposiciones pueden ocurrir variando las frecuencias y se pueden volver continuas. Las exposiciones crónicas se caracterizan por una duración prolongada a bajo nivel, donde la capacidad del cuerpo para desintoxicarse se excede después de un período de tiempo.

c) *Exposiciones a largo plazo*. Son exposiciones continuas, que se prolongan por más de un año. Esta categoría rara vez se presenta en el ambiente de trabajo, generalmente ocurre en ambientes externos a la planta o se emplea en técnicas de laboratorio para animales de experimentación.

Los residuos considerados peligrosos se deben caracterizar en forma adecuada para poder seleccionar las tecnologías de tratamiento y disposición final más apropiadas para ese residuo en particular, disminuyendo al máximo la posibilidad de que se presente algún tipo de exposición.

El decidir que componentes hacen a un residuo peligroso es muchas veces difícil, pero como regla general, únicamente se realizan determinaciones a aquéllos que se consideran residuos sólidos de acuerdo a la regulación. Esto ha constituido un gran problema para la industria química debido a que muchos materiales se pueden reciclar, sino de inmediato, en un futuro. Este fue uno de los principales tópicos en la implementación de las reformas al Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos (the Resource Conservation and Recovery Act, RCRA) de 1984. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) instituyó un criterio que satisface la definición de residuo establecida por el Congreso y listó algunos residuos específicos que se consideran peligrosos o extremadamente peligrosos. Además, el sistema de control de residuos peligrosos, incluye también a otros materiales siempre y cuando presenten una o más de las siguientes características: inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad [Simmons, 1991].

La característica de toxicidad se determinó inicialmente utilizando la prueba del Procedimiento de Extracción (Extraction Procedure, EP) y posteriormente se reemplazó por el Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP). En

éste capítulo se presenta una breve descripción de cada una de estas pruebas y una comparación entre ellas. También se incluye la relación que mantiene la prueba TCLP con otras reglamentaciones, así como los diferentes tipos de residuos que se someten a dicha prueba y los que quedan excluidos de ésta. Además, se proporciona información acerca de las actividades que en México, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE (actualmente Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL), está realizando al respecto.

2.1 Procedimiento de extracción (extraction procedure, EP)

La prueba de toxicidad EP se desarrolló para simular el medio que se puede presentar, cuando residuos sólidos industriales se co-disponen con residuos sólidos en un relleno sanitario municipal, generándose ácidos carboxílicos tal como el ácido acético (por ser uno de los ácidos más dominantes que están presentes en la lixiviación de residuos municipales), los cuales pueden extraer metales pesados del residuo y producir un lixiviado tóxico. Esto representa el peor escenario de manejo de residuos peligrosos. Por ésta razón, la prueba de toxicidad EP utilizó una solución de ácido acético para simular este proceso de lixiviación [The Hazardous Waste Consultant, 1990].

Se requirió de una muestra representativa de residuo para mezclarse con el medio lixivante y después de un período de tiempo específico, se analizó el extracto líquido. El residuo se consideraba peligroso, si presentaba un nivel mayor o igual a la concentración máxima permitida, de alguno de los 14 contaminantes que se muestran en la Tabla 2.1.

La concentración máxima permitida se estableció de tal forma que no se excedieran las Normas Nacionales Primarias Provisionales para Agua Potable (National Interim Primary Drinking Water Standards, NIPDWSs) en pozos de agua subterráneos, considerando que los constituyentes peligrosos se diluyen y/o son atenuados por un factor de 100 durante su transporte. La prueba se limitaba a 14 compuestos únicamente por no disponer de las Normas de toxicidad para otros compuestos.

Es conveniente hacer la aclaración de que en la reglamentación no se especificó que los generadores estuvieran obligados a emplear la prueba EP para determinar si sus residuos exhibían la característica de toxicidad. Sin embargo, cuando se selecciona esta opción, se deben conservar los registros en donde se informe acerca de cómo se realizó dicha prueba. Como alternativa un residuo se puede considerar tóxico, únicamente con base en el conocimiento que se tenga de los materiales o procesos empleados para su generación.

Las principales limitaciones que presentó ésta prueba fueron [Simmons, 1991]:

(1) Las Normas de toxicidad sólo existían para 14 contaminantes que se presentaban en agua potable, por lo que dichos constituyentes no representaban a la mayoría de las sustancias peligrosas que se podían encontrar en los residuos industriales.

(2) El ácido acético ayuda a predecir la lixiviación de metales contenidos en un residuo industrial, sin embargo no dice nada acerca de la posible lixiviación de compuestos orgánicos volátiles.

(3) Las bases de riesgos existentes para los contaminantes seleccionados no estaban fundamentados en modelos de transporte para agua subterránea ni en estudios de toxicidad.

En la Tabla 2.1 se presentan los niveles reglamentarios para los constituyentes tóxicos determinados por medio de la Prueba de Extracción.

Tabla 2.1 Niveles Reglamentarios de Concentración para los Contaminantes Determinados por el Procedimiento de Extracción (Prueba EP)

Número de Residuo Peligroso designado por la USEPA	Contaminante	Concentración Máxima (mg/L)
DOO4	Arsénico	5.0
DOO5	Bario	100.0
DOO6	Cadmio	1.0
DOO7	Cromo	5.0
D008	Plomo	5.0
D009	Mercurio	0.2
D010	Selenio	1.0
D011	Plata	5.0
D012	Endrin ¹	0.02
D013	Lindano ²	0.4
D014	Metoxicloro ³	10.0
D015	Toxafeno ⁴	0.5
D016	2, 4-D ⁵	10.0
D017	2, 4, 5-TP ⁶	1.0

¹ Endrin (1, 2, 3, 4, 10, 10-hexacloro-1, 7-epoxi-1, 4, 4a, 5, 6, 7, 8, 8a-octahidro-1, 4-endo, endo-5, 8-dimetano naftaleno).

² Lindano (1, 2, 3, 4, 5, 6- hexaclorociclohexano, isómero gama).

³ Metoxicloro (1, 1, 1, triclora-2, 2-bis, [p-metoxifenil] etano).

⁴ Toxafeno (C₁₀H₁₀CL₈, Camfeno clorado técnico, 67-69 porciento de cloro).

⁵ 2, 4-D (2, 4-ácido diclorofenoxiacético).

⁶ 2, 4, 5-TP Silvex (2, 4, 5-ácido triclorofenoxipropiónico).

Fuente: Brunner, Calvin R. Handbook of Incineration Systems.
Ed. Mc Graw-Hill, Inc. U.S.A., 1991.

2.2 Procedimiento para la caracterización de un lixiviado por su toxicidad, (toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)

Esta prueba se empleó como una alternativa para el manejo de contingencia, pero no se adoptó dentro de la regulación del Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos (RCRA), porque resulta muy complicado y no siempre es posible determinar - en el punto de generación, durante el transporte, o aún en la instalación de tratamiento, almacenamiento o disposición - el manejo final de un residuo sólido para asegurar que se hará en la forma más adecuada. Los residuos no se regulan como actualmente se manejan, sino considerando las formas en las que se puede manipular de manera errónea.

Los residuos industriales generalmente se disponen en rellenos sanitarios industriales o se manejan de alguna otra forma (por ejemplo: incineración, reciclaje, tratamiento en el suelo o en algún depósito superficial). Tradicionalmente se han aceptado residuos industriales no peligrosos en los rellenos sanitarios municipales. Para fines de reglamentación la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) conservó el criterio de considerar como el peor escenario de manejo de residuos peligrosos, su co-disposición con residuos sólidos en un relleno sanitario municipal.

Se criticó a la prueba de toxicidad EP por hacer determinaciones irreales respecto a la toxicidad de un residuo, por esta razón, se comisionó a la USEPA para que desarrollara una nueva técnica que permitiera realizar predicciones más exactas sobre la capacidad de lixiviación de los residuos. Esta solicitud se incluyó en la Reforma a los Residuos Sólidos y Peligrosos (the Hazardous and Solid Waste Amendments, HSWA) de 1984.

Finalmente la USEPA propuso el Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (Prueba TCLP), el 13 de junio de 1986. El propósito del procedimiento es limitar la disposición de los residuos donde la lixiviación pudiera presentar condiciones peligrosas bajo un manejo inadecuado. Los objetivos que se perseguían con ésta fueron [The Hazardous Waste Consultant, 1990]:

- 1) Adicionar 38 nuevos constituyentes orgánicos al Procedimiento de Extracción (Prueba EP).
- 2) Establecer factores de dilución/atenuación (Dilution/Attenuation Factors, DAFs) específicos para cada compuesto orgánico considerado, conservando un DAF de 100 para los constituyentes inorgánicos.
- 3) Reemplazar la Prueba EP por la TCLP.

La Prueba TCLP se finalizó el 29 de Marzo de 1990. Se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se discutirán posteriormente:

- 1) Se adicionaron únicamente 25 constituyentes orgánicos a la prueba de toxicidad.
- 2) Se establecieron los niveles reglamentarios para los nuevos constituyentes.
- 3) Se reemplazó la prueba del Procedimiento de Extracción (EP) por el Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (TCLP).

El procedimiento TCLP consiste en recolectar una muestra representativa del residuo, de la cual se debe de tomar una submuestra para hacer algunas pruebas preliminares [USEPA, 1991]:

- * medir el porcentaje de sólidos;
- * definir si el líquido obtenido después de la filtración se va a considerar como el extracto (por tener una cantidad despreciable de sólidos);
- * determinar si la porción sólida requiere de una reducción del tamaño de partícula;
- * seleccionar cuál de los dos fluidos de extracción se va a utilizar para la extracción TCLP de constituyentes no volátiles del residuo. El fluido de extracción que se emplee es función de la alcalinidad de la fase sólida del residuo.

Si después de la filtración el residuo es líquido, es decir, contiene menos del 0.5% de material sólido, entonces se define como el extracto TCLP.

Si se presenta el caso de que el residuo contiene 0.5% de sólidos o más, se procede a separar el líquido (si lo hay), de la fase sólida y se almacena para su análisis posterior; el tamaño de partícula de la fase sólida se reduce si así se estimó conveniente durante el análisis preliminar. La fase sólida se extrae con una cantidad total de fluido de extracción igual a 20 veces el peso de la fase sólida.

Se coloca el recipiente de extracción en el aparato de agitación rotatoria, para girar a 30 ± 2 rpm por 18 ± 2 horas. Por último, el extracto líquido se separa de la fase sólida por medio de una filtración a través de un filtro de fibra de vidrio. Si es compatible (por ejemplo: fases múltiples no formarán una combinación), la fase líquida inicial del residuo se adiciona al extracto líquido y se analizan juntos. Si no es así, los líquidos se analizan por separado y los resultados se combinan matemáticamente para obtener una concentración promedio en volumen.

Cuando se analizan compuestos orgánicos volátiles se emplea el recipiente de extracción de Cero Espacio Superior (Zero-Headspace, ZHE), el cual permite realizar la separación inicial y final de las fases líquido/sólido, así como la extracción TCLP sin necesidad de abrir el recipiente, disminuyendo de esta manera las posibles pérdidas de compuestos orgánicos volátiles. Este dispositivo se presenta en la Figura 2.2. Si se van a determinar compuestos inorgánicos, se emplean botellas de extracción.

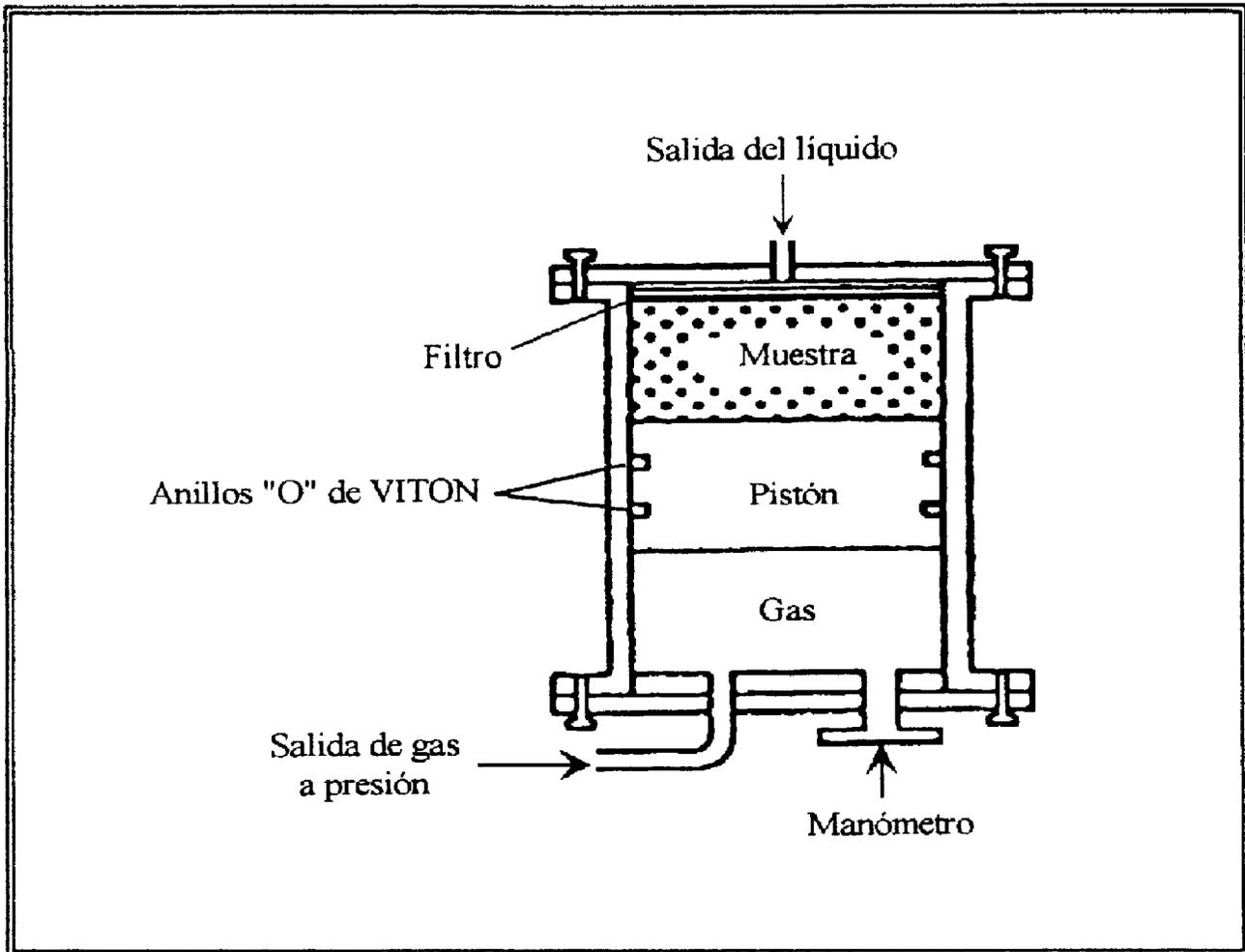


Fig 2.2 Recipiente de cero espacio superior ("Zero-Headspace", ZHE).

2.2.1 Modelo de transporte y destino de agua subterránea

El modelo de transporte y destino de agua subterránea, estima la reducción en la concentración del contaminante, que ocurre a medida que éste emigra hacia un pozo de agua potable subterráneo localizado a 152.4 m (500 ft) de distancia. El modelo empleó datos de absorción de suelo y compuestos de hidrólisis específicos, así como valores genéricos para la cantidad de agua subterránea, pH y porosidad de suelo entre otros factores importantes. El modelo conceptual empleado para establecer las concentraciones máximas permitidas de los constituyentes lixiviados, en los puntos de abastecimiento de agua subterránea, es el siguiente:

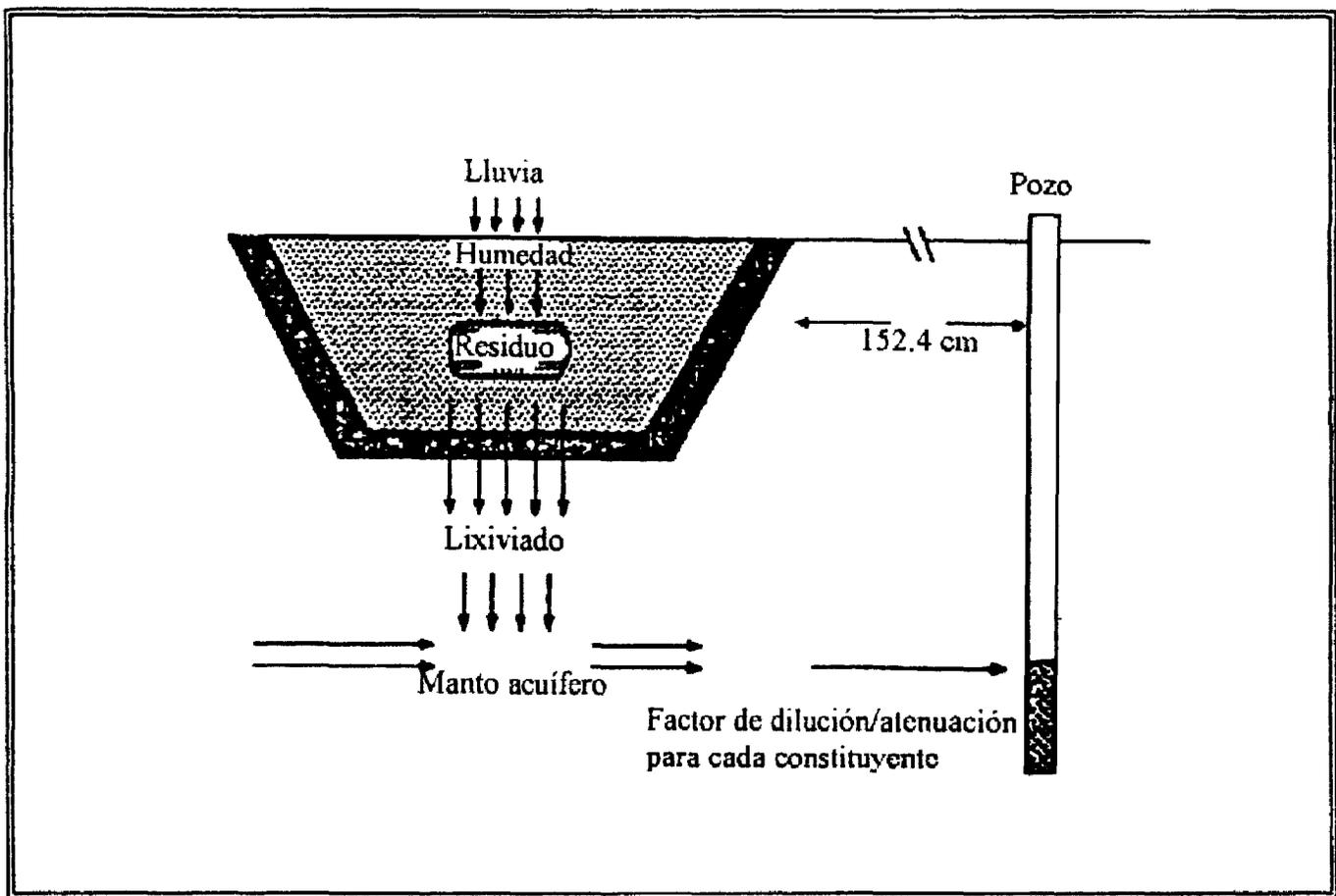


Figura 2.2.1 Modelo de Transporte y Destino de Agua Subterránea.

2.2.2 Adición de 25 constituyentes orgánicos

Finalmente la prueba TCLP adiciona sólo 25 compuestos orgánicos a la lista de constituyentes considerados por la prueba de toxicidad anterior. En la Tabla 2.2.3, aparece la lista completa.

Aún cuando la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (USEPA), propuso adicionar otros 13 compuestos químicos a esta prueba, la misma ha pospuesto su inclusión debido a dos aspectos importantes relacionados con la aplicación del modelo de transporte y destino subterráneo [The Hazardous Waste Consultant, 1990].

El primero es que el modelo toma en cuenta la hidrólisis de los constituyentes, pero no considera a los posibles productos tóxicos originados por dicha hidrólisis. Por lo que, se pospuso la adición de aquéllos constituyentes que se hidrolizan apreciablemente. En segundo lugar, el modelo se desarrolló considerando que se alcanzaría el estado estable, pero algunos constituyentes nunca llegaron a él, y por lo tanto no se incluyeron en la lista para fines de regulación. Los que presentaron alguna de estas opciones se presentan en la Tabla 2.2.2.

Tabla 2.2.2 Constituyentes para los que la USEPA ha Pospuesto su Adición a la Prueba TCLP

Constituyente	Nivel de Reglamentación propuesto (mg/L) *	Razón por la que se pospone su adición a la Prueba TCLP
Acrilonitrilo ⁺	5.0	Hidrólisis
Bis (2-cloroetil) éter	0.05	Hidrólisis
Disulfuro de Carbono	14.4	Estado Inestable
1,2-Diclorobenceno	4.3	Estado Inestable
Isobutanol	36.0	Estado Inestable
Cloruro de Metileno ⁺	8.6	Hidrólisis
Fenol ⁺	14.4	Estado Inestable
1,1,1,2-Tetracloroetano	10.0	Hidrólisis
1,1,2,2-Tetracloroetano	1.3	Hidrólisis
2,3,4,6-Tetraclorofenol ⁺	1.5	Estado Inestable
Tolueno	14.4	Estado Inestable
1,1,1-Tricloroetano	30.0	Hidrólisis
1,1,2-Tricloroetano	1.2	Hidrólisis

* Niveles originales de regulación de la prueba TCLP propuesta el 13 de junio de 1986.

+ Los niveles de referencia de toxicidad crónica para estos constituyentes se revisaron en el suplemento del 19 de Mayo de 1988 a la prueba TCLP. Los niveles revisados son: acrilonitrilo, 0.0007 mg/L; cloruro de metileno, 0.05 mg/L; fenol, 1 mg/L; y 2,3,4,6-tetraclorofenol, 1 mg/L.

Fuente: 53 FR 18025, 55 FR 11823 y 11843-11844

The Hazardous Waste Consultant, Toxicity Characteristic Leaching Procedure Finalized, May-June 1990, pp. 2.1-2.9 .

2.2.3 Desarrollo de los límites reglamentarios

Estos límites se desarrollaron en un proceso de 3 pasos. Primero se establece el nivel de referencia de toxicidad crónica para el constituyente. A continuación, se desarrolla el factor de dilución/atenuación (DAF) para ese constituyente con base al modelo de transporte y destino de agua subterránea. Finalmente, el nivel de referencia se multiplica por el DAF para obtener el nivel reglamentario. No obstante, si resulta un nivel no factible, este valor se debe incrementar.

2.2.3.1 Niveles de referencia de toxicidad crónica

Los niveles de referencia de toxicidad crónica, se usaron como punto de partida para el desarrollo de los niveles reglamentarios para los 25 nuevos constituyentes orgánicos. Estos niveles de referencia se basan en las Normas Nacionales Primarias Provisionales para Agua Potable (NIPDWSs) o en los Niveles Máximos de los Contaminantes (Maximum Contaminant Levels, MCLs), establecidos por el Acta de Seguridad de Agua Potable (Safe Drinking Water Act, SDWA). Para aquéllos constituyentes sin normas NIPDWS o MCL, la agencia utilizó uno de los siguientes niveles, como nivel de referencia de toxicidad crónica [The Hazardous Waste Consultant, 1990]:

1. DOSIS DE REFERENCIA PARA CONSTITUYENTES NO CARCINOGENÉTICOS (RSDs). Este valor es una estimación de la dosis diaria de una sustancia que no provocará efectos adversos aún después de someterse un tiempo a dicha exposición. La USEPA calculó los RIDs considerando que una persona de 70 kg (154 lb) ingiere 2 litros de agua potable contaminada por día.

2. DOSIS ESPECÍFICA DE RIESGO (RSDs) PARA COMPUESTOS CARCINOGENÉTICOS. El valor RSD es la dosis diaria de un carcinógeno que, por un período de vida, provocará una incidencia de cáncer igual a un nivel de riesgo específico. El nivel de riesgo empleado para el nivel de referencia de toxicidad crónica es 10. (es la probabilidad de que una persona en 100,000 contraiga alguna forma de cáncer en su vida, debido a su exposición a este compuesto).

La agencia indicó que se habían considerado inicialmente porciones de los valores RIDs para responder a las múltiples rutas de exposición (por ejemplo: aire, agua, etc). Finalmente, se rechazó esta opción debido a la falta de datos sobre factores de proporción adecuados.

2.2.3.2 Factores de Dilución/Atenuación (DAFs)

Una vez que la agencia estableció un nivel de referencia de toxicidad crónica, ese nivel se multiplica por un Factor de Dilución/Atenuación (DAF) para obtener el nivel reglamentario. Durante las etapas preliminares al método propuesto, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) ofreció dos alternativas para establecer los DAFs, uno era un valor genérico y otro un valor específico para el constituyente. En la propuesta final, la agencia observó que el valor genérico no era apropiado porque "la diversidad de atributos de dilución/atenuación por los que atraviezan los constituyentes originaría que dichos valores de DAF se limitaran o se excedieran en la regulación de un gran número de compuestos" [The Hazardous Waste Consultant, 1990].

Se encontró que los 25 nuevos constituyentes, presentaban valores de DAFs similares al emplear el modelo de transporte y destino subterráneo. En base a los resultados obtenidos, la USEPA determinó que un DAF de 100 era apropiado para los 25 nuevos constituyentes y conservó este mismo valor para aquéllos que se listaron inicialmente con el Procedimiento de Extracción (Prueba EP).

Se debe aclarar que los valores de DAFs para los 13 constituyentes orgánicos que posteriormente se adicionarán a esta lista, no necesariamente será de 100 cuando se promulgan.

En algunos casos, los límites de regulación calculados estaban extremadamente cerca o abajo de los niveles de detección al emplear los métodos analíticos comunes. Por lo que, la USEPA fijó el límite de reglamentación para estos contaminantes en el límite de cuantificación, el cual se define como "el nivel más bajo de un producto químico particular que se puede medir de manera confiable dentro de los límites aceptables de precisión y exactitud, bajo condiciones rutinarias de operación de laboratorio". La USEPA propuso establecer el límite de cuantificación como 5 veces el límite de detección para cada constituyente y conservó este criterio para la prueba TCLP. Los compuestos químicos a los cuales se aplicó esta consideración fueron el 2,4-dinitrotolueno, hexaclorobenceno y piridina.

Debido a la dificultad que presenta la separación analítica entre el o-, m- y p-cresol empleando las técnicas apropiadas, la agencia adicionó a la lista el Cresol Total (D026). En la Tabla 2.2.3 se presentan los niveles reglamentarios para los contaminantes que se pueden determinar por medio de la prueba TCLP.

Tabla 2.2.3 Contaminantes y Niveles de Reglamentación para el Procedimiento de la caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (Prueba TCLP)

Número de Residuo Peligroso de la USEPA	Contaminante	Nivel de Toxicidad Crónica (mg/L)	Reglamentación (mg/L) ^a
DO04	Arsénico	0.05	5.0
DO05	Bario	1.0	100.0
DO18	Benceno	0.005	0.5
DO06	Cadmio	0.01	1.0
DO20	Clordano	0.0003	0.03
DO21	Clorobenceno	1.0	100.0
DO22	Cloroformo	0.06	6.0
DO43	Cloruro de vinilo	0.002	0.2
DO23	o-Cresol	2.0	200.0 ^b
DO24	m-Cresol	2.0	200.0 ^b
DO25	p-Cresol	2.0	200.0 ^b
DO26	Cresol	2.0	200.0 ^b
DO07	Cromo	0.05	5.0
DO16	2,4-D	0.1	10.0
DO27	1,4-Diclorobenceno	0.075	7.5
DO28	1,2-Dicloroetano	0.005	0.5
DO29	1,1-Dicloroetileno	0.007	0.7
DO30	2,4-Dinitrotolueno	0.0005	0.13 ^c
DO12	Endrin	0.0002	0.02
DO31	Heptacloro y (su hidróxido)	0.00008	0.008
DO32	Hexaclorobenceno	0.0002	0.13 ^c
DO34	Hexacloroetano	0.03	3.0

Continuación Tabla 2.2.3

Número de Residuo Peligroso de la USEPA	Contaminante	Nivel de Toxicidad Crónica (mg/L)	Reglamentación (mg/L) ^a
DO13	Lindano	0.004	0.4
DO09	Mercurio	0.002	0.2
DO35	Etil metil cetona	2.0	200.0
DO14	Metoxicloro	0.1	10.0
DO36	Nitrobenceno	0.02	2.0
DO37	Pentaclorofenol	1.0	100.0
DO38	Piridina	0.04	5.0 ^c
DO11	Plata	0.05	5.0
DO08	Plomo	0.05	5.0
DO10	Selenio	0.01	1.0
DO39	Tetracloroetileno	0.007	0.7
DO19	Tetracloruro de Carbono	0.005	0.5
DO15	Toxafeno	0.005	0.5
DO40	Tricloroetileno	0.005	0.5
DO41	2,4,5-Triclorofenol	4.0	400.0
DO42	2,4,6-Triclorofenol	0.02	2.0
DO17	2,4,5-TP (Silvex)	0.01	1.0

Nota: Los niveles de toxicidad crónica se expusieron originalmente en 51 FR 21652-75.

^a Nivel de toxicidad crónica multiplicado por un factor de dilución, generalmente de 100.

^b En caso de que no se puedan diferenciar las concentraciones del o-, m- y p-cresol, se emplea una concentración de cresol total (DO26).

^c Si el límite de cuantificación es mayor que el nivel calculado, el límite de cuantificación se convierte en el nivel de reglamentación.

Fuente: The Hazardous Waste Consultant, Toxicity Characteristic Leaching Procedure Finalized, May-June 1990.

2.3 Comparación entre las pruebas EP y TCLP

La prueba TCLP que promulgó la USEPA, se utilizó dentro del programa de restricciones para la disposición en el suelo, con dos cambios principales: primero incluyó una hoja de flujo más detallada del procedimiento y en segundo lugar, se adicionaron más compañías a la lista de proveedores de equipo. Se debe aclarar que el procedimiento TCLP se retiró del Apéndice II de la parte 268, título 40 del Código de Reglamentos Federales (Code of Federal Regulations, CFR), donde se codifican las restricciones para la disposición en el suelo, y se colocó en la parte 261 del mismo Apéndice.

Las diferencias más significativas son [The Hazardous Waste Consultant, 1990]:

- La prueba TCLP especifica un extractor de cero espacio superior o "Zero-Headspace", el cual se debe emplear para compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Este dispositivo aparece en la Figura 2.2. Mientras que la prueba EP no señala algún diseño en especial. (Nota: la prueba TCLP especifica los compuestos considerados como VOCs).
- Se requiere del uso de un fluido lixivante más ácido para residuos más alcalinos (residuos con un pH > 5), con el fin de asegurar que la posible lixiviación de éstos no se subestime durante la prueba TCLP. El empleo de un medio de lixiviación predefinido, elimina el ajuste continuo de pH requerido por la prueba EP. (Esta última requería de ajustes de pH periódicos, cada 15 minutos durante 6 horas o más, cuando era necesario).
- El tiempo de extracción es de 18 horas para la prueba TCLP y de 24 horas para la prueba EP.

La ventaja más notable de la prueba TCLP sobre la EP, es que la primera se puede emplear para evaluar la movilidad de contaminantes orgánicos y/o inorgánicos.

En la Tabla 2.3 aparece un resumen de las principales diferencias entre las pruebas de toxicidad EP y TCLP.

2.4 Excepciones y demoras

Los fluidos dieléctricos y equipo eléctrico que contienen PCB's (Bifenilos Policlorados), están completamente reglamentados bajo el Acta de Control de Sustancias Tóxicas (Toxic Substances Control Act, TSCA) y son excepciones de la reglamentación del RCRA. Por lo tanto, aún si estos materiales exhiben características de toxicidad al someterse a la prueba TCLP, no serán regulados por el RCRA como residuos peligrosos. Sin embargo, todos los demás residuos que contengan PCB's están sujetos a las regulaciones del RCRA que sean aplicables [The Hazardous Waste Consultant, 1990].

Tabla 2.3 Comparación entre el Procedimiento de Extracción (EP) y el Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (TCLP)

Parámetro	Procedimiento de Extracción (EP)	Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad (TCLP)
Fluido de Extracción	Acido acético 0.5 N se adiciona a agua destilada desionizada hasta un pH de 5, con una adición máxima de 400 mL. Ajuste de pH continuo.	Solución de ácido acético 0.1 N (pH 2.9) para residuos desde moderados hasta altamente alcalinos y un buffer acético 0.1 N (pH 4.9) para otros residuos.
Separación líquido/sólido	Filtración a 0.45 μm con incrementos de 0.7 kg/cm^2 (10 psi) hasta 5.25 kg/cm^2 (75 psi). No se especifica el tipo de filtro.	Filtración con un filtro de fibra de vidrio de 0.6-0.8 μm a 3.5 kg/cm^2 (50 psi).
Material monolítico/reducción del tamaño de partículas	Emplea un Procedimiento de Integridad Estructural o pulverización y molienda.	Únicamente se utiliza la pulverización o la molienda.
Recipientes de Extracción	Diseño no especificado. Es aceptable un recipiente con paletas para agitación.	Se requiere un extractor de Cero Espacio Superior o de "Zero-Headspace" para los compuestos volátiles. Se utiliza un extractor de botella para los no volátiles.
Agitación	Cualquier dispositivo que proporcione una agitación adecuada.	Únicamente se permite la agitación rotatoria, con giros de 360 grados a 30 ± 2 rpm.
Tiempo de Extracción	24 horas.	18 horas.
Requerimientos de Control de Calidad	Requiere de la adición de patrones. Un blanco por lote de muestras.	En algunos casos requiere la adición de patrones. Un blanco por cada 10 extracciones y por cada nuevo lote de extracto. Análisis específico para el constituyente de interés.

Fuente: 51 FR 21678

The Hazardous Waste Consultant. Toxicity Characteristic Leaching Procedure Finalized. May-June 1990.

Además, la agencia ha demorado la decisión final respecto de los casos en que es aplicable esta prueba de toxicidad, a los medios y residuos contaminados con petróleo proveniente de Tanques de Almacenamiento Subterráneos (Underground Storage Tanks), USTs, los cuales están sujetos a las regulaciones RCRA UST en la parte 280, título 40 del CFR. La USEPA está preocupada por la posibilidad de que la regulación de tales residuos como peligrosos, pueda dificultar la limpieza bajo el programa UST. Hasta que se tome la decisión final, dichos residuos se exceptúan temporalmente de la regulación de residuos peligrosos, aún cuando exhiban la característica de toxicidad al someterse a la prueba TCLP.

Se debe aclarar que no se considerarán residuos peligrosos a aquéllos productos libres recuperados durante la limpieza de los Tanques de Almacenamiento Subterráneos (UST) de petróleo, a menos que éstos se liberen en el ambiente.

2.5 Relación con otras reglamentaciones

El Procedimiento para la Caracterización de un Lixiviado por su Toxicidad, prueba TCLP, tiene una repercusión importante para el manejo de residuos sólidos en las restricciones a la disposición en el suelo del RCRA, para residuos del Acta de Amplia Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, CERCLA), en varios residuos sólidos y aguas residuales. Sin embargo, los mayores impactos no se originaron por los cambios analíticos a la prueba EP, sino que surgieron por el establecimiento de los niveles de reglamentación para los nuevos constituyentes considerados en el lixiviado de un residuo. Estos niveles adicionales significan que una amplia variedad de residuos requerirán controlarse como peligrosos, especialmente bajo el subtítulo C del RCRA. [Simmons, 1991]

2.5.1 Restricciones para la disposición de la tierra

La prueba TCLP impone cambios importantes a los residuos que se disponen en el suelo. Una de las innovaciones fue señalar (en la parte 3004(g)(4) del RCRA) el requerimiento de establecer patrones de tratamiento para estos residuos, dentro de un plazo de 6 meses a partir su promulgación. Lo cual implica que los residuos sólidos que no son peligrosos se sometan a dicha prueba [Simmons, 1991].

Los suelos y desechos provenientes de actividades correctivas y de clausura, se considerarán como residuos peligrosos, para efectos de la reglamentación, si así lo señala la prueba TCLP. Se debe aclarar que la USEPA no intenta imponer como obligatorio el uso de este procedimiento para determinar la toxicidad de los residuos provenientes de dichas actividades.

2.5.2 Excepciones

Los residuos que se excluyen de la definición reglamentada de residuo peligroso, no están sujetos a la prueba TCLP. Entre éstos se encuentran los residuos domésticos y los de estudio especial (como el procedente de minas, el cual se espera que en un futuro se regule bajo el RCRA) [Simmons, 1991].

2.5.3 Otros Materiales Residuales

También se aplicará la prueba TCLP a la ceniza de los incineradores de residuos municipales, si esas unidades manejan cualquier residuo sólido no doméstico; de cualquier modo, no se espera que esta prueba afecte el estado de reglamentación de la ceniza. Este requerimiento resulta ser de mucha importancia para los municipios que planean utilizar la incineración como una estrategia básica para mitigar las cargas de residuos sólidos en los rellenos sanitarios, que son cada vez más difíciles de ubicar y operar. Además, esta prueba se aplicará al gas condensado y al lixiviado de los rellenos sanitarios de residuos sólidos municipales.

Los lodos provenientes de los trabajos de tratamiento de propiedad pública (Publicly Owned Treatment Works, POTWs), se someterán a esta prueba, a pesar de que éstos pronto se reglamentarán bajo el Acta de Agua Limpia (Clean Water Act) en la sección 405(d). No se espera que muchos lodos (POTWs) resulten tóxicos.

Los nuevos constituyentes se incluyeron en la lista de sustancias peligrosas del CERCLA, así como sus respectivas Cantidades Reportables (Reportable Quantities, RQs). Se debe aclarar que los valores de RQs se aplican al residuo en sí y no a los constituyentes individuales. La prueba TCLP, también se utilizará en las acciones de restauración del CERCLA, específicamente para tomar las decisiones relacionadas al manejo de residuos generados durante las acciones de limpieza.

2.5.4 Aguas Residuales

En lo que respecta a las aguas residuales de depósitos superficiales, la USEPA realizó un análisis extenso sobre las técnicas de manejo de residuos, mecanismos de atenuación y procesos geohidrológicos que gobiernan el transporte de los constituyentes en depósitos superficiales y concluyó que los DAFs para los constituyentes no degradables que se manejan en éstos depósitos, eran similares a aquéllos para los mismos constituyentes que se manejan en rellenos sanitarios municipales.

La prueba TCLP se aplicará a las aguas residuales de la misma forma que se aplica a otros residuos sólidos. Los niveles de regulación aplicables no se espera que cambien sustancialmente entre un escenario de mal manejo en un depósito superficial y en un relleno sanitario. Esta prueba se realizará en el punto de generación del agua residual, en lugar de llevarse a cabo en algún depósito de tratamiento de la misma.

Los propietarios/operadores de las instalaciones de tratamiento de agua residual que manipulan aguas que exhiben la característica de toxicidad, están sujetas a todas las precauciones aplicables por el Acta de Agua Limpia y el RCRA. Sin embargo, si éstos residuos se manejan en tanques en lugar de utilizar depósitos superficiales, éstos quedan exentos de las Normas del RCRA bajo la excepción "unidad de tratamiento de agua residual". En forma similar ocurre cuando se emplean las "Instalaciones de tratamiento totalmente cerradas". (Nota: éstos dos términos se definen en el título 40 del Código de Reglamentos Federales (Code of Federal Regulations, CFR), parte 260.10. [Ref, Mayo/Junio 1990].

En México la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE (actualmente Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL), elaboró la Norma Técnica Ecológica NTE-CRP-002/88, que establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Se puede obtener más información al respecto en el volumen II, número 11 de la Gaceta Ecológica (noviembre de 1990), que publica la SEDUE. Se debe hacer la aclaración que actualmente esta en revisión ésta Norma.