

# Método rápido para la determinación de fenol y pentaclorofenol en agua potable mediante HPLC con detección UV

Pedro Silva<sup>a</sup>, Lisbeth Manganiello<sup>a,b</sup>, Nancy Mendoza<sup>b</sup>, Cristóbal Vega<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>c</sup>Instituto de Matemáticas y Cálculo Aplicado (IMYCA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

## Resumen.-

La contaminación por Clorofenoles puede causar principalmente daños al hígado y al sistema inmunológico. Este trabajo presenta un método rápido, sensible y confiable para la determinación de fenol y pentaclorofenol. El criterio de selección de los analitos estudiados se realizó de acuerdo a la necesidad de determinar la concentración de la especie que define el grado de toxicidad de la matriz de agua potable. El pentaclorofenol con  $9 \mu\text{g/L}$  ya se encuentra en el límite máximo permisible, de esta manera se define como el compuesto más peligroso de la familia de los clorofenoles. Estos compuestos pueden formarse en el agua potable cuando se añade cloro durante los procesos de desinfección en presencia de fenol en aguas naturales o ya tratadas. La calibración de sistema HPLC con detección UV se llevó a cabo en el intervalo comprendido  $0,1 - 1,5 \text{ mg/L}$ . La precisión expresada como la desviación estándar relativa para  $1,0 \text{ mg/L}$  de pentaclorofenol y  $1,0 \text{ mg/L}$  de fenol ( $n = 11, P = 0,05$ ) fue  $0,1092$  y  $0,0850$  para cada compuesto respectivamente. Las muestras reales fueron preconcentradas en minicolumnas  $C_{18}$  y posteriormente evaluadas mediante el método propuesto.

**Palabras clave:** Pentaclorofenol, fenol, agua potable, HPLC–UV

## Rapid method for the determination of phenol and pentachlorophenol in drinking water by HPLC with UV detection

### Abstract.-

Chlorophenol contamination can cause mainly cause damage to the liver and the immune system. This work presents a rapid, sensitive and reliable method for the phenol and pentachlorophenol determination. The criteria for selection of the studied analite were conducted according to the need to determine the specie concentration that defines the degree of toxicity of drinking water matrix. With  $9 \mu\text{g/L}$  pentachlorophenol is already at the maximum allowable limit, in this way it is defined as the most dangerous of the chlorophenols family compound. These compounds can be formatted in drinking water when chlorine is added during the process of disinfection in the presence of phenol in natural or treated waters. The calibration of the HPLC system thus achieved is linear in the range  $0,1 - 1,5 \text{ mg/L}$ . The precision, expressed as relative standard deviation for  $1,0 \text{ mg/L}$  of pentachlorophenol and  $1,0 \text{ mg/L}$  of phenol ( $n = 11, P = 0,05$ ) was calculated for each one of the compounds. The values obtained were  $0,1092$  and  $0,0850$  respectively. The real samples were pre-concentration with a  $C_{18}$  minicolumn and subsequently evaluated by the proposed method.

**Keywords:** Pentachlorophenol, phenol, drinking water, HPLC–UV

Recibido: noviembre 2013

Aceptado: diciembre 2013.

\* Autor para correspondencia

Correo-e: lmanganiello@uc.edu.ve (Lisbeth Manganiello)

## 1. Introducción

El agua es el principal e imprescindible componente que posee el cuerpo humano, constituye alrededor de un 70 por ciento de nuestro peso corporal y sin ella es difícil imaginar alguna forma de vida. Se requiere agua para desintoxicar el cuerpo y mantener constante la temperatura. Por fortuna el volumen total de agua en la tierra es cercano a 1400 millones de metros cúbicos y cubre el 71 por ciento de la superficie terrestre. Aun así, en muchas partes no es fácil obtener las cantidades de agua lo bastante pura. Los principales ecosistemas y bióticas terrestres, así como los seres humanos, dependen del agua dulce, aquello cuyo contenido de sales es menor al 0,01 por ciento; sin embargo alrededor del 97,3 por ciento del agua es salada y se encuentra en mares y océanos. Del restante 2,7 por ciento de agua dulce; aproximadamente el 2,1 por ciento está concentrada en los casquetes polares y glaciares, el resto es agua profunda e inaccesible o se halla en la atmósfera, quedando asequible menos del 0,01 por ciento del agua total para el consumo. Ahora bien la evaporación de los océanos y las lluvias proveen sin interrupción este porcentaje, por lo que el agua dulce es un recurso renovable [1]. Si bien el volumen de agua no ha cambiado en los últimos 30 mil años, estos recursos no son inagotables ya que han sufrido un deterioro significativo en su calidad, debido al crecimiento de la población y sus actividades relacionadas [2].

Según el Programa Mundial de Evaluación de recursos hidráulicos, World Water Assessment Programme (WWAP), en los últimos 20 años ha habido un auge en el uso del agua dulce para la producción de alimentos y energía, con la finalidad de satisfacer la demanda de una población en constante aumento y de mejorar el bienestar humano; una tendencia que continúa así. No obstante la forma en que se usa el agua, tiene efectos negativos importantes que requieren una atención urgente que garantice la sostenibilidad. Casi todas las actividades industriales generan contaminantes, incluyendo la silvicultura insostenible despeje de tierras, incendios forestales y el aumento de la erosión), la minería (drenaje

de mina y aguas lixiviadas), eliminación de desechos (lixiviados de basureros, eliminación de basura en tierra y mar), acuicultura y maricultura (microbios, eutrofización y antibióticos) y producción y uso de hidrocarburos [3]. Se han detectado en muestras ambientales un gran número de sustancias peligrosas para la salud humana y/o el medio ambiente. Este es el caso de los contaminantes prioritarios, entre los que se incluyen los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los bifenilos policlorados, las dioxinas, los contaminantes fenólicos, especialmente los clorofenoles o ciertos pesticidas [4].

### 1.1. Toxicidad de los compuestos estudiados

Tabla 1: Clasificación de los compuestos fenólicos clorados según su toxicidad [6].

Puesto	Nombre del compuesto
53	Pentaclorofenol
83	2,4,6 – Triclorofenol
143	2,4,5 – Triclorofenol
176	Tetraclorofenol
179	Fenol
208	2,4 – diclorofenol
244	2 – clorofenol

Los clorofenoles se usan en un sin número de industrias y productos. Algunos se usan como pesticidas, otros se usan como antisépticos. Se caracterizan por tener un fuerte sabor y olor a medicamento. Es posible detectar el sabor de pequeñas cantidades de clorofenoles en agua. La exposición a altos niveles puede causar daño al hígado y al sistema inmunitario [5]. En la Tabla 1 se puede observar la clasificación de los distintos clorofenoles, incluyendo al fenol, dentro de las 275 sustancias más peligrosas en lo que se refiere a su toxicidad. Cabe destacar que la toxicidad disminuye al aumentar la posición en los puestos de clasificación.

El pentaclorofenol (*PCF*) es una sustancia sintética registrada originalmente como biocida de amplio espectro. Se manufactura a partir de otras sustancias químicas, y no ocurre naturalmente en el ambiente; es conocido con el

nombre de 1-hidroxi-2,3,4,5,6-pentaclorobenceno y su fórmula molecular es  $C_6HCl_5O$ . En gran parte del mundo presenta grandes aplicaciones industriales, agrícolas y domésticas como plaguicida. Puede ser liberado al ambiente siguiendo varias rutas. En principio puede volatilizarse a partir de madera tratada, de aguas superficiales o descargas residuales. Una vez en el aire puede dispersarse hasta sitios lejanos y regresar nuevamente a la tierra con la lluvia o nieve. Puede llegar a las aguas superficiales y subterráneas por lixiviación de los suelos, por la erosión, a través de descargas residuales o por la cloración del agua potable. En los cuerpos de agua puede depositarse y contaminar los sedimentos o puede ser consumido por organismos entrando a las cadenas tróficas. También puede llegar a los suelos como resultado de su uso como plaguicidas, por la degradación microbiana de otros contaminantes, el lavado de la madera tratada, los derrames industriales y los sitios de confinamiento de residuos peligrosos [7, 8, 9].

El PCF es uno de los clorofenoles de más difícil degradación y de mayor toxicidad. Es un compuesto lipofílico, persistente y acumulable. Puede ser absorbidos mediante la ingestión, inhalación y a través de la piel; distribuyéndose en todo el organismo y tendiendo a acumularse en el hígado, riñones, cerebro y grasa corporal. Resultados obtenidos en varios estudios de epidemiología sugieren que el PCF puede ser un carcinógeno humano; de hecho está clasificado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), como un probable carcinógeno para los humanos. Esta evaluación es apoyada por las conclusiones en estudios a roedores oral crónica con incidencias elevadas de tumores de hígado, la glándula adrenal y las fosas nasales [7]. El fenol se produce de manera natural, pues se encuentra en la lignina, y como resultado de la descomposición de materia orgánica o de la degradación de pesticidas clorofenoxicarbónicos y organofosforados. Comercialmente se obtiene mediante la oxidación parcial del cumeno ( $C_6H_5(CH_3)_2$ ) o tolueno ( $C_7H_8$ ) o por hidrólisis de clorobenceno ( $C_6H_5Cl$ ) en fase vapor [9]. Este

producto altamente tóxico se absorbe fácilmente por todas las vías de exposición. Algunos síntomas comunes luego de la exposición al fenol involucran al sistema gastrointestinal, ellos son: náusea, vómito, dolor abdominal y diarrea. Los efectos sistemáticos incluyen arritmias cardíacas, acidosis metabólica, hiperventilación, afección respiratoria, fallo renal agudo, daño renal, orina oscura, anemia por precipitación de glóbulos rojos, efectos neurológicos (incluidas convulsiones), choque cardiovascular, coma y muerte [9] y [10]. La EPA ha determinado que la exposición de por vida a 2 mg/L de fenol en el agua potable no causará efectos adversos en humanos [10]. Dados todos estos efectos adversos para la salud que producen las especies estudiadas, se hace necesario el desarrollo de un método rápido, sencillo, sensible y confiable para la determinación del fenol y pentaclorofenol en aguas de consumo humano, sometidas previamente a procesos de desinfección con cloro, este trabajo propone una metodología que permite la determinación de estos dos compuestos de interés.

## 2. Experimental

### 2.1. Reactivos y Equipos

*Reactivos.* Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico de alta pureza. Se utilizó agua ultra pura obtenida de MilliQ System (Millipore Co.). Todos los solventes utilizados fueron grado HPLC. Los patrones utilizados fueron suministrados por Sigma–Aldrich (Steinheim, Alemania) para el caso del pentaclorofenol y Baker Chemical Co. (New Jersey, Estados Unidos) para el Fenol.

*Sistema HPLC con detección UV.* Cromatógrafo Líquido de Alto Rendimiento modelo Hewlett Packard (HP) serie 1050, equipado con: Columna cromatográfica: C–18, Hewlett Packard, dimensiones (125 mm × 4 mm) y relleno 5  $\mu$ m. Bomba modelo 79851A, automuestreador modelo 79855A, detector UV/Vis de longitud de onda variable VWD modelo 79853C y PC equipado con el software Agilent Chemstation Versión A.10.02 para el control de todo el sistema cromatográfico.

## 2.2. Muestra

Para la toma de muestras de agua potable, fue realizado un muestreo aleatorio simple, uniforme por conglomerado, cada conglomerado correspondió a distintos sectores de la Gran Valencia. Las herramientas del tamaño y selección de la muestra fueron realizadas en el Laboratorio de Procesos Estocásticos de IMYCA, tomando en cuenta el protocolo de la recolección de muestras establecido por las Normas COVENIN [11].

### Recolección de la muestra

Después de la selección de la muestra, las muestras se tomaron directamente del grifo de las viviendas, haciendo uso de recipientes de vidrio de color ámbar; que previamente fueron tratadas con una solución de potasa alcohólica al 10 % durante una hora, enjuagada tres veces con agua destilada y tres veces con agua desionizada. Finalmente los envases se secaron en una estufa a 60°C. Durante la captación de las muestras se verificó que la punta del grifo estuviera limpia y seca, luego se dejó fluir libremente el agua durante 5 minutos, se recolectó la muestra y se tapó inmediatamente, finalmente se almacenó en refrigeración, hasta el momento del análisis [11].

### Preparación de la muestra

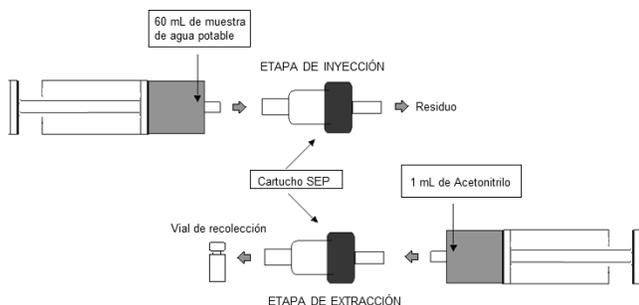


Figura 1: Sistema de pre-concentración de la muestra de agua potable.

Cada muestra de agua recolectada se le determinó el pH. Se filtró al vacío utilizando membranas de acetato de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  Durapore. Posteriormente los compuestos de interés fueron pre-concentrados utilizando cartuchos (minicolumnas) C-18, Sep-Pack, marca Waters.

El cartucho fue previamente acondicionado de la siguiente manera: se le hizo pasar previamente 3 mL de metanol grado HPLC, luego 4 mL de una solución 50 % metanol y 50 % acetoneitrilo y finalmente se pasaron 4 mL de una solución de composición 50 % agua 50 % acetoneitrilo. En la Figura 1 se muestra el sistema utilizado para pre-concentración de la muestra. Para la pre-concentración de la muestra se tomaron 60 mL de la muestra de agua potable y se introdujeron al sistema mediante una inyectora. Para la recolección del concentrado se introdujo 1 mL de acetoneitrilo, dando como resultado un factor de concentración de 60 veces. Finalmente los extractos fueron inyectados al sistema cromatográfico previamente calibrado.

## 3. Discusión de Resultados

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un método rápido, sencillo y confiable para la determinación de fenol y pentaclorofenol, dos sustancias altamente tóxicas a muy bajas concentraciones en agua potable, experimentos preliminares muestran que variables operacionales tales como selección de la longitud óptima de trabajo ( $\lambda$ ), el volumen de inyección y la composición de la fase móvil, fueron estudiadas a fin de determinar las condiciones más adecuadas para la determinación de los analitos de interés. La velocidad de flujo se mantuvo constante a 1 mL/min.

### 3.1. Optimización de Variables operacionales

**Longitud de onda ( $\lambda$ ) de trabajo.** Se estudiaron tres valores de longitudes de onda ( $\lambda$ ):  $\lambda = 224 \text{ nm}$ ,  $\lambda = 268 \text{ nm}$  y  $\lambda = 344 \text{ nm}$ , con la finalidad de determinar el mejor valor para la detección de las especies estudiadas. Resultando el valor de  $\lambda = 268 \text{ nm}$  idóneo para la detección de pentaclorofenol y fenol. La línea base del sistema presenta mucho ruido en el valor de  $\lambda = 224 \text{ nm}$  y para  $\lambda = 344 \text{ nm}$  no se detecta el pico cromatográfico para el fenol y no se define la señal para el pentaclorofenol.

*Volumen de inyección.* Se estudiaron volúmenes de inyección de 5, 10, 15 y 20  $\mu\text{L}$ , de acuerdo a los resultados obtenidos se selecciono un volumen de inyección de 15  $\mu\text{L}$ . Para volúmenes por debajo de este valor se observa señales cromatografías para ambos compuestos poco definidas. Para el valor de 20  $\mu\text{L}$ , los resultados obtenidos muestran que no existe mayor variación con respecto al valor de 15  $\mu\text{L}$ .

*Composición de la Fase Móvil.* Se preparo inicialmente la fase móvil basada en la literatura consultada [12] con la siguiente composición: 75 % acetonitrilo y 25 % agua, con adición de fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), como agente amortiguador de pH a una concentración de 10 mM a pH 7. Los resultados obtenidos muestran que los tiempos de elusión para el pentaclorofenol y el fenol se presentaron muy cercanos, lo cual no es deseable para la separación porque los picos de ambas especies tienden a solaparse. Se estudiaron las estructuras químicas de ambas especies determinándose de esta manera cambiar la fase móvil por una composición menos polar sustituyendo el agua por el metanol resultando la siguiente composición: 75 % acetonitrilo y 25 % metanol, esto con la finalidad de que el fenol presente una mayor afinidad por la fase estacionaria ( $\text{C}_{18}$ ), lo cual se traduce en un mayor tiempo de retención. El pentaclorofenol al presentar en su estructura átomos de cloro, su afinidad esta mas inclinada hacia la fase móvil, resultando en un tiempo menor en el sistema HPLC y por lo tanto esta especie se eluye primero que el fenol, mejorando de esta manera notablemente la separación. Otra de las razones que sustentan el cambio de fase móvil es la evitar el uso de sales en los sistemas HPLC, la posibilidad de presentar precipitación de sales es un compromiso que debe ser tomado en cuenta a la hora de preparar fases móviles, este hecho repercute en la vida útil de la columna cromatografica, ya que la tendencia de formar precipitados puede obstruir la columna. Por lo tanto no se utilizo el fosfato monobásico de potasio debido a que es poco soluble y con predisposición a precipitarse.

La Figura 2 muestra la secuencia de cromatogramas obtenidos para la separación de pentaclorofenol y fenol de acuerdo a las condiciones operacionales optimizadas. Se analizaron muestras patrones de pentaclorofenol 1 ppm y fenol 1 ppm diluidos en fase móvil. En la Figura 2 (A) y (B) el pico cromatográfico para el pentaclorofenol eluye en un tiempo de de 0,730 min y el fenol tiene de retención de 1,220 min. El resultado obtenido presenta picos con tiempos de retención bien definidos entre sí. La Figura 2 (C) muestra la separación de la mezcla formada por 1 ppm de fenol y 1 ppm de pentaclorofenol diluida en fase móvil, lográndose así una buena separación de ambas especies. La Tabla 2 resume las condiciones operacionales optimizadas para el método propuesto.

Tabla 2: Variables operacionales optimizadas para el equipo de HPLC con detección UV.

Parámetros	Valores
Flujo de bomba	1 mL/min.
Volumen de inyección de la muestra	15 $\mu\text{L}$
Longitud de onda	268 nm
Fase Móvil	75 % acetonitrilo y 25 % metanol

togramas obtenidos para la separación de pentaclorofenol y fenol de acuerdo a las condiciones operacionales optimizadas. Se analizaron muestras patrones de pentaclorofenol 1 ppm y fenol 1 ppm diluidos en fase móvil. En la Figura 2 (A) y (B) el pico cromatográfico para el pentaclorofenol eluye en un tiempo de de 0,730 min y el fenol tiene de retención de 1,220 min. El resultado obtenido presenta picos con tiempos de retención bien definidos entre sí. La Figura 2 (C) muestra la separación de la mezcla formada por 1 ppm de fenol y 1 ppm de pentaclorofenol diluida en fase móvil, lográndose así una buena separación de ambas especies. La Tabla 2 resume las condiciones operacionales optimizadas para el método propuesto.

### 3.2. Figuras de merito del método propuesto

La Tabla 3 muestra las figuras de mérito del método propuesto para la determinación de Fenol y Pentaclorofenol en muestras de agua potable. Se analizaron por duplicado mezclas de patrones de las especies estudiadas en concentraciones de: 0,1 ppm; 0,3 ppm; 0,5 ppm; 0,7 ppm; 1,0 ppm y 1,5 ppm en el equipo de HPLC con detección UV. A partir de los datos obtenidos se construyeron las curvas de calibración tomando en consideración las áreas promedios de los picos. La sensibilidad del método para cada especie de interés fueron: 16,6960 área de pico/ppm para el pentaclorofenol y 13,4010 área de pico/ppm para el fenol. La precisión del método expresada como la desviación estándar relativa para un patrón de mezcla de concentración de 1,0 ppm fue: 0,1092 y

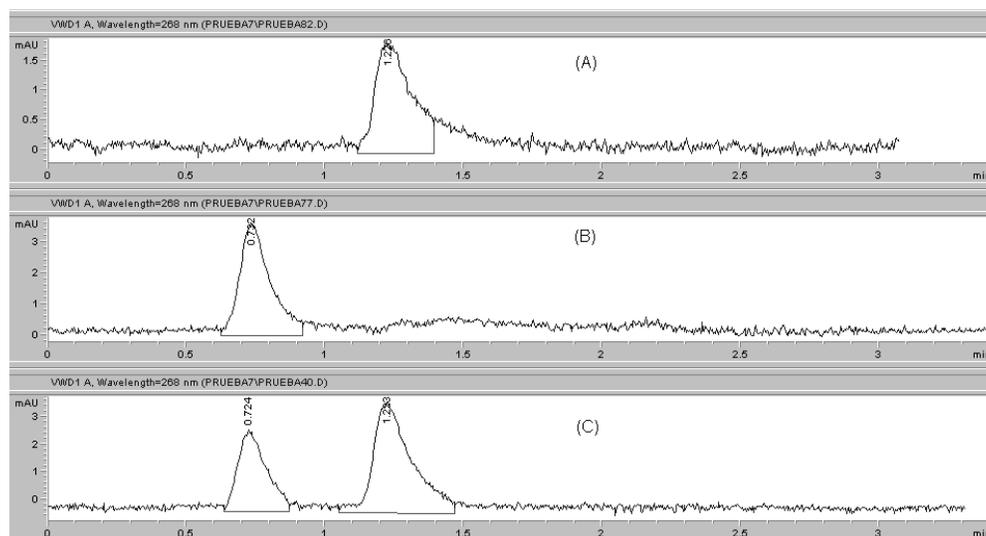


Figura 2: Secuencia de cromatogramas obtenidos para muestras patrones diluidas en fase móvil. (A) fenol [1 ppm], (B) pentaclorofenol [1 ppm] y (C) Mezcla fenol [1ppm] y pentaclorofenol [1ppm] obtenidos a las siguientes condiciones de operación: flujo 1 mL/min,  $\lambda = 268$  nm, Fase Móvil: 75 % acetonitrilo y 25 % metanol volumen de inyección 15  $\mu$ L.

Tabla 3: Figuras de mérito del método propuesto para la determinación de fenol y pentaclorofenol en agua potable.

Especies estudiadas	Pentaclorofenol	Fenol
Ecuación ( $\star$ ) ( $n = 12$ )	$S' = 16,6960C' + 0,5925$	$S' = 13,4010C' + 1,6316$
Coefficiente de regresión lineal	0,9986	0,9978
Coefficiente $R^2$	0,9973	0,9957
Desviación estándar relativa	0,1092	0,0850
Rango de determinaciones(mg/L)	0,1000 – 1,5000	0,1000 – 1,5000
Límite de detección ( $\star\star$ )(mg/L)	0,0300	0,0300

$\star$  Variable dependiente  $S'$ : área de pico, mAU.s

Variable independiente  $C'$ : concentración de las especies estudiadas, mg/L

$\star\star$  Definida como la señal del blanco más tres veces la desviación estándar

0,0850 ( $n = 11$ ,  $P = 0,05$ ) para pentaclorofenol y fenol respectivamente.

### 3.3. Aplicabilidad del método propuesto

La aplicabilidad del método propuesto fue inicialmente chequeada analizando muestras sintéticas conteniendo las dos especies estudiadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4. Las diferencias entre las concentraciones encontradas y añadidas para muestras sintéticas que contienen fenol y pentaclorofenol presentan un error promedio de 6,35 % para el fenol y 2,66 % para el pentaclorofenol. La prueba  $t$  Students para muestras emparejadas, indican el  $t$ -valor estimado para el

fenol de  $-0,1261$ , el  $t$ -valor crítico para una cola es 1,9431. Luego, es aceptada la hipótesis nula, es decir, que no existen diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones añadidas y las concentraciones encontradas. Similarmente, el valor del  $t$ -valor estimado para el pentaclorofenol obtenido fue  $-0,236$ , siendo éste valor menor del valor  $t$ -valor crítico para una cola. Así está dentro del área de aceptación de la hipótesis nula, entonces no existe diferencia significativa entre las concentraciones añadidas y las concentraciones encontradas. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados, el método de Cromatografía Líquida con detección UV, propuesto en el presente trabajo,

Tabla 4: Determinación de fenol y pentaclorofenol (P.C.F) en diferentes muestras sintéticos mediante HPLC–UV.

Muestra	Analito	Concentración añadida (mg/L)	Concentración Obtenida (mg/L)	Error (%)
1	P.C.F	0,50	0,48	4,00
	Fenol	0,50	0,55	-10,00
2	P.C.F	0,70	0,73	-4,28
	Fenol	0,70	0,61	12,86
3	P.C.F	0,70	0,72	-2,00
	Fenol	0,70	0,76	-8,57
4	P.C.F	1,00	1,02	-2,00
	Fenol	1,00	0,95	5,00
5	P.C.F	1,00	1,01	-1,00
	Fenol	1,00	1,02	-2,00
6	P.C.F	1,50	1,52	-1,33
	Fenol	1,50	1,47	2,00
7	P.C.F	1,50	1,44	4,00
	Fenol	1,50	1,56	4,00

Tabla 5: Áreas registradas y concentraciones obtenidas en muestras reales de fenol y pentaclorofenol aplicando el método propuesto.

Muestras	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Área Fenol (mAU·s)	12,2510	12,8910	6,6944	14,5839	11,7892	0,0000	8,5501
Concentración Fenol (ppm)	0,0126	0,0135	0,0050	0,0158	0,0120	0,0000	0,0075
Área P.C.F (mAU·s)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6,1695	0,0000
Concentración P.C.F (ppm)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0054	0,0000

para la identificación y determinación de fenol y pentaclorofenol puede ser aplicado a muestras reales de aguas destinadas al consumo humano. La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos para muestras reales aplicando el método propuesto con un factor de preconcentración de la muestra de 60:1. Este procedimiento se realizó con la finalidad de que las muestras reales analizadas entren dentro de las curvas de calibración preparadas para el método propuesto.

#### 3.4. Comparación de los valores obtenidos para las muestras reales con la normativa legal

La Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, número 36.395, establece que el valor máximo permitido para el pentaclorofenol es de 9  $\mu\text{g/L}$  (9 ppb). En la muestras M1, M2, M3, M4, M5 y M7 no se reportan valores para la concentración del compuesto, la muestra M6 presenta

un valor por debajo del máximo permisible [11]. Para el caso del fenol las leyes Venezolanas no presentan un valor máximo autorizado para la concentración de este compuesto; por lo tanto se asume que el máximo permisible para éste compuesto es de 2 mg/L (2ppm), basándose en que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) [10], en consecuencia, todas las muestras determinadas mediante el método propuesto se encuentran por debajo de éste valor.

## 4. Conclusiones

Los resultados del presente trabajo demuestran el método propuesto para la determinación de pentaclorofenol y fenol en muestras de agua potable mediante HPLC con detección UV es aplicable a muestras reales con límites de detección capaces de determinar los valores máximos

permisibles establecidos por la normativa nacional e internacional para el caso del pentaclorofenol y el fenol respectivamente. El método propuesto presenta además tiempo de análisis rápidos y confiables. Características deseables a la hora de evaluar la calidad del agua destinada a consumo humano que ha pasado previamente por un proceso de potabilización.

### Agradecimientos

A la dirección general de la Malariología por suministrar el Patrón puro de Pentaclorofenol (sustancia únicamente suministrada por organismo gubernamentales). Al equipo del Centro de Investigaciones Química (CIQ) de la Facultad de Ingeniería y al financiamiento del FONACIT al Laboratorio de Procesos Estocásticos del IMYCA.

*Un avance de este Trabajo fue presentado en la LXII Convención Anual de ASOVAC, noviembre 2012, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela.*

### Referencias

- [1] Nebel, B. y Wright, R. (1999). Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. (sexta edición). México: Prentice Hall. pp. 263–289: 345–369.
- [2] PNUMA. (2003) Informe GEO América Latina y el Caribe. Perspectiva del Medio Ambiente. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Costa Rica. (pp. 79–85).
- [3] PNUMA. (2007). Perspectiva del Medio Ambiente Mundial GEO-4. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Dinamarca. (pp.115-121).
- [4] Colin, Baird. (2004). Química Ambiental. (Segunda edición). Barcelona, España: Reverte S.A. (pp. 305 – 319, 485, 486 y 487).
- [5] ATSDR. (1999). Reseña Toxicológica de los Clorofenoles. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Atlanta, Georgia.
- [6] ATSDR (2011). Priority List of Hazardous Substances. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Services. Atlanta, Georgia.
- [7] ATSDR. (2001). Toxicological Profile for Pentachlorophenol. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Services. Atlanta, Georgia.
- [8] Hattemer–Frey, H. y Travis, C. (1989) Pentachlorophenol: environmental partitioning and human exposure. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18, pp. 482–489.
- [9] Castro, J., Fernandez, B. y Yarto, M. (2004). Las Sustancias Tóxicas Persistentes. Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. México.
- [10] ATSDR. (2008). Toxicological Profile for Phenol. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Services. Atlanta, Georgia
- [11] MSAS. (1998). Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Gaceta Oficial de la República de Venezuela número 36.395.
- [12] Sharlau. (1998). Manual de accesorios y consumibles. Sharlau, Barcelona, España