

Estudio de la eficacia de la botella NKD POD+: seguridad de su sistema de filtrado para el combatiente

Garavís González J.¹, Moreno Talavera I.², Pérez Alcalde B.³, Vírveda Chamorro IJ⁴

Sanidad mil. 2018; 74 (2): 79-83, ISSN: 1887-8571

RESUMEN

Antecedentes y objetivos: Actualmente, los miembros de las Fuerzas Armadas utilizan desinfectantes en forma de pastillas para potabilizar el agua. Recientemente, se estudió la posibilidad de introducir en el material de dotación del combatiente un tipo de botella con un sistema de filtrado novedoso, la botella Nkd POD+. El objetivo principal de este estudio es analizar la eficacia del sistema de filtrado de dicha botella para valorar su uso en las Fuerzas Armadas Españolas, de tal manera que, cualquier agua contaminada que sea filtrada y consumida, no suponga ningún riesgo para la salud. Para ello, en el Laboratorio de Análisis de Aguas del Instituto de Toxicología de la Defensa se realizaron ensayos químicos y microbiológicos de diferentes muestras de agua para determinar la eficacia del filtro para eliminar metales pesados, plaguicidas, nitratos y microorganismos del agua. **Material y métodos:** Para realizar los ensayos se han preparado muestras utilizando agua destilada y disoluciones patrón certificadas de los contaminantes. Posteriormente las muestras fueron filtradas con la botella. Se analizaron las muestras antes y después del filtrado, para los nitritos el análisis se realizó mediante espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV-Vis), los metales pesados mediante plasma de acoplamiento inductivo acoplado a espectrometría de masas (ICP-MS) y los plaguicidas mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG/MS). **Resultados:** Se comprobó que el filtro apenas elimina metales pesados. Los pesticidas en concentraciones de 1 µg/L son retenidos adecuadamente por la botella, pero a concentraciones de 10 µg/L, lo son en menor medida. Respecto a los nitratos se observó un aumento respecto a la concentración inicial en la muestra filtrada. En el ensayo microbiológico, el sistema de filtrado únicamente retiene las bacterias grandes con un tamaño superior a 0.45 µm, siendo totalmente ineficaz para las pequeñas como enterococos. **Conclusiones:** la botella Nkd POD+ genera una falsa sensación de seguridad, ya que no cumple con los requisitos ofrecidos y pone en riesgo la salud del combatiente.

PALABRAS CLAVE: Botella Nkd POD+, Filtro, Agua, Seguridad del agua.

Study of the NKD POD+ bottle efficacy: analysis of its safety filtering system

SUMMARY: Background and objectives: Nowadays, the Army uses disinfectant tablets to purify water. Recently, it was hinted the possibility of including in our combatants' equipment a special kind of bottle with a new filtering system, the NKD POD+. The main objective of this research is to analyse the efficacy of this bottle filtering system in order to assess its possible use by Spanish Army so as to allow the filtering of any type of water which, once drunk, implies no health risk. In order to do so, the Laboratorio de Análisis de Aguas (Water Analysis Lab) of the Instituto de Toxicología de la Defensa (Defence Toxicology Institute) performed chemical and microbiological tests on different water samples to assess the degree of efficacy of the filter in order to eliminate heavy metals, pesticides, nitrates and water microorganisms. **Materials and method:** In order to conduct the tests, different samples with distilled water and certified patron solutions of the contaminants were used. Later, these samples were filtered through the bottle. The samples were analyses prior and after the filtering process. The analysis of the nitrites was conducted with visible ultraviolet spectroscopy (UV-Vis), heavy metals through inductive coupling plasma, coupled to mass spectrometry (ICP-MS), and pesticides through coupling gas chromatography to mass spectrometry (CG/MS). **Results:** It was proved that the water filter had hardly eliminated heavy metals. Pesticides in concentration of 1 µg/L were properly filtered by the bottle but to a lesser extent for concentrations of 10 µg/L. Regarding nitrites, it was observed an increase with respect to the original concentration in the filtered sample. In the microbiological test, the filtering system only retained those particles bigger than 0.45 µm, being totally ineffective with the tiniest ones such as enterococcus. **Conclusions:** The Nkd POD+ bottle generates a false feeling of safety as it does not meet the necessary requirements and compromises the combatants' health.

KEYWORDS: Nkd POD+ bottle, Filter, Water, Water safety.

¹ Tte. Farmacéutico. Escuela Militar de Sanidad (EMISAN). IMIDEF. Madrid. España.

² Alumna Universidad Complutense, Facultad de CC. Químicas. Madrid. España.

³ Cap. Farmacéutico. Agrupación de Sanidad 1 (AGRUSAN 1). IMIDEF. Madrid. España.

⁴ Tcol. Farmacéutico. Instituto de toxicología de la Defensa (ITOXDEF). IMIDEF. Madrid. España.

Dirección para correspondencia: Javier Garavís González. Instituto de Toxicología de la Defensa. Hospital Central de la Defensa "Gómez Ulla". Edificio Mínimos – 6ª planta. Glorieta del Ejército 1. 28047 Madrid. España. jgarg44@mde.es

Recibido: 12 de enero de 2018

Aceptado: 26 de febrero de 2018

doi: 10.4321/S1887-85712018000200003

INTRODUCCIÓN

Es fundamental asegurar que el agua de consumo cumpla con los estándares de calidad admitidos por la OMS y la legislación aplicable a este tipo de producto. Las enfermedades ligadas al consumir agua contaminada son numerosas^{1,2}, por lo que la utilización de agua potable permitiría reducir de forma significativa la exposición de las poblaciones a dichas enfermedades, siendo considerables los beneficios para la salud³.

Una de las actividades que desarrolla el farmacéutico militar es la vigilancia sanitaria del agua en operaciones. Para ello, se verifica, investiga y comprueba el cumplimiento de la legislación y se analiza la calidad del agua con el fin de proteger la salud del combatiente. El consumo de agua que no cumple los estándares de calidad debe considerarse un riesgo.

La OTAN, mediante el STANAG 2136_AMedP-4.9, establece los requisitos que debe cumplir el agua potable en zona de operaciones y en situaciones de emergencia⁴. Un agua no apta para el consumo humano en Zona de Operaciones, aparte de presentar deficientes condiciones organolépticas, podría causar efectos tóxicos directos, suponer un peligro de deshidratación y un riesgo para el desarrollo de la operación.

Hasta ahora, en situaciones especiales, los miembros de las Fuerzas Armadas usan desinfectantes, en forma de pastillas potabilizadoras (depuradores de agua DEF, dicloroisocianurato sódico 18 mg), para el tratamiento de pequeños volúmenes de agua para consumo humano personal.

Actualmente, se ha mostrado especial interés por las nuevas botellas con sistemas de filtrado de agua que pretenden garantizar la eliminación de los contaminantes y purificación del agua en el mismo momento en la que es bebida. Una de estas botellas con sistema de filtrado es la Nkd POD+⁵. La aparición en el mercado de la botella Nkd POD+ podría ser muy provechosa para las Fuerzas Armadas, a priori. Su inclusión sería beneficiosa para casos de emergencia donde no se disponga de agua potable apta para el consumo humano.

Se valoró adquirir la botella Nkd POD+ para su uso como material de dotación para los combatientes de las Fuerzas Armadas Españolas. Esta botella se comercializa en base a las ventajas que supone el sistema de filtrado del que está provista. La casa comercial asegura que su filtro retiene el 99,9% de contaminantes químicos y microbiológicos gracias a su tecnología antibacteriana, una capa de carbón activo y un sistema de ionización de minerales naturales que incrementa el nivel de antioxidantes naturales y alcaliniza el agua, de esta forma sería seguro consumir agua de cualquier fuente, incluidos lagos, ríos, arroyos o estanques⁵.

En la página web de la botella Nkd POD+ se enumeran los elementos y microorganismos que elimina el filtro, destacando virus Norwalk, el virus de la hepatitis A (VHA), Enterovirus, Reovirus, *E. coli*, Coliformes, *Vibrio cholerae*, *Shigella spp*, *Campylobacter spp*, *Leptospira spp*, *Cryptosporidium spp* o *Giardia lamblia*. Entre los metales que también garantiza eliminar se encuentran: cromo, mercurio, níquel, cobre, hierro, plomo, oro, plata y aluminio⁵.

Aunque no hace ninguna referencia a su capacidad de eliminar plaguicidas, en las Fuerzas Armadas resulta interesante conocer si el filtro de la botella retiene pesticidas debido a que muchas aguas continentales y subterráneas pueden estar contaminadas por estos compuestos de uso común en agricultura y ganadería. Debido a esto, por parte del laboratorio de aguas de referencia del ITOXDEF, acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), se decidió incluir un estudio de la eficacia del filtro frente a plaguicidas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron los siguientes ensayos:

1. Determinación de la eficacia del filtro para eliminar metales pesados del agua.
2. Determinación de la eficacia del filtro para eliminar plaguicidas del agua.
3. Determinación de la eficacia del filtro para eliminar nitratos del agua.
4. Determinación de la eficacia del filtro para eliminar microorganismos del agua.

Para realizar los ensayos mencionados en el apartado anterior, se han preparado muestras utilizando agua destilada y disoluciones patrón certificadas de ciertos contaminantes de los que se dispone en el laboratorio de aguas de referencia del ITOXDEF. Estos contaminantes son metales pesados, nitratos, pesticidas y bacterias.

Para los ensayos de metales pesados, nitratos y pesticidas se han contaminado como premisa dos muestras de agua a diferentes concentraciones, una alta y otra baja, ambas por encima de los valores paramétricos recogidos en el Real Decreto 140/2003⁶, y que se detallan en los próximos párrafos. En todos los ensayos, a la muestra de agua con baja concentración de contaminantes (concentración próxima a los valores legislados) se la denomina muestra A, y a la que contiene una concentración muy por encima de dichos valores paramétricos legislados, muestra B. En la figura 1 se representa la metodología general empleada en los estudios realizados.

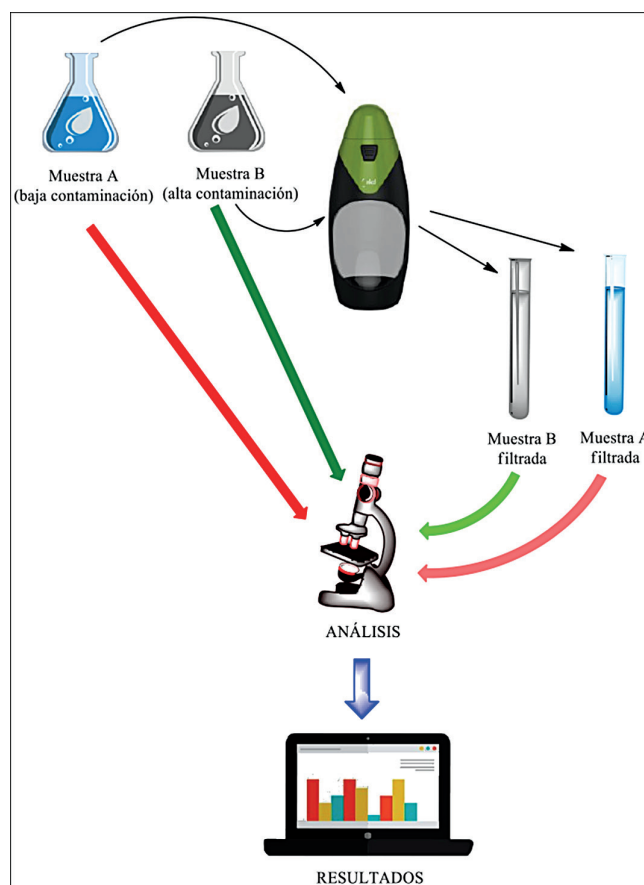


Figura 1. Esquema del método empleado para realizar los ensayos.

Metales pesados

Las muestras contaminadas con metales pesados se prepararon a partir de una disolución multielemental con Cu, Ni, Cd, U, Pb, Cr y Tl de concentración 10 mg/L (*Merck solution XXI*).

Se realizaron los siguientes cálculos a partir de la siguiente fórmula para preparar las muestras de agua contaminadas con estos metales pesados:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Siendo C_1 la concentración de la disolución patrón (10 mg/L), V_1 el volumen necesario de la disolución patrón para preparar la muestra, C_2 la concentración de dicha muestra y V_2 el volumen final de la muestra (5 L).

Para la muestra A, C_2 es 10 µg/L, por lo que V_1 son 5 mL.

Para la muestra B, C_2 es 60 µg/L, por lo que V_1 son 30 mL.

Una vez preparadas las muestras A y B, se apartó una alícuota de volumen suficiente para ser analizada posteriormente. El resto de cada muestra se filtró a través de la botella Nkd POD+ y se recogió el agua filtrada para su análisis.

El análisis cuantitativo de la concentración de los metales pesados en cada muestra de agua se realizó mediante la técnica ICP/MS (*NexIon Perkin Elmer*)

Nitratos

Las muestras contaminadas con nitratos se prepararon a partir de una disolución de nitratos (*Certipur® 1000 mg /L Merk Millipore*).

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Siendo C_1 la concentración de la disolución patrón (1000 mg/L), V_1 el volumen necesario de la disolución patrón para preparar la muestra, C_2 la concentración de dicha muestra y V_2 el volumen final de la muestra (500 mL).

Para la muestra A, C_2 es 80 mg/L, por lo que V_1 son 40 mL.

Para la muestra B, C_2 es 120 mg/L, por lo que V_1 son 60 mL.

Una vez preparadas las muestras A y B, se apartó una alícuota de volumen suficiente para ser analizada posteriormente. El resto de cada muestra se filtró a través de la botella Nkd POD+ y se recogió el agua filtrada para su análisis.

El análisis cuantitativo de la concentración de nitratos en cada muestra de agua se realizó por cromatografía iónica (*Mertrhom*)

Pesticidas

Las muestras contaminadas con pesticidas se prepararon a partir de una disolución madre que contiene los siguientes pesticidas: simazina, acenaftileno, fluoreno, lindano, fenantreno, antraceno, pireno, protiofos, dieldrin, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno y benzo(a)pireno con concentración 500 µg/mL (PAH MIX Sulpelco) de 5 µg/mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Siendo C_1 la concentración de la disolución patrón (5 µg/L), V_1 el volumen necesario de la disolución patrón para preparar la muestra, C_2 la concentración de dicha muestra y V_2 el volumen final de la muestra (5 L).

Para la muestra A, C_2 es 1 µg/L, por lo que V_1 son 1 mL.

Para la muestra B, C_2 es 10 µg/L, por lo que V_1 son 10 mL.

Una vez preparadas las muestras A y B, se apartó una alícuota en volumen suficiente para ser analizada posteriormente. El resto de cada muestra se filtró a través de la botella Nkd POD+ y se recogió el agua filtrada para su análisis.

El análisis cuantitativo de la concentración de pesticidas en cada muestra de agua se realizó por la técnica GC/MS (cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas de *Agilent Technologies*)

Microbiología

Para el estudio microbiológico se contaminó una muestra con microorganismos procedentes de cepas bacterianas de la Colección Española de Cultivos Tipo: *Enterococcus faecalis* CECT 184, *Escherichia coli* CECT 515 y *Citrobacter freundii* CECT 401.

Estas cepas se sembraron en sus correspondientes medios selectivos: agar cromogénico para *C. freundii* y *E. coli* (*Readyplate 55 CCA, Millipore*) y Slanetz (*Readyplate 55 Slanetz Millipore*) y bilis-esculina (Bile Esculine Azide Scharlab) para *E. faecalis*. Se preparó un vial con agua destilada estéril, denominado vial 1; 3 tubos de ensayo con 10 mL de agua destilada esterilizados, denominados tubos 1, 2 y 3; y un matraz aforado de 1 L de capacidad, el cual contiene la muestra a analizar.

A partir del cultivo puro se transfirieron colonias al vial 1 hasta conseguir una turbidez de 0,7 unidades de McFarland. Se realizaron una batería de disoluciones: inoculando 100 µL del vial 1 al tubo 1; de este se pipetearon 100 µL al tubo 2; y de la misma forma se trasvasaron 300 µL al tubo 3. De este último se tomó una alícuota de 1 mL y se inoculó al matraz con 1 L de agua destilada estéril. Este procedimiento queda reflejado en la

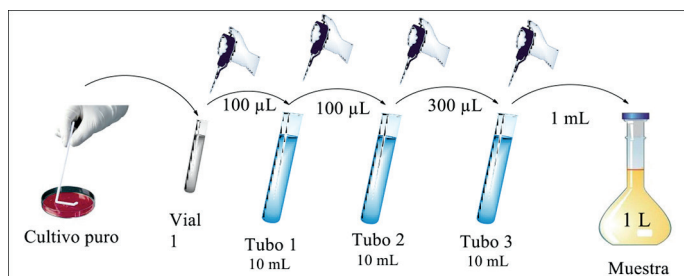


Figura 2. Esquema de las diluciones seriadas realizadas en el ensayo microbiológico.

figura 2.

Una vez preparada la muestra, se apartó una alícuota (alícuota A) de 500 mL para ser analizada posteriormente. El resto de la muestra se filtró con la botella Nkd POD+ y se recogieron 500 mL del agua filtrada (alícuota B).

El ensayo bacteriológico se realizó de la siguiente manera:

Para la determinación de bacterias coliformes: *C. freundii* y *E. coli* (microorganismos fermentadores de la lactosa), se filtraron 100 mL de cada alícuota con un filtro de membrana de tamaño de poro 0,45 µm. Se cultivaron en a 36°±1C duran-

Tabla 1. Resultados de los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de metales (muestra B).

Plaguicidas	Muestra A			Muestra B		
	Antes	Después	% de pérdida	Antes	Después	% de pérdida
Simazina	259,3	0	100,00	1421,81	67,5	90,94
Acenafitileno	36,68	0	100,00	351,33	42,39	78,47
Fluoreno	23,44	0	100,00	300,27	84,71	55,99
Lindano	607,84	0	100,00	4499,53	311,97	87,03
Fenantreno	22,33	0	100,00	242,53	90,58	45,62
Antraceno	12,72	0	100,00	237,62	63,04	58,07
Pireno	19,07	0	100,00	255,53	64,08	59,90
Dieldrin	346,17	338,35	1,14	4160,55	339,5	84,91
Benzo(a)antraceno	10,17	0	100,00	1347,45	132,33	82,11
Criseno	20,78	0	100,00	1430,99	186,6	76,93
Benzo(b)fluoranteno	8,79	0	100,00	2091,3	59,17	94,50
Benzo(K)fluoranteno	25,08	0	100,00	3022,2	145,5	90,81
Benzo(a)pireno	18,34	0	100,00	2080,7	105,19	90,38

Tabla 2. Concentraciones de metales ($\mu\text{g/L}$) en los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de plaguicidas (muestra B).

Concentración ($\mu\text{g/L}$)	Muestra A			Muestra B		
	Antes	Después	Pérdida %	Antes	Después	Pérdida %
Cd	9,38	9,94	-2,90	57,58	57,75	-0,15
Tl	9,09	5,69	23,00	58,1	51,43	6,09
Pb	11,93	10,06	8,50	58,82	53,49	4,75
U	8,4	6,47	12,98	53,23	49,75	3,38
Cu	92,41	80,65	6,80	3585,7	3313,24	3,95
Cr	9,31	9,17	0,76	58,83	58,85	-0,02
Ni	9,59	10,6	-5,00	59,9	60,05	-0,13

te 24 horas realizándose el recuento en Unidades Formadoras de colonia en 100 mL (UFC/100 ml). Las colonias que crecieron de color rojo (coliformes; *C. freundii*) y azul (*E. coli*), se reaislaron para su confirmación en medio McConkey y se identificaron mediante autoanalizador VITEK II (Biomerieux).

Para la determinación de enterococos (*E. faecalis*) se filtraron 100 mL de cada alícuota con una membrana de tamaño de poro 0,45 μm . Se incubaron a $36^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, realizándose el recuento en 100 mL (UFC/100 ml). Para confirmar su identificación, se reaislaron las colonias en medio Bilis Esculina y se identificaron en el autoanalizador VITEK II (Biomerieux).

RESULTADOS

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de metales (muestra B) se encuentran en la tabla 1.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de plaguicidas (muestra B) se hallan en la tabla 2.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de nitratos (muestra B) se encuentran en la tabla 3.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua inoculada con bacterias están localizados en la tabla 4.

Tabla 3. Concentraciones de nitratos (mg/L) en los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con baja (muestra A) y con alta concentración de nitratos (muestra B).

Muestra A			Muestra B		
Antes	Después	Pérdida %	Antes	Después	Pérdida %
80	390	-65,96	207,00	342,00	-24,59

Tabla 4. Resultados de los análisis realizados a las muestras de agua contaminada con bacterias.

Microbiología (UFC)	Antes	Después	Pérdida %
Coliformes	27	0	100
E. coli	11	0	100
Enterococos	41	100	-41,84

DISCUSIÓN

Para metales, el fabricante indica en el etiquetado de la botella que tiene una reducción superior al 99,99 %, lo cual no se cumple en los ensayos realizados, observando una reducción mínima de estos y en varios casos se produjo un ligero aumento, debido, posiblemente, a la incertidumbre del método (caso del níquel, cadmio o cromo).

Para pesticidas a concentraciones de 1 µg/L, la reducción fue del 100% tras el paso del agua contaminada por el sistema de filtrado, con la excepción del dieldrín. No obstante, a concentraciones superiores a 10 µg/L, aunque se reduce su concentración, no se alcanza el 99,9%.

Respecto a los nitratos, tanto en la muestra de concentración de 80 mg/L, como en la de concentración de 120 mg/L, el análisis químico mediante espectroscopía UV-Vis, arroja unos resultados atípicos, ya que la concentración de estos es mayor después de que las muestras de agua hayan sido filtradas. Esto se podría deber a que, inicialmente, el filtro los retiene, pero a medida que pasa el agua va acumulándolo hasta que se satura y empieza a liberarlo. Este fenómeno ya está descrito y es relativamente frecuente⁷.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, las bacterias coliformes como *C. freundii* quedan retenidas en el filtro. Sin embargo, en el caso de *E. faecalis*, probablemente por su menor tamaño (cocos gram positivos de unos 0,45 µm de diámetro), pasan libremente a través del filtro, y como en el caso de los nitratos, probablemente haya una retención de estos en el filtro hasta su saturación, tras la cual empiezan a liberarse tras el paso del agua.

De los datos obtenidos se puede concluir que el filtro es capaz de eliminar del agua ciertos componentes exclusivamente en

función del tamaño del mismo, pues las partículas y microorganismos de pequeño tamaño son inicialmente retenidos para posteriormente, una vez saturado el filtro, proceder a liberarlos. Las partículas submoleculares (metales pesados) atraviesan libremente el filtro, siendo mínimamente eliminados del agua. Los pesticidas del agua son, por lo general, bien retenidos por este sistema de filtrado.

Por todo ello, es evidente que la botella Nkd POD+ no cumple con sus objetivos, y no parece conveniente su utilización por parte del combatiente, ya que su sistema de filtrado podría generar una falsa sensación de seguridad y suponer un riesgo para su salud.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades relacionadas con el agua. [Internet]. [Consultado en 4 ene 2018]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/
2. McJunkin FE. Agua y salud humana. México: Ediciones Limusa, 1988.
3. Lentini E. Servicios de agua potable y saneamiento: lecciones de experiencias relevantes. Santiago de Chile: ONU Serie Documentos y proyectos, 2011.
4. NATO Standard AMedP-4.9. Requirements for water potability during field operations and in emergency situations. Nato Standardization Agency (NSA). March 2013. Disponible en: <http://www.coemed.org/database/stanags>
5. Nkd Life. Nkd [Internet]. [Consultado en 15 Dic 2017]. Disponible en: <https://nkdlife.com/>
6. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. España: BOE; 21 Feb 2003. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596>
7. Spahn EH, Schlünder U. The scale-up of activated carbon columns for water purification, based on results from batch tests: Theoretical and experimental determination of adsorption rates of single organic solutes in batch tests. Chemical Engineering Science 1975; 30(5-6):529-537.