

Diseño de un sistema para obtención de agua, con garantías sanitarias adecuadas, destinada al consumo individual en condiciones de emergencia. Evaluación de su capacidad desinfectante y análisis de costes para su aplicación en las Fuerzas Armadas

Urquía Grande M.^a L¹, Juberías Sánchez A², Cabrera Merino JI³, Verón Moros M⁴, Zamanillo Sanz A⁵, Álvarez Muñoz JA⁶, Gonzalo Salado M.^a H⁷

Sanid. mil. 2009; 65 (3): 164-171

RESUMEN

Introducción: La disponibilidad de agua, con las adecuadas garantías sanitarias, en situaciones de emergencia y durante cortos periodos de tiempo, se considera de suma importancia en el ámbito operativo de las Fuerzas Armadas. La existencia de sistemas que aseguren un suministro de agua de calidad aceptable y que no supongan riesgo para la salud del consumidor, en estas circunstancias, debe ser considerado de vital importancia, tanto desde el punto de vista sanitario como táctico. **Lugar de realización:** Centro Militar de Farmacia de la Defensa. **Objetivo:** Diseñar un sistema para depuración de agua, destinada al consumo individual en condiciones de emergencia, que satisfaga los diversos requisitos exigibles para su uso por miembros de las Fuerzas Armadas, tales como disminución de patógenos transmisibles por vía hídrica hasta niveles seguros, rápida purificación del agua, utilización sencilla o estable en condiciones de campaña. La eficacia de este sistema será evaluada mediante la aplicación de condiciones que reproduzcan las características de un agua natural. **Conclusiones:** Se desarrolla un sistema depurador, consistente en comprimidos de rápida disolución, cuyo componente activo es el agente clorógeno Dicloroisocianurato sódico - dihidrato (CAS 51580-86-0), cuyo perfil de liberación de cloro resulta superior a otros agentes ensayados; demostrando, además, una adecuada eficacia bactericida en un medio de ensayo que emula las condiciones de un agua natural. La inclusión de este producto en la lista positiva de sustancias utilizables en el tratamiento de aguas destinadas al consumo y su menor coste, en comparación a otras moléculas activas, permite proponer su utilización como nuevo desinfectante, para tratamiento de aguas de consumo en situaciones de emergencia, utilizable por las Fuerzas Armadas.

PALABRAS CLAVE: Desinfección de agua en condiciones de emergencia. Dicloroisocianurato sódico dihidrato. Eficacia y economía.

Design of a system for water production with adequate medical guarantees for individual consumption in emergency conditions. Assessment of its disinfection capacity and cost analysis for its application in the Armed Forces

SUMMARY: Introduction: water availability, in accordance with medical standards, in emergency situations and for short periods of time is considered of the highest importance in the military operational environment. Water production systems that ensure a supply of acceptable quality water that does not entail a health risk in these circumstances, must be considered of vital importance, from the medical and tactical viewpoints. **Location of the tests:** Military Center for Pharmacy. **Objective:** to design a system for water treatment for individual consumption in emergency conditions, complying with the diverse requirements for military utilization, such as reduction of waterborne pathogens to safe levels, rapid purification of the water, stable and easy use in field conditions. The efficacy of this system will be assessed applying conditions that simulate the characteristics of natural water. **Conclusions:** a purifying system based on fast dissolving tablets is developed. The active principle is sodium dichloroisocyanurate dihydrate (CAS 51580-86-0), whose chlorine release profile is superior to other tested agents. It also has demonstrated an acceptable bactericidal efficiency in an assay medium that simulates the natural water conditions. The inclusion of this product in the list of useful substances in the treatment of drinking water and its lower cost, in comparison with other active molecules, permits to propose its utilization for the military as a new disinfecting agent for drinking water treatment in emergency situations.

KEY WORDS: Water disinfection in emergency conditions. Sodium dichloroisocyanurate dehydrate. Efficacy and economy.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La disponibilidad de agua con las adecuadas garantías sanitarias en determinadas situaciones, para las que no es posible obtener este elemento con los adecuados controles sanitarios, puede considerarse de suma importancia en el aspecto operativo de las Fuerzas Armadas; hasta tal punto, que el suministro de agua se considera un recurso logístico crítico (Clase I)¹ que influye durante el proceso de planeamiento de una operación y en el sostenimiento de la Fuerza ya desplegada². Por ello, la existencia de sistemas que aseguren un suministro de agua de calidad aceptable y que no supongan riesgo para la salud del consumidor, deben ser considerados de vital importancia tanto desde el punto de vista sanitario como táctico³.

¹ Dra. en Farmacia. Deptº Control de Calidad. Centro Militar de Farmacia de la Defensa-Madrid.

² Tcol. Farmacéutico. Jefe de Producción.

³ Tcol. Farmacéutico. Responsable de Garantía de Calidad. Centro Militar de Farmacia de la Defensa-Burgos.

⁴ Lda. en Farmacia. Deptº Control de Calidad. Centro Militar de Farmacia de la Defensa-Madrid.

⁵ Cte. Farmacéutico. Inspección General de Sanidad.

⁶ Técnico Superior en Análisis y Control. Deptº de Control de Calidad. Centro Militar de Farmacia de la Defensa-Burgos.

⁷ Cte. Farmacéutico. Jefe de Control de Calidad. Centro Militar de Farmacia de la Defensa-Madrid.

Dirección para correspondencia: Ma Luisa Urquía Grande. Centro Militar de Farmacia de la Defensa. C/ Embajadores, 75. 28070 Teléfono: 91.530.27.097 MADRID

Recibido: 2 de julio de 2009

Aceptado: 2 de julio de 2009

Diseño de un sistema para obtención de agua, con garantías sanitarias adecuadas...

Los Servicios Farmacéuticos de la Defensa, elaboran en la actualidad **DEPURADORES DE AGUA DEF**, sistema consistente en comprimidos, de fácil disolución en agua, dotados del activo halazona (carboxibencenosulfurodicloroamida-CAS 80-13-7), sustancia biocida clorógena capaz de liberar ácido hipocloroso, con acción desinfectante al estar en contacto con el agua. La sustancia activa, halazona, presenta un comportamiento inestable al ser expuesta al ambiente y la luz^{4,5}, por lo que los comprimidos elaborados tienden a perder potencia una vez desprecintado el envase que los contiene, este mismo comportamiento se presenta durante las operaciones de fabricación de los comprimidos, debido a ello, la USP 31 permite dosificaciones del comprimido de hasta un 135% de materia activa⁵.

En relación con las sustancias activas que pueden ser utilizadas en la fabricación de comprimidos depuradores de agua, debe ser tenida en cuenta la Orden SCO 3719/2005 (Ministerio de Sanidad y Consumo)⁶ de 21 de noviembre sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano, por la que se actualiza la lista de sustancias que pueden utilizarse bajo el criterio de seguridad en su uso para el tratamiento de agua. En la mencionada Orden el compuesto halazona no se encuentra recogido entre las sustancias autorizadas como agentes desinfectantes. No obstante, esa misma Orden en su parte B, punto 3, autoriza a las Fuerzas Armadas a la utilización de otros desinfectantes para el tratamiento de pequeños volúmenes de agua para consumo personal.

OBJETIVOS

Las dos circunstancias, anteriormente descritas, inestabilidad del activo halazona y no incorporación en la orden SCO 3719/2005, recomiendan el diseño de un posible sistema depurador de agua para situaciones de emergencia, utilizable por miembros de las FAS desplegadas en campaña, que proporcione un agua para consumo segura, desde el punto de vista microbiológico. La eficacia de este sistema será evaluada mediante la aplicación de condiciones que reproduzcan las características de un agua natural.

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En el desarrollo de un posible sistema depurador de agua para situaciones de emergencia, deben ser tenidos en cuenta los siguientes aspectos: sustancias activas a utilizar, condiciones de uso y requisitos exigidos a un sistema depurador individual para su uso en campaña.

Sustancias activas que pueden ser empleadas

Las sustancias autorizadas para desinfección de aguas destinadas a consumo se encuentran relacionadas en una lista cerrada, recogida en la Orden del Ministerio de Sanidad y Consumo aludida anteriormente. La propia Orden Ministerial, en su parte B, establece las sustancias, con acción desinfectante, que pueden ser utilizadas para situaciones de emergencia:

- Productos, contemplados en su parte A, sólo se permitirá su aplicación en plantas de tratamiento: cloro gaseoso, hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico, ozono, permanganato potásico, clorito de

sodio, dióxido de cloro, oxígeno, peróxido de hidrógeno, persulfato de sodio; todas ellas presentan inconvenientes tecnológicos para su aplicación en sistemas desinfectantes individuales, debido tanto a la cantidad de materia necesaria para obtener la desinfección, como a la imposibilidad de incorporación a sistemas ligeros o de sencillo uso.

- Productos desinfectantes para su utilización en situaciones de emergencia (Parte B de la Orden), cuando no se disponga de los indicados en la parte A. Estas sustancias son las siguientes, Acido tricloroisocianúrico (TCC) (CAS 87-90-1); Dicloroisocianurato sódico (DCC) anhidro (CAS 2893-78-9), o DCC dihidrato (CAS 51580-86-0), autorizándose sólo una utilización temporal máxima de 50 días/año. Estas sustancias son tecnológicamente aptas para su incorporación a sistemas depuradores individuales, pues no presentan los inconvenientes de aquellas recogidas en la parte A de la Orden. Por tanto, resulta obligado considerar, en el diseño de un sistema depurador para uso individual, cualquiera de los tres compuestos activos indicados en la parte B de la Orden.

Condiciones de uso de un sistema depurador de agua para uso individual

Las condiciones habituales de utilización de un sistema depurador de agua en situación de emergencia serán las siguientes:

- Uso infrecuente (el suministro habitual de agua potable tendrá otro origen).
- Aplicación a pequeños volúmenes de agua 7.
- Uso por grupos limitados y controlados de la población.
- Utilización en forma individual.
- Empleo durante cortos periodos de tiempo.

Estas condiciones de utilización, a corto plazo y en condiciones de emergencia, pueden cifrarse en un consumo diario de 5 a 15 litros/día durante un periodo máximo de 7 días de acuerdo a lo establecido en la publicación sanitaria aliada AMedP-18⁸.

Requisitos especiales exigidos a un sistema depurador individual para uso en campaña y en condiciones de emergencia

Los requisitos exigidos a un sistema depurador para situaciones de emergencia, utilizable por personal desplegado en campaña, serían los siguientes²:

- Disminución de patógenos transmisibles por vía hídrica hasta niveles seguros.
- Reducido tamaño.
- Ligero.
- Rápida purificación del agua.
- Reducción de la turbidez.
- No proporcione mal olor o sabor al agua.
- Utilización sencilla.
- Estable en condiciones de campaña.

Elección del agente desinfectante

La actividad de los agentes clorados se basa en la producción de ácido hipocloroso, que posee actividad desinfectante; este ácido se

ioniza en ión hipoclorito y protones; el anión hipoclorito presenta acción oxidante, esta disociación determina que el pH influya en la acción desinfectante de los compuestos clorados; a menor pH, el equilibrio se desplaza hacia la formación de ácido hipocloroso (acción desinfectante)⁹. El pH óptimo que determina la mayor eficiencia se sitúa entre 7,4 y 7,6; esta circunstancia deberá ser tenida en cuenta en el diseño del sistema depurador, utilizando sustancias clorógenas activas en una gama de pH más amplia. Otro factor determinante de la efectividad de los agentes clorógenos es la incidencia de radiación luminosa; la radiación ultravioleta descompone el cloro disponible, impidiendo su transformación en ácido hipocloroso, pero la adición de ácido isocianúrico evita esta descomposición.

La presencia de materia oxidable (materia orgánica o sustancias reductoras) y la radiación ultravioleta reducirán la capacidad desinfectante de un agente clorógeno; también la turbidez deberá ser considerada, en cuanto a las condiciones de uso de agentes clorógenos recomiendan su empleo en aguas poco turbias (<1UNF).

Se consideran los siguientes agentes desinfectantes, recogidos en la Orden del ministerio de Sanidad y Consumo, para su utilización en situaciones de emergencia:

- Ácido Tricloroisocianúrico (TCC) (sincloseno) CAS n.º 87-90-1.
- Dicloroisocianurato sódico (DCC), en sus formas dihidrato CAS n.º 51580-86-0 y anhídrido CAS n.º 2893-78-9.

Ambos compuestos en contacto con el agua se descomponen en ácido hipocloroso y ácido isocianúrico, lo que proporciona estabilidad a la solución y a la molécula almacenada. El TCC requiere adición de carbonato sódico para su acción eficaz (35% P/P). Los dos compuestos son activos a pH comprendidos entre 6 a 10⁴.

Diseño del sistema depurador

En consonancia con los requisitos exigibles a un depurador ideal para situaciones de emergencia, se opta por la preparación de comprimidos que vehiculen un agente clorógeno estable, presenten una rápida disolución en el agua, facilitando la liberación y contacto del agente activo con el medio acuoso y envasados individualmente en doble lámina de complejo poliestireno-aluminio termosoldable, para incrementar la preservación de los comprimidos no utilizados; este envasado supone, además, las siguientes ventajas frente a la utilización de frasco o blister:

- Ligero.
- Comodidad para su transporte, permite plegado e introducción en bolsillos, botiquín o paquete de curación individual.
- Impermeable a humedad, aire y luz.
- Posibilidad de introducir información impresa en una o dos caras del envase.

Las dosis de Dicloroisocianurato sódico y ácido tricloroisocianúrico se establecen de acuerdo a la bibliografía consultada⁴. El tiempo de contacto y la dosis residual de cloro se cifra en 30 minutos y 0,2-0,5 ppm de cloro libre, respectivamente⁷. La composición de los comprimidos se recoge en la Tabla I.

El sistema diseñado será sometido a evaluación en condiciones que emulen la calidad de un agua natural, considerando como criterio de aceptación, que asegure su efectividad, la eliminación de la totalidad de la población bacteriana puesta en contacto, en un tiempo no superior a 30 minutos.

Diseño de un medio para evaluación de la eficacia de un sistema depurador de agua utilizable en situaciones de emergencia

El riesgo más importante, derivado de las condiciones de utilización descritas⁸ residirá en la ingestión de gérmenes patógenos de propagación hídrica; por ello, la evaluación de los sistemas de purificación individual de agua se basará en la evaluación de su capacidad para la reducción de la población bacteriana patógena hasta niveles no infecciosos². En consonancia con esta afirmación, debemos considerar una serie de condiciones que emulen las características de un agua natural y que reproduzcan, en la medida de lo posible, las condiciones del peor escenario posible, representado por el agua de inferior calidad que probablemente será sometida a tratamiento del sistema depurador. Estas condiciones se definen por la presencia de una determinada carga bacteriana y materia orgánica que neutralizará parte de la capacidad desinfectante del agente utilizado. La United States Environmental Protection Agency¹⁰ (USEPA), los protocolos de US Army referidos a evaluación de purificadores de agua para uso individual y los criterios de calidad de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable^{11,12} recogen determinados parámetros que nos permitirán definir las condiciones del medio de ensayo.

Con el fin de efectuar una aproximación a los valores existentes de posibles cargas bacterianas en el medio natural, con anterioridad a este estudio, se llevó a cabo la determinación de la calidad microbiológica de diversas aguas naturales¹³, en siete puntos diferentes de la Cuenca del Tajo, efectuando las siguientes determinaciones: Recuento de gérmenes aerobios a 30-35 °C recuento de coliformes totales; recuento de coliformes fecales; recuento de estreptococos fecales y presencia/ausencia en 100ml de *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*. Un resumen de los resultados se muestra en la Tabla II. Este estudio

Tabla I. Composición de comprimidos para depuración de agua.

COMPRIMIDOS Dicloroisocianurato sódico		COMPRIMIDOS Ácido tricloroisocianúrico	
Componente	Peso (mg/comp.)	Componente	Peso (mg/comp.)
DCC dihidrato	9	TCC	5
Cloruro sódico	180	Cloruro sódico	185
Celulosa microcristalina	10	Celulosa microcristalina	10
Peso Comprimido	199	Carbonato sódico*	1,75 201,75

* TCC precisa un 35 % p/p de carbonato sódico para producción hipoclorito en solución con agua.

Tabla II. Evaluación de la calidad microbiológica de diversas aguas naturales superficiales.

Microrganismo evaluado	Recuento mínimo	Recuento máximo
Aerobios	1,4 105 ufc/100ml	5,6 106 ufc/100ml
Coliformes totales	5 103 ufc/100ml	3,4 105 ufc/100ml
Coliformes fecales	7 ufc/100ml	2 102 ufc/100ml
Estreptococos fecales	67 ufc/100ml	5,3 102 ufc/100ml
Salmonella	Ausencia/100 ml	Ausencia/100 ml
Staphylococcus aureus	Ausencia/100 ml	Ausencia/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	Ausencia/100 ml	Ausencia/100 ml

permite establecer una comparación entre los valores definidos por diversos organismos y los obtenidos en aguas naturales. Consideramos, por tanto, que valores en torno a las 10^4 ufc/ml para *E. coli* y 10^2 ufc/ml *Enterococcus faecalis* serían representativos de la calidad microbiológica de aguas naturales que podrían ser sometidas a la acción del sistema depurador en condiciones de emergencia. Estos valores concuerdan tanto con las condiciones establecidas por USEPA como con la calidad exigida para aguas tipo A2 y A3, propuestas por el Reglamento de la Administración Pública del Agua y Planificación Hidrológica (Real Decreto 1541/1994), para ser utilizadas, después del tratamiento apropiado, en la producción de agua potable

La presencia de materia orgánica, con poder de interferencia sobre los desinfectantes basados en halógenos, se establece por la USEPA en 10 ppm de TOC (Carbono Orgánico Total)¹⁰, valores similares son recogidos por otros autores¹⁴; sin embargo, la Orden Ministerial de 11 de mayo y el Real Decreto 1541/1994 establecen para aguas tipo A3 (la peor calidad admitida), hasta 3 ppm de Nitrógeno Kjeldhal equivalente a una solución de 20 ppm de proteína, ya que la relación Nitrógeno proteico/proteína se considera igual a un 16%¹⁵. Con el fin de interrelacionar ambos criterios se evalúan los valores correspondientes a diversas soluciones de peptona de caseína, y se adopta, siguiendo la filosofía del peor caso posible, aquella concentración que suministre un mayor poder reductor a la solución para ensayo; los valores obtenidos permiten comparar entre los parámetros indicados y se reflejan en la Tabla III. A la vista de lo indicado se deduce que una concentración de 50 ppm de peptona de caseína proporciona unas condiciones al medio de ensayo próximas al peor caso posible considerado por la USEPA. A la vista de lo indicado, se definen los parámetros y condiciones del medio de ensayo, que se muestran en la Tabla IV.

Diseño del experimento

Se elaboran comprimidos de rápida disolución en agua conteniendo tres activos clorógenos (TCC, DCC y Halazona).

Se establece una comparativa en el perfil de liberación de cloro activo, entre los diversos comprimidos elaborados, en medio con ca-

Tabla III. Relación entre parámetros indicativos de la carga orgánica de un agua.

N Kjeldhal (ppm)	Peptona de caseína (ppm)	TOC (ppm)
8	50	9,22
6,4	40	8,45
4,8	30	8,41
3	20	8,17

Tabla IV. Condiciones del medio de ensayo para sistemas depuradores de agua destinada al consumo en situaciones de emergencia.

Parámetro	Concentración
Materia orgánica	10 ppm TOC (50 ppm Peptona de caseína)
Coliformes	104 ufc/ml
<i>Enterococcus faecalis</i>	102 ufc/ml

pacidad reductora, determinada por una solución de peptona de caseína de 50 ppm equivalente a una carga orgánica de 10 ppm TOC.

Se evalúa el poder desinfectante de diversas dosis de los comprimidos que presenten mejor perfil de liberación de cloro activo, en un medio con carga bacteriana y materia orgánica que reproduzca las condiciones de un agua natural.

MATERIAL Y MÉTODOS

Fabricación de comprimidos

Se prepara un lote piloto de 20.000 comprimidos para cada sustancia activa.

Proceso de elaboración

- Tamizado de componentes, a través de tamiz de luz de malla Mesh 35, con el propósito de homogeneizar tamaño de partículas de la mezcla.
- Mezclado: 15 minutos en Mezcladora bicónica 5 litros.
- Compresión en equipo Manesty DB3D de 16 estaciones con herramienta cóncava (punzón) 8 mm diámetro.

Ensayos para determinación de la calidad farmacéutica de comprimidos desinfectantes

- Uniformidad masa comprimidos: Método Farmacopea Española, se utiliza balanza Metler Toledo PM100. La desviación estándar de la masa no debe superar el 6,5%.
- Friabilidad comprimidos: Método Farmacopea Española, se utiliza friabilómetro Erweka. No debe ser superior al 1%.
- Ensayo de disgregación: Método Farmacopea Española, se utiliza equipo Farmatest Mod. 100 de 6 celdillas. Tiempo de disgregación inferior a 300 sg.
- Ensayo dureza comprimidos: Equipo farmatest Mod. WHT 11, dotado de dinamómetro automático, somete al comprimido a presión creciente hasta su fractura. Realiza tratamiento estadístico de los resultados. El coeficiente de variación de la dureza, en las muestras medidas, no debe superar el 10%.

Determinación carbono orgánico total (TOC)

Se utiliza equipo automático Sievers General Electric. Se calcula el TOC en un litro de agua con 50 mg de peptona de caseína (Difco).

Perfil de la liberación de Cloro

Se introducen los comprimidos de Halazona (n=4), DCC (n=4) y de TCC (n=4) en 1.000 ml de agua y se mide en cada intervalo de 30 segundos, hasta los 12,5 minutos, la cantidad de cloro libre en solución mediante reacción del cloro liberado con orto-tolidina dando lugar a la formación de compuesto un coloreado amarillo medible mediante técnica espectrofotométrica¹⁶.

Ensayo evaluación capacidad desinfectante

El medio para evaluación se compone de solución de peptona de caseína de 50 mg/l equivalente a 10 ppm TOC. Se prepara un inóculo con los microorganismos elegidos: *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*. La cepa de *E. coli* utilizada es salvaje, previamente identificada por el sistema de pruebas bioquímicas (API[®] Biomerieux), proviene de un río de la sierra madrileña. Midiendo con un turbidímetro añadimos la cepa hasta alcanzar el valor 2 en la escala McFarland. Por cultivos cuantitativos de sucesivas diluciones en TSA (Agar trypticase soja) se obtiene la concentración real del inóculo de *E. coli*: $2 \cdot 10^7$ ufc/ml. La concentración de *E. faecalis* NCTC 775 es de 10^5 ufc/ml (cepa cuantitativa), comprobada previamente en el medio selectivo Agar D-cocoseol y en un medio nutritivo TSA (Agar trypticase soja). Los inóculos se añadieron a cuatro botellas con 1 litro de agua destilada esterilizada con 50mg/l de peptona (Difco). El inóculo en las botellas alcanza 10^4 ufc/ml de *E. coli* y 10^2 ufc/ml de *E. faecalis*.

Se extraen, en condiciones de esterilidad, los comprimidos a ensayar, añadiendo 1, 2 ó 3 comprimidos. Una de las botellas queda

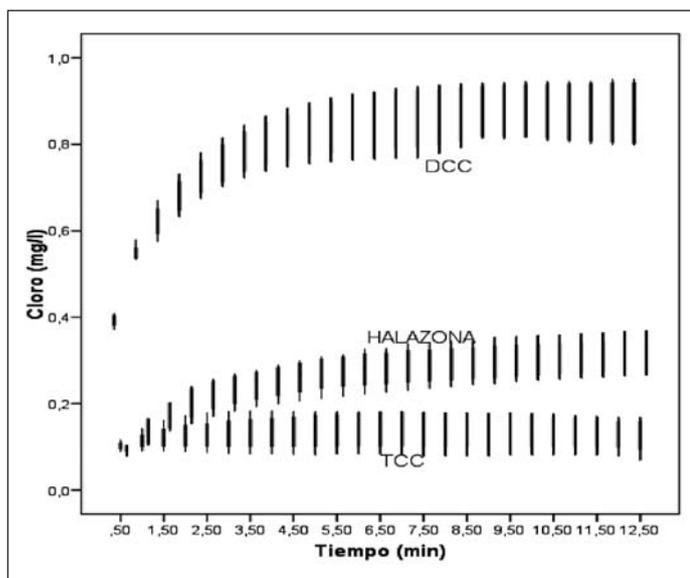


Figura 1. Perfil de liberación de cloro de comprimidos DCC, TCC y halazona en un medio con 50 ppm de peptona de caseína.

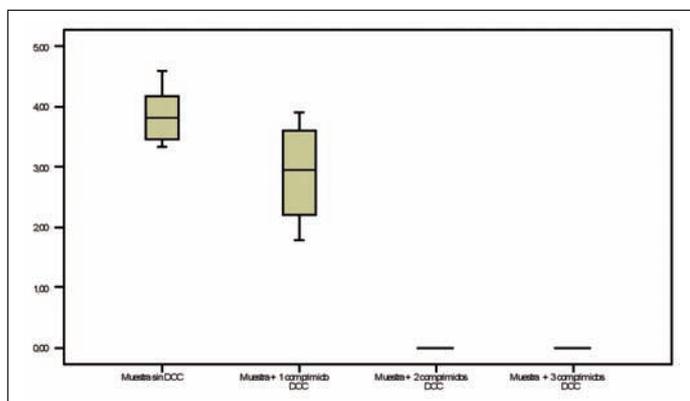


Figura 2. Diagrama de cajas de la carga bacteriana con 0, 1, 2 y 3 comprimidos de DCC.

Tabla V. Características de los comprimidos fabricados

Parámetro	Comprimidos TCC	Comprimidos DCC	Especificaciones
Uniformidad masa	202 ± 1.3mg	199 ± 0.3mg	200±13mg
Dureza	9.25 ± 0.59Kp cv=6,5%	10.4 ± 0.42Kp cv=4,2%	cv<10%
Friabilidad	1%	1.02%	1%
Disgregación	12 s	10 s	<300 s

como blanco sin depurador para comprobar que la peptona no interfiere en el crecimiento de los microorganismos y se considera como concentración inicial.

Se someten las botellas a agitación manual hasta la total disolución de los comprimidos, se mantienen al abrigo de la luz. Tras 30 minutos de contacto, se añade 1 ml de tiosulfato sódico para neutralizar el cloro liberado. Se realizan cultivos cuantitativos en TSA, agar McConkey y agar D-Cocoseol para conocer la carga bacteriana final. El ensayo se repitió seis veces, con dos placas de recuento cada vez, siendo las condiciones del mismo, pH=7 y temperatura ambiente.

El criterio de aceptación exige la eliminación de la población bacteriana presente.

Tratamiento estadístico

Se realiza un tratamiento estadístico mediante el programa informático SPSS versión 15 (Statistical Package for the Social Sciences). Se aplica a la confección del perfil de liberación de Cloro de los comprimidos de DCC, TCC y Halazona. Se calculan los datos descriptivos de los logaritmos de las cargas bacterianas con sus intervalos de confianza, diagramas de cajas de la distribución de la carga bacteriana con diferente número de comprimidos desinfectantes y el análisis de varianza.

RESULTADOS

Calidad farmacéutica de los comprimidos

Las características farmacotécnicas de los comprimidos elaborados se muestran en la Tabla V.

Perfil comparativo de la liberación de cloro de comprimidos sistemas depuradores

En la Figura 1 se muestra la gráfica comparativa de la liberación de cloro producida por los comprimidos elaborados con TCC y DCC frente a comprimidos DEPURADORES DE AGUA DEF, con halazona como principio activo.

Evaluación de la capacidad desinfectante del sistema elegido

La reducción de la población bacteriana sometida a la acción de 1, 2 y 3 comprimidos de DCC, en un medio con 50 ppm de peptona, tras 30 minutos de contacto, se muestran la Figura 2 y Tabla VI. El

Diseño de un sistema para obtención de agua, con garantías sanitarias adecuadas...

Tabla VI. Datos descriptivos del logaritmo de la carga bacteriana en agua sin tratar y con 1, 2 y 3 comprimidos de DCC.

		N	Media	Desv. estándar	Intervalo de confianza de la media para un 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Logaritmo de carga bacteriana	Muestra sin DCC	12	3,8667	,45328	3,5787	4,1547
	Muestra + 1 comprimido DCC	12	2,8917	,77864	2,3969	3,3864
	Muestra + 2 comprimidos DCC	12	,0000	,00000	,0000	,0000
	Muestra + 3 comprimidos DCC	12	,0000	,00000	,0000	,0000

Tabla VII. Análisis de varianza del factor número de comprimidos.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Grado de significación
Intergrupos	142,729	3	47,576	234,439	,000
Intragrupos	8,929	44	,203		
Total	151,658	47			

Tabla VIII. Comparativa de costes de biocidas.

	HALAZONA (CAS 80-13-7)	NaDCC ANHIDRO (CAS 2893-78-9)	NaDCC DIHIDRATO (CAS 51580-86-0)	TCC (CAS 87-90-1)
Proveedor A	60,00 €/Kg	5,50 €/Kg	5,50 €/Kg	5,20 €/Kg
Proveedor B	80,00 €/Kg	9,75 €/Kg	9,75 €/Kg	10,00 €/Kg
Proveedor C	75,00 €/Kg	7,30 €/Kg	7,30 €/Kg	7,10 €/Kg

análisis de la influencia del número de comprimidos utilizados se muestra en la Tabla VII.

ESTUDIO ECONÓMICO

El objetivo del estudio económico es justificar, en primer lugar, la viabilidad económica de una posible fabricación de nuevos comprimidos depuradores de agua, y en segundo lugar, realizar una comparativa de costes de los biocidas objeto de este estudio. Además es necesario tener en cuenta aspectos logísticos como son la facilidad en la adquisición o el mejor o peor comportamiento industrial del producto.

Ya se ha comentado la doble problemática que presenta la halazona en cuanto a su inestabilidad frente a las condiciones ambientales de luz y humedad, y en cuanto a su ausencia de la Orden SCO 3719/2005, ya citada, en la parte B relativa a biocidas para utilización en casos de emergencia.

Se han obtenido precios procedentes de tres proveedores, para los distintos biocidas, quedando los resultados reflejados en la Tabla VIII. Se evalúa también el costo de la dosis de clorógeno por cada 1.000 comprimidos depuradores (Tabla IX), considerando inicialmente el uso de un comprimido para el tratamiento de un litro de agua. La disponibilidad de halazona en el mercado es inferior a DCC y TCC, debido fundamentalmente a su menor poder clorógeno y a sus inconvenientes frente a las condiciones ambientales.

DISCUSIÓN

Los comprimidos obtenidos cumplen los requisitos técnicos precisos para el fin a que se destinan, como lo demuestran los re-

sultados obtenidos que se encuentran dentro de las especificaciones exigidas:

- Peso homogéneo: no se producirán variaciones en la dosificación de la sustancia activa.
- Dureza adecuada: permitirá su manipulación en las operaciones de envasado sin rotura de los comprimidos.
- Friabilidad adecuada: evita la pérdida de peso en operaciones de manipulación que puede ocasionar reducción de la dosis de agente clorógeno.
- Rápida disolución: facilita la liberación del clorógeno en corto espacio de tiempo, reduce el tiempo de contacto con agua a tratar.

La evaluación comparativa del perfil de liberación de cloro entre comprimidos elaborados con DCC, TCC y Halazona, que reproduce la Figura 1, permite establecer que los tres elaborados alcanzan valores de cloro libre superior a las 0,2 ppm a partir de los 90 segundos, lo que demuestra la rápida disposición de agente desinfectante en solución. Este mismo gráfico demuestra un mejor comportamiento de los comprimidos elaborados con DCC, ya que alcanza una máxima concentración, próxima a 1 ppm de cloro libre a los 7 minutos de contacto, una vez ha reaccionado con la materia orgánica presente en la solución, y la mantiene constante durante el periodo de ensayo con una ligera tendencia a la disminución. Por el contrario, comprimidos de Halazona y TCC no superan las 0,4 ppm de cloro activo durante el desarrollo del experimento.

Tabla IX. Coste de la dosis de biocidas

CLORÓGENO	mg clorógeno/ comprimido	Precio medio/Kg	Costo clorógeno/ 1000 comps
HALAZONA	5	72,0 €/Kg	0,360 €/Kg
DCC	9	7,50 €/Kg	0,068 €/Kg
TCC	5	7,40 €/Kg	0,037 €/Kg

Existen normas para la evaluación microbiológica de los productos desinfectantes AENOR¹⁷, AFNOR¹⁸, AOAC¹⁵, éstas no consideran la posible presencia de sustancias interferentes, o si lo hacen, utilizan concentraciones de materia orgánica muy elevada, ya que han sido diseñadas para evaluar productos desinfectantes de uso hospitalario; una concentración de peptona de 50 mg/L simularía la materia orgánica de un agua natural¹⁴. El valor TOC de 9,2 ppm, perteneciente a esta solución, es muy próximo al nivel establecido por la guía de la USEPA para evaluación de desinfectantes de agua¹⁰. Esta misma guía establece la *Klebsiella terrigena* como el microorganismo representante del grupo de los coliformes que debe ser utilizado para la evaluación; sin embargo otros autores han utilizado cepas patógenas de origen clínico¹⁹. En este estudio se ha considerado *E. Coli* como microorganismo coliforme patógeno, considerado por las normas de calidad de aguas y en la mayoría de los estudios como indicador de contaminación fecal^{20,21}. La cepa salvaje obtenida de un río, utilizada en este estudio, cabe esperar sea más resistente al cloro que una cepa enterotoxigénica obtenida de un aislamiento clínico²². Se añade también *E. faecalis* por tratarse de un germen de referencia en las normas de calidad del agua en España²³ y en la Unión Europea en general²⁴. Además, los estreptococos fecales presentan una mayor resistencia a la acción desinfectante de agentes clorados, por lo que su eliminación puede considerarse como criterio de la eficacia desinfectante del producto a ensayar. La cantidad de microorganismos del inoculo, 10⁴ ufc/ml, es superior a los valores de más alto rango recopilados en la bibliografía^{13,25}, mostrando valores correspondientes a coliformes totales situados entre 10 y 10² ufc/ml^{25,26}.

Se seleccionan los comprimidos elaborados con DCC por su perfil de liberación de cloro, para proceder a la evaluación de su eficacia desinfectante, en un medio que reproduzca las condiciones de un agua natural en el peor escenario posible.

El análisis de variancia (Tabla VII), después de comprobar el supuesto de normalidad ($p > 0,05$) y el de homogeneidad de las mismas ($P > 0,05$), demuestra que el número de comprimidos utilizados de DCC ($p < 0,05$) afecta a la carga bacteriana. En estas circunstancias, se observa la disminución de carga bacteriana (Figura 2) según el número de comprimidos de DCC utilizados como desinfectantes, consiguiéndose la eliminación total de la carga (Tabla VI) con una dosis de 18 mg, equivalente a dos comprimidos de DCC por litro de agua, satisfaciendo el criterio de aceptación establecido.

Tal y como podemos observar, la halazona es un producto más caro, mientras que, tanto DCC (sal sódica anhidra y sal sódica dihidratada) como TCC, mantienen precios similares y son más económicos que la halazona, lo que unido a la fácil degradación de este producto, supone un encarecimiento del sistema depurador basado en la halazona. Desde el aspecto logístico, la adquisición de halazona es más problemática que la de DCC y TCC debido a su menor uso. Teniendo en cuenta el estudio económico, resultaría recomendable utilizar DCC para la fabricación de comprimidos depuradores de agua, debido a su menor precio respecto a la halazona, facilidad de adquisición y abundancia de proveedores.

Respecto a la comparación económica entre DCC y TCC, podemos afirmar que, si bien el costo de la dosis de clorógeno por comprimido es favorable a TCC (Tabla IX), el mejor perfil de liberación de cloro producido por DCC compensaría esta diferencia, ya que con DCC se alcanzan concentraciones de cloro libre superiores al doble de las producidas por TCC (Figura 1).

CONCLUSIONES

El diseño de sistemas para depuración de agua, destinada al consumo individual en condiciones de emergencia, debe considerar la utilización de agentes clorógenos estables y eficaces que satisfagan los diversos requisitos exigibles para su uso por miembros de las Fuerzas Armadas, tales como disminución de patógenos transmisibles por vía hídrica hasta niveles seguros, rápida purificación del agua, utilización sencilla o estable en condiciones de campaña.

La obtención de un agua para consumo con las debidas garantías sanitarias, en el menor tiempo posible, sin complejas manipulaciones y a un coste razonable, deben presidir las características de estos sistemas.

La elección de la formulación del sistema depurador bajo la forma de comprimidos, como forma farmacéutica óptima, se basa en la obtención de un elaborado de características farmacotécnicas y calidad adecuada para el fin que se destina.

El perfil de liberación de cloro activo, en las condiciones ensayadas, demuestra una superioridad de los comprimidos que contienen DCC como agente clorógeno activo respecto a los elaborados con TCC y halazona.

La utilización de dos comprimidos con Dicloroisocianurato sódico, equivalente a una dosis total de 18 mg, disueltos en 1 litro de agua, durante un periodo de contacto de 30 minutos, ha demostrado su eficacia al eliminar completamente la carga bacteriana utilizada en el medio de ensayo.

Desde el punto de vista económico, la utilización de DCC supone abaratar considerablemente la formulación con respecto al uso de halazona.

El mejor comportamiento del dicloroisocianurato sódico como agente clorógeno, la demostración de su capacidad bactericida y la no inclusión de la Halazona en la Orden SCO 3719/2005 nos permiten proponer esta sustancia activa como nuevo desinfectante, para tratamiento de aguas de consumo en situaciones de emergencia, utilizable por las Fuerzas Armadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. NATO Standardization Agency. STANAG 2961: Classes of supply of NATO Land Forces. 19 septiembre 2001.
2. Bettin W. Water purifiers for the Warfighter. AMEDD (Army Medical Department) Journal April-June 2007. 31-32.
3. Reiff F, Witt V. «Manual de desinfección. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe». Serie Técnica N° 10000, OPS/OMS, 1995 – 2.
4. Martindale. Guía completa de consulta farmacoterapéutica. 1ª Edición. 2003. Página 976.
5. USP 31-NF 26. Edición Española 2008. Página 2568.
6. Orden SCO/3719/2005 de 21 de noviembre del Ministerio de Sanidad y Consumo sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano. BOE número 287 de 1 de diciembre de 2005.
7. The Pan American Health Organization. Interoffice Memorandum. «Provisional guidelines on the use of water disinfection tablets following natural disasters» Noviembre 1979
8. NATO AMedP-18. Minimum standards of water potability during field operations and in emergency situations. October 2007.
9. Pinto G, Rohring B. «Use of chloroisocyanurates for disinfection of water». Journal of Chemical Education 2003. Vol. 80(1): 41-44.
10. USEPA (United States Environmental Protection Agency). Guide standard and protocol for testing microbiological water purifiers. April 1987.
11. Orden Ministerial de 11 de mayo de 1988 del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las

Diseño de un sistema para obtención de agua, con garantías sanitarias adecuadas...

- corrientes de agua superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable. BOE número 124 de 24 de mayo de 1988.
12. Real Decreto 1541/1994 de 8 de julio por el que se modifica el anexo 1 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la planificación hidrológica, aprobado por el real Decreto 927/1988 de 29 de julio. BOE número 179 de 28 de julio de 1994.
 13. Urquía ML, Juberías A, Llama J, Llama R, Verón M. Incidencia de la contaminación bacteriana e indicadores fecales en ríos y arroyos de España. Póster IX Jornadas Farmacéuticas Militares. Madrid 2008.
 14. Teves S, Degrossi J, D'Aquino M. Efectividad de los clorógenos destinados a agua de consume. *Ars Pharmaceutica* 2000. 41(3): 239-244.
 15. AOAC International (Association of the Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*. 18th Edition, Revision 1. 2006.
 16. Rodier J. *Análisis de las Aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar*. Ediciones Omega, S.A. 1990. Capítulo «Control de la desinfección del agua»: 476.
 17. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). Norma UNE-EN 1040. Antisépticos y desinfectantes químicos. Actividad bactericida básica. Método de ensayo y requisitos. Junio 1997.
 18. AFNOR (Association Française de Normalization). Norme NF-T 72-150. Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau et neutralisables. Détermination de l'activité bactéricide. Méthode par dilution -neutralization. 1987.
 19. Virseda I, Vico J, Prieto M, Mateo M, Martí FJ. Efectividad in vitro de las tabletas potabilizadoras de agua. *Medicina Militar* 2004; 60(1): 34-36.
 20. Rice EW, Clark RM, Johnson CH. Chlorine inactivation of *Escherichia coli* O157:H7. *Emerging Infectious Diseases* May-June 1999. Vol 5 - Nº 3: 461-463.
 21. Chao KK, Chao CC, Chao WL. Suitability of the traditional microbial indicators and their enumerating methods in the assessment of fecal pollution of subtropical freshwater environments. *J Microbiol Immunol Infect*. 2003; 36(4): 288-293.
 22. Penna TC, Schaffner D, Abel E, Machoshvili IA. Inactivation of brazilian wild type and enterotoxigenic *Escherichia coli* by chlorine. *J Ind Microbiol* 1996; 16(1): 57-61.
 23. Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad del agua de consume humano. BOE número 45 de 21 de febrero de 2003.
 24. Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. *Diario Oficial* Nº L 330 de 5 de diciembre de 1998: 32-54.
 25. Combarro MP, Sueiro RA, Araujo M, Pardo F, Garrido MJ. Incidence of bacterial contamination in the Ares-betanzos estuary (NW Spain). *Microbiologia* 1993; 9(1): 14-27.
 26. Montiel de Morales M, Zambrano JL, Castejon O et al. Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en el agua de la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. *CIEN* 2005; Vol.13(3): 292-301.