Volumen **100** **e202611103** Recepción: **4/12/2024** Aceptación: **29/9/2026** Publicación: **26/11/2026**
PROTOCOLO 11 páginas **doi: 10.67113/resp.v100i1.1002** **VERSIÓN EN LÍNEA**

Protocolo de desinfección y control microbiológico de vehículos de baldeo que emplean aguas regeneradas para la prevención de *Legionella spp.* y otros microorganismos indicadores

Disinfection and Microbiological Control Protocol for Street Cleaning Vehicles Using Reclaimed Water to Prevent Legionella spp. and Other Microbial Indicators

AUTORES

(1,2) Borja Garrido Arias
[ORCID: 0000-0002-7299-0184]

FILIACIONES

(1) Departamento Online, Arquitectura y diseño. Escuela de Arquitectura, Ingeniería, Ciencia y Computación-STEAM. Universidad Europea de Madrid.
MADRID. ESPAÑA.

(2) Facultad de Medicina. Universidad Miguel Hernández de Elche.
ALICANTE. ESPAÑA.

CORRESPONDENCIA

Borja Garrido Arias **borja.garrido@universidadeuropea.es** **b.garrido@umh.es**
Departamento Online, Arquitectura y diseño. Escuela de Arquitectura, Ingeniería, Ciencia y Computación-STEAM. Universidad Europea de Madrid. C/ Tajo, s/n. Urbanización El Bosque. CP 28670. Villaviciosa de Odón (Madrid). España.

FINANCIACIÓN

No hubo.

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses

CITA SUGERIDA

Garrido Arias B. Protocolo de desinfección y control microbiológico de vehículos de baldeo que emplean aguas regeneradas para la prevención de Legionella spp. y otros microorganismos indicadores. Rev Esp Salud Pública. 2026; 100: 26 de noviembre e202611103.

RESUMEN

FUNDAMENTOS // La utilización de aguas regeneradas en vehículos de baldeo urbano puede implicar riesgos microbiológicos asociados a la proliferación de *Legionella spp.* y a la generación de aerosoles. El objetivo de este estudio fue establecer un protocolo de limpieza y desinfección de cisternas que contribuya a prevenir estos riesgos.

MÉTODOS // Se realizó un seguimiento durante doce meses en cinco vehículos cisterna de 2,5 m^3, con sistemas de aerosolización a 200 bares, abastecidos con aguas regeneradas. Se estableció un protocolo mensual de limpieza y desinfección mediante hipoclorito de sodio, con control de cloro libre y pH. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de aporte y de los depósitos y boquillas, siguiendo métodos normalizados.

RESULTADOS // Los parámetros fisicoquímicos del agua de aporte se mantuvieron dentro de los valores paramétricos establecidos. Tras la aplicación del protocolo, los controles realizados a los quince días mostraron concentraciones de *Legionella spp.* inferiores a 100 UFC/L, nemátodos intestinales inferiores a 1 huevo/10 L y ausencia de *Escherichia coli* durante todo el seguimiento. El tratamiento se realizó con una concentración media de ácido hipocloroso libre de 5,20±0,55 mg/L durante dos horas, con periodicidad mensual.

PALABRAS CLAVE // *Legionella*; Aguas regeneradas; Limpieza viaria; Desinfección; Aerosoles; Salud Pública.

ABSTRACT

BACKGROUND // The use of reclaimed water in urban street-cleaning vehicles may involve microbiological risks associated with the proliferation of *Legionella spp.* and aerosol generation. The aim of this study was to establish a cleaning and disinfection protocol for water tanks to prevent these risks.

METHODS // A twelve-month monitoring study was conducted on five 2.5 m^3 water tank vehicles equipped with 200-bar aerosolisation systems and supplied with reclaimed water. A monthly cleaning and disinfection protocol using sodium hypochlorite was implemented, with monitoring of free chlorine concentration and pH. Physicochemical and microbiological parameters were analysed in the incoming water, tanks and spray nozzles using standardised methods.

RESULTS // The physicochemical parameters of the incoming water remained within the established parametric values. Microbiological analyses performed fifteen days after treatment showed *Legionella spp.* concentrations below 100 CFU/L, intestinal nematodes below 1 egg/10 L, and no detection of *Escherichia coli* throughout the monitoring period. The treatment used a mean free hypochlorous acid concentration of 5.20±0.55 mg/L for two hours.

KEYWORDS // *Legionella*; Reclaimed water; Street cleaning; Disinfection; Aerosols; Public Health.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Europea de Madrid, por permitirme transmitir y compartir mi conocimiento en el ámbito de la ingeniería de procesos industriales e ingeniería química como profesor contratado en el Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

A la Universidad Miguel Hernández, por brindarme la oportunidad de ampliar y fortalecer mi perfil profesional en el ámbito de la higiene industrial en el Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales como director de trabajos fin de máster.

NOTAS

RE SP

INTRODUCCIÓN

La implantación de textos legales consolidados aporta en muchas ocasiones determinados vacíos legales que pueden derivar a confusión y/o inconsistencia en cuanto a forma de implantarlos en la vida profesional real. En el ámbito de la Salud Pública, la Legionelosis, en contexto con la prevención de la *Legionella*, es una enfermedad de declaración pública controlada y regulada a nivel nacional. Su control y prevención han sido legislados desde hace años en España, partiendo del año 2003 hasta la actualidad **(1)**.

Los textos legales consolidados, y en el caso concreto de los Reales Decretos, en muchas ocasiones disponen de vacíos técnicos en cuanto a protocolos y procedimientos de trabajo, quedando la responsabilidad atribuida a las organizaciones. En el contexto de la sanidad ambiental, y de la prevención de la *Legionella* en particular, deriva a los responsables técnicos del servicio biocida y los técnicos cualificados para su implantación, ejecución y verificación. Por esta causa, ante la falta de información de protocolos guiados y establecidos en procesos de limpieza y desinfección de instalaciones de toda índole, incluyendo las industriales, diversos autores y administraciones promovieron comunicaciones relacionadas con el derogado *Real Decreto 865/2003* **(2)**, junto con las correspondientes guías técnicas del Ministerio de Sanidad que aclaraban y mejoraban las directrices del Real Decreto de 2003 **(3)**. Este tipo de documentos de apoyo fueron de gran utilidad para la transposición de las directrices y protocolos de trabajo en distintas instalaciones (protección contra incendios, bañeras de hidromasaje, lavaderos de vehículos...) cuyos tratamientos no estaban claramente reflejados y definidos en el texto legal implantado.

A su vez, la coherencia, así como la sinergia, con otros textos legales de otros campos/especialidades puede implicar cierta complejidad o dificultad, tanto para la interpretación como la ejecución. En el ámbito de la ingeniería y tratamiento del agua, la prevención de la *Legionella* y la Salud Pública en particular, destaca el *Real Decreto en materia de reutilización de aguas regeneradas procedentes de terciarios de depuradoras* (*Real Decreto 1085/2024*) **(4)**. La conexión real con otros Reales Decretos, como es el de prevención de *Legionella*, puede implicar cierto temor a su aplicabilidad y transposición a la realidad y ámbito social, minimizando el enfoque de sostenibilidad en el ámbito de salud ambiental **(5)** y la protección y preservación de los recursos hídricos. Las aguas regeneradas, en el contexto del ciclo del agua, proceden de un proceso final de la depuradora de aguas residuales, también denominado Estación Regeneradora de Aguas Residuales (ERAR) **(6)**. Sí que es cierto que el efluente de la depuración cumple con un canon de reutilización establecido y se encuentra altamente regulado por la administración en cuanto a criterios higiénico/sanitarios; no obstante, las fluctuaciones y no

Este artículo tiene una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional. Usted es libre de Compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) bajo los siguientes términos: Atribución (debe darse el crédito apropiado, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo en cualquier manera razonable, pero no de alguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso); No comercial (no podrá utilizar el material con fines comerciales); Sin derivados (si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado); Sin restricciones adicionales (no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier cosa que la licencia permita). https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

linealidad, tanto por el comportamiento del efluente regenerado como del rendimiento del proceso, puede alterar la calidad del agua en todas las dimensiones, pudiendo inducir la introducción de agentes patógenos y su desarrollo por condiciones operativas hasta concentraciones infecciosas **(7)**.

Los vehículos de limpieza y baldeo de viales y zonas públicas son instalaciones de alto riesgo contempladas en el *Real Decreto de prevención de Legionella*, no solo por el uso de aguas regeneradas, sino también por las condiciones de proliferación y diseminación que los condicionan (por ejemplo, la temperatura del depósito y/o la elevada aerosolización que implican en su operatividad). *Legionella spp.*, *E. Coli* como indicador fecal y nemátodos son los indicadores de control establecidos en la legislación ante el riesgo sanitario que implican para las aguas regeneradas y que además pueden proliferar en este tipo de equipos cuando se emplean aguas regeneradas **(8)**. Estos patógenos no solo implican un riesgo por sí mismos, sino por la función de hospedador y vector de transmisión de otros microorganismos **(9)**.

En relación al riesgo higiénico, un estudio realizado en Barcelona **(10)** documentó un caso de legionelosis ocupacional en un trabajador de limpieza viaria, identificando *Legionella pneumophila* serogrupo 1 en el agua y en la espuma interna de los depósitos de dos camiones de baldeo utilizados por el trabajador. Los resultados evidenciaron que estos vehículos pueden actuar como reservorios de *Legionella* y generar aerosoles infecciosos si no se mantienen adecuadamente, lo que llevó a recomendar la eliminación de la espuma interna y la implantación de un programa específico de prevención y mantenimiento.

El presente estudio justifica la compatibilidad entre el uso de aguas regeneradas procedentes de terciarios de depuradoras, el baldeo de vías y zonas públicas, definiendo un protocolo de limpieza y desinfección debidamente justificado ante la ausencia de protocolos definidos en la legislación vigente. El cumplimento de la prevención de riesgos laborales en cuanto a exposición a agentes biológicos y riesgos asociados (*R.D. 664/1997*) **(11)** es otra ventaja colateral y transversal con otras disciplinas sociales y laborales. Se define una metodología de trabajo y protocolos para su replicación en el entorno de limpieza de áreas y viales públicos por parte de las empresas acreditadas por las consejerías de sanidad de competencia autonómica en el Reino de España en los camiones cisterna que dan servicio a la limpieza de espacios públicos con aguas regeneradas.

Se justifica la comunicación en el ámbito académico/profesional como punto de refuerzo en la definición de protocolos no establecidos en los textos consolidados anteriormente mentados, los cuales llevan asociado un vacío técnico en cuanto a protocolos de limpieza y desinfección de las cisternas de los camiones. La presente investigación ayudará a implementar mejoras y referencias bibliográficas a los *Planes de Prevención y Control de Legionella* (PPCL) por parte de las empresas inscritas en el Registro Oficial de Establecimientos de Servicios Biocida (ROESB) en las distintas comunidades autónomas de cara a sus clientes y las correspondientes flotas de vehículos. Estudios previos definen procedimientos de tra-

bajo de cisternas en distintos sectores productivos; sin embargo, no aportan referencias cuantitativas de dosis de productos y resultados de control fehacientes a nivel microbiológico cuantitativo (según la Organización Mundial de la Salud) **(12)** lo cual justifica aún más la necesidad de la investigación. El trabajo se fundamenta en una base científica consolidada, aportando una transversalidad entre la prevención de riesgos laborales, la reutilización de efluentes industriales, así como colaborar a implementar los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS con un criterio técnico corroborado (Agenda 2030) **(13)**.

La información científica disponible sobre el riesgo microbiológico asociado al empleo de aguas regeneradas en vehículos de baldeo urbano es limitada **(14)**, existiendo escasos protocolos específicos para la limpieza y desinfección de estos sistemas. No obstante, la generación de bioaerosoles durante estas operaciones constituye una vía potencial de exposición a microorganismos de transmisión aérea, entre ellos la *Legionella spp.*, lo que justifica el establecimiento de procedimientos preventivos específicos orientados a minimizar el riesgo ocupacional y proteger la Salud Pública. Se concluye por tanto como objetivo principal el aportar al *Real Decreto 487/2022* **(15)** un procedimiento de desinfección de camiones cisterna para baldeo de vías públicas que emplean aguas regeneradas, definiendo dosis, tiempos de tratamiento y resultados satisfactorios para poder ser extrapolado a cualquier escenario real ante la inexistencia en el correspondiente texto legal. La prevención de la Salud Pública en el ámbito de prevención de Legionelosis es uno de los objetivos secundarios consecuencia de la buena praxis definida, junto con el aseguramiento de la seguridad y salud de los trabajadores directamente expuestos a los trabajos de baldeo y limpieza pública.

El estudio tiene como enfoque principal la *Legionella* como agente patógeno por su control en *Real Decreto 487/2022*, principalmente por ser el agente más controlado y legislado según los distintos reales decretos. El resto de patógenos cuya exposición está controlada en el ámbito de la prevención de riesgos laborales (*R.D. 664/1997*) **(11)** es otro objetivo y ventaja asociada.

Se persigue como objetivo secundario fomentar el uso y aplicación de un procedimiento a nivel práctico, ayudando a las empresas de tratamiento biocida a asegurar un equilibrio coste/funcionalidad en su economía de empresa, factor clave y prioritario en la elaboración de presupuestos y propuestas técnico/económicas, así como los PPCL. Su extrapolación y reproducibilidad real es, por tanto, una propuesta de gran valor al ámbito científico y empresarial español.

No se contempla la realización del estudio epidemiológico dada la baja probabilidad de incidencia y desarrollo de la enfermedad hasta valores altamente infecciosos (neumonía atípica), reflejando el estudio como un protocolo con filosofía preventiva en cuanto al riesgo en origen. Se considera como limitación posibles fluctuaciones representativas de calidad físico química y microbiológica del agua de captación, que junto con condiciones más extremas puedan derivar en posibles riesgos microbiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En cuanto a los materiales se ha trabajado con una serie de vehículos de baldeo de zonas públicas (cinco unidades que permiten trabajar alta presión en aerosolización, 200 bares de operación y 2,5 m^3 de depósito y con un rendimiento de limpieza de 51.000 m^2/h). En cuanto a la población, si bien es cierto que no se contempla estudio epidemiológico tal y como se ha indicado en los objetivos e introducción, a nivel cualitativo se consideran los trabajadores asociados a las operaciones de limpieza (conductor, técnico que baldea a nivel de vía pública), así como toda la población civil expuesta al riesgo, considerando cualquier perfil social en cuanto a sexo, edad y estado posible de salud.

Este tipo de vehículos emplean agua procedente de la red de terciario (aguas regeneradas) procedentes del ente público en la Comunidad Autónoma de Madrid, con frecuencia de uso diaria. Se debe contemplar que el agua de aporte y su calidad ha sido contemplada como un punto crítico, más aún considerando las aguas regeneradas en cuanto a que, si bien es cierto están reguladas por el *R.D. 1085/2024* **(4)**, sus fluctuaciones en cuanto a calidad fisicoquímica y microbiológica pueden comprometer la proliferación del agente patógeno *Legionella* **(7)**. Este aspecto ha hecho decisivo su análisis y caracterización. Los parámetros analizados en el presente protocolo son los análisis fisicoquímicos (turbidez y sólidos en suspensión con diez réplicas/muestra a una confianza del 95% según distribución N [0;1]). Para el cálculo del intervalo de confianza se ha empleado el intervalo de confianza Z para la media tipificando la variable:

$$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

donde:

$\bar{x}$=media muestral.

z(α/2)=valor crítico de la distribución normal estándar.

σ=desviación estándar poblacional (conocida).

n=tamaño de la muestra.

Para el caso del análisis microbiológico (*Legionella*, *E. Coli* y Nemátodos intestinales) del agua de llenado de las cisternas, una vez llenas con periodicidad mensual, se ha realizado una réplica por muestra. La realización de una única réplica viene condicionada por los costes asociados a dichos análisis. Se debe contemplar además que la legislación vigente no obliga a realizar varias réplicas, ni tan si quiera la norma UNE 11731:2017 **(16)** de recuento de *Legionella*, cuyo método de análisis es de obligado cumplimiento en cuanto a procedimiento normalizado consecuencia de estar citada en Real Decreto. Los análisis microbiológicos del agua de los difusores de aerosolización y tanques se ha realizado con periodicidad mensual para verificación de funcionalidad y validación del procedimiento de desinfección realizado.

Los métodos contemplados de análisis han sido: para los sólidos en suspensión, la UNE-EN 872:2006 **(17)**; para la turbidez, la ISO 7027-1:2016 **(18)**; en el caso de la *Legionella*, la UNE EN11731:2017 **(16)** (subapartado: alta flora acompañante); y para los nemátodos intestinales, la técnica de exa-

men coprológico de Bailenger **(19)**; por último, para *E. Coli*, se ha trabajado con la norma UNE-EN ISO 9308-1:2014 **(20)**.

En cuanto al procedimiento para el estudio de los procesos de limpieza y desinfección se ha empleado hipoclorito de sodio comercial de riqueza 150 g/L (*Proquimia S.A.*, Girona, España), así como un biodispersante (*WA510 Biodispersant*, de *A&B Laboratorios*) en base surfactantes y compuestos orgánicos no iónicos compatibles con oxidantes fuertes a distintas concentraciones de trabajo. La dosis de trabajo del primero se define mediante dilución hasta la concentración de 5 mg/L de media mantenida durante las dos horas que asegura el tratamiento. La concentración residual de hipoclorito de sodio se monitoriza mediante técnica fotométrica portátil con reactivo colorante en fase líquida, dietil-p-fenilenodiamina (DPD) (*Hanna Instruments*, Woonsocket, RI, EE.UU.). Se optó por dicha fase activa biocida por la sencillez en el cálculo de dosis, menor riesgo químico asociado en su manipulación y mayor funcionalidad a otras sustancias.

Reales decretos previos y ya derogados (*R.D. 865/2003*) **(2)** recomendaban dicho orden de magnitud, por lo que considerarlos como valor de referencia puede ser un criterio de justificación. En cuanto al biodispersante, se dosifica a la concentración recomendada por el fabricante. Una vez finalizado el tratamiento de desinfección el depósito con agua hiperclorada se neutraliza con tiosulfato de sodio en fase sólida de riqueza al 75% del peso, en cantidades estequiométricas requeridas atendiendo a la última concentración de cloro libre residual cuantificada. Otros neutralizantes pueden ser empleados para dicha acción en la cantidad estequiométrica requerida (bisulfito de sodio).

Para favorecer la homogeneidad del proceso de hipercloración los vehículos de trasladan con frenadas de cierta intensidad que promueven el movimiento del agua en el interior del depósito y alcanzar así mayor mezcla y transferencia de materia entre fases. Las mediciones de ácido hipocloroso se realizan a intervalos de treinta minutos, dosificando el hipoclorito de sodio estequiométrico para paliar las pérdidas por oxidación de materia orgánica y/o evaporación. Con el objetivo de desinfectar todo el circuito se activa el sistema de aerosolización en intervalos de tiempo de treinta minutos por un tiempo de un minuto de purgado. El control de pH se ha realizado en la monitorización, trabajando en el intervalo [7,05;8,10] para asegurar la eficacia del cloro durante el tratamiento con el medidor portátil. Se determinó mediante un medidor portátil de pH *HI98128 pHep® 5* (*Hanna Instruments*, Woonsocket, RI, EE.UU.).

Los análisis microbiológicos se realizan a los quince días tras la desinfección, tal y como indica la legislación aplicada y vigente con el objetivo de determinar la satisfacción y resultados del tratamiento. Dentro del mantenimiento preventivo, y de forma análoga a otro tipo de instalaciones, se define protocolo de purgado con periodicidad semanal un tiempo de dos minutos. En el caso de las boquillas se fomenta la limpieza de terminales ante la deposición y acumulación de sedimentos de forma manual con elementos astringentes. Los registros se hacen imprescindibles ante posibles inspecciones por parte de la autoridad sanitaria, quedando este tipo de actuaciones de

igual forma debidamente reflejadas en el Plan de Prevención documentado para cada vehículo.

Para la toma de muestras se ha determinado la calidad del agua en la fase de llenado procedente de la red del terciario **[Tabla 1]** con periodicidad mensual. En el caso de los depósitos de acumulación se ha analizado la *Legionella*, *E. Coli* y nemátodos intestinales en el punto de drenaje del depósito así como en las boquillas más distales de barrido a ras del terreno con la misma periodicidad **[Tabla 2]**. Este aspecto queda justificado por la premisa de determinación de los agentes biológicos en los puntos de mayor riesgo existente (*R.D. 487/2022*) **(15)**. En la **Figura 1** se muestra un resumen del proceso de limpieza y desinfección estudiado (A) así como de los parámetros analíticos, tanto químicos como microbiológicos de control (B).

RESULTADOS

Los resultados son los mostrados en las **Tablas 1 y 2**. Durante el periodo de seguimiento, los parámetros fisicoquímicos analizados en el agua regenerada se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, observándose una baja variabilidad entre las diferentes campañas de muestreo **[Tabla 1]**. Asimismo, los análisis microbiológicos realizados tanto en el agua de aporte como en los vehículos tras la aplicación del protocolo de limpieza y desinfección no detectaron la presencia de *Legionella spp.*, *Escherichia coli* ni nemátodos intestinales por encima de los límites establecidos, manteniéndose resultados conformes durante todo el periodo de estudio **[Tabla 2]**. Estos parámetros son los regulados por la legislación (*R.D. 1085/2024*) **(4)**. A continuación se muestran los resultados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo se puede contemplar como un referente en cuanto a procedimiento de desinfección y prevención de la *Legionella* en vehículos de limpieza y baldeo, al no encontrarse definido un protocolo con unas especificaciones/directrices concretas en los textos legales consolidados vigentes. Las recomendaciones y fases definidas en la investigación aportan éxito en cuanto al bloqueo de proliferación de la *Legionella* en el ámbito de la Salud Pública, así como de otros indicadores microbiológicos. La prevención ante la exposición de agentes biológicos de trabajadores queda de igual forma consolidada y evidenciada (*R.D. 487/2022*) **(15)**.

En cuanto a la calidad del agua de aporte, aunque el recuento de *Legionella* se encontraba por debajo del límite de detección de la norma UNE 11731:2017 **(16)** se ha tenido que contemplar su análisis por posible riesgo de proliferación en el agua de llenado, considerando el agua de lavado procedente de un terciario. El hecho de estar por debajo del límite de detección no implica la no existencia del agente patógeno y el riesgo de desarrollo en cisternas por las condiciones operativas de las mismas.

En cuanto al proceso de limpieza y desinfección se concluye una eficacia del tratamiento realizando una desinfección a 5,20±0,55 mg/L de concentración de ácido hipocloroso libre en el intervalo de pH de 7,05-8,10 durante dos horas con periodicidad mensual, asegurando la plena desinfección de ▶

Tabla 1
Caracterización del agua de llenado de las cisternas procedente de terciarios.

Tiempo (mes)	Sólidos en suspensión (mg/L). VP: 20 mg/L	Turbidez (UNT). VP: 10 UNT	*Legionella spp.* (UFC/L). VP: ausencia	Nemátodos intestinales (huevo/10 L) (1979). VP: 1 huevo/10 L	*E. Coli* (UFC/100 ml). VP: 200 UFC/ 100 ml
Mes 1	5,5±1,20	4,5±0,8	<100	<1	Ausencia
Mes 2	5,1±1,20	3,5±0,9	<100	<1	Ausencia
Mes 3	4,9±0,85	1,9±0,1	<100	<1	Ausencia
Mes 4	4,1±0,91	2,8±0,4	<100	<1	Ausencia
Mes 5	3,5±0,70	4,6±0,6	<100	<1	Ausencia
Mes 6	4,2±0,81	5,4±1,3	<100	<1	Ausencia
Mes 7	2,4±0,52	3,0±0,3	<100	<1	Ausencia
Mes 8	5,7±0,75	5,1±1,3	<100	<1	Ausencia
Mes 9	7,5±1,54	5,1±1,3	<100	<1	Ausencia
Mes 10	3,1±1,36	3,4±0,9	<100	<1	Ausencia
Mes 11	2,7±0,40	1,9±0,1	<100	<1	Ausencia
Mes 12	1,6±1,40	1,59±0,1	<100	<1	Ausencia

Tabla 2
Recuento microbiológico en los camiones cisterna tras la limpieza y desinfección (muestreo a los quince días) para boquillas de aerosolización y purga de cisternas.

Tiempo (mes)	*Legionella spp.* (UFC/L). VP: ausencia		Nemátodos intestinales (huevo/10 L). VP: 1 huevo/10 L		*E. Coli* (UFC/100 ml). VP: 200 UFC/100 ml	
	Boquillas	*Purga cisterna*	*Boquillas*	*Purga cisterna*	*Boquillas*	*Purga cisterna*
Mes 1	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 2	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 3	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 4	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 5	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 6	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 7	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 8	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 9	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 10	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 11	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia
Mes 12	<100	<100	<1	<1	Ausencia	Ausencia

Figura 1
XXXXXXXXXXXXX

A. Proceso de limpieza y desinfección

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agua regenerada	**Biodispersante**	**Hipoclorito sódico**	**Homogeneización**	**Control de Cl_2/pH**	**Aerosolización del circuito**	**2 h de tratamiento**	**Neutralización**	**Muestreo**	**Control microbiológico**
• Llenado de la cisterna con agua regenerada procedente de la depuradora (ERAR).	• Dosificación según fabricante.	• Dosis: 5,20 ± 0,55 mg/L de ácido hipocloroso libre (Cl_2).	• Recirculación del circuito.	• Medición cada 30 min. • pH: 7,05 – 8,10.	• 1 min cada 30 min.	• Tiempo de contacto: 2 h.	• Tiosulfito sódico	• Boquillas y purga de la cisterna.	• *Legionella* spp., *E. coli* y nemátodos (a los 15 días).

B. Parámetros de control y condiciones operativas

Parámetros de control	
Cloro libre (ácido hipocloroso)	5,20 ± 0,55 mg/L
pH	7,05 – 8,10
Tiempo de tratamiento	2 h
Medición de Cl_2/pH	cada 30 min
Aerosolización del circuito	1 min cada 30 min

Condiciones operativas	
Tiempo de tratamiento	2 h
Medición de Cl_2/pH	cada 30 min
Aerosolización del circuito	1 min cada 30 min

Neutralización	
Reactivo	Tiosulfato sódico

Control microbiológico	
Analitos	*Legionella* spp., *E. coli* y nemátodos
Tiempo de análisis	A los 15 días

los sistemas para las variaciones de propiedades analíticas del agua del terciario.

Los resultados obtenidos son consistentes con la evidencia científica disponible, que señala que la implantación de programas de limpieza, desinfección y control microbiológico constituye una de las medidas más eficaces para prevenir la proliferación de la *Legionella spp.* en instalaciones con capacidad de generar aerosoles **(21)**. Aunque la mayor parte de los estudios se han centrado en sistemas de agua sanitaria, torres de refrigeración y otras instalaciones de riesgo, los principios de gestión preventiva son igualmente aplicables a los vehículos de baldeo abastecidos con aguas regeneradas, dado que durante su funcionamiento se generan aerosoles potencialmente inhalables. Asimismo, diversos autores han señalado que la reutilización de aguas regeneradas requiere una evaluación continua del riesgo microbiológico, especialmente cuando estas se emplean en aplicaciones con contacto indirecto con la población o con los trabajadores, siendo la implantación de protocolos de limpieza y desinfección una herramienta esencial para minimizar la proliferación de microorganismos oportunistas como la *Legionella spp.* **(14)**

Desde la perspectiva de la Salud Pública, el interés de este protocolo trasciende el cumplimiento de los requisitos establecidos por el *Real Decreto 487/2022* **(15)**, al proporcionar una herramienta técnica validada para reducir el riesgo microbiológico asociado al empleo de aguas regeneradas en operaciones de limpieza viaria. En un contexto de creciente reutilización del agua, impulsada por criterios de sostenibilidad y economía circular, la implantación de procedimientos estandarizados de control microbiológico contribuye a proteger tanto a las personas trabajadoras potencialmente expuestas como a la población general, favo- ▶

reciendo un uso seguro de este recurso y reforzando las estrategias de prevención de la legionelosis en instalaciones susceptibles de generar aerosoles **(22)**.

El presente trabajo supone un paradigma en cuanto a metodología/procedimiento de desinfección y control de la *Legionella* y otros patógenos, pudiendo ser un referente para las distintas empresas inscritas en los respectivos Registros Oficiales de las Empresas de Establecimientos Biocidas en las distintas comunidades autónomas en cuanto a mantenimiento preventivo/correctivo. La sencillez del protocolo no sólo aporta funcionalidad, sino un mínimo coste de operación en este tipo de instalaciones cuyos tratamientos se encuentran exigidos por legislación consolidada, habiendo mantenido un equilibrio técnico/económico correcto.

Se plantea como posible futura línea de investigación el estudio epidemiológico a los posibles trabajadores sospechosos de infección, con el objetivo de determinar posibles desviaciones del presente protocolo de limpieza y desinfección. El estudio epidemiológico no sólo deberá estar enfocado a la Legionelosis sino también a otro tipo de agentes biológicos definidos en la presente comunicación. El estudio se ha realizado con biocida hipoclorito de sodio, permitiendo la legislación el uso de otros biocidas atendiendo a las dosis y tiempos recomendados. Si bien es cierto que en muchas ocasiones el empleo de otros biocidas empleados entraña más riesgo (por ejemplo, peróxido de hidrógeno), no se descarta la posibilidad de ser analizado en otras líneas de trabajo, determinando tiempos de desinfección, concentraciones y resultados pre y postratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cunha BA, Burillo A, Bouza E. (2016). *Legionnaires' disease.* The Lancet, 387(10016), 376-385. *https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60078-2*

2. Ministerio de la Presidencia. (2003). *Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis* (BOE núm. 171, de 18 de julio de 2003). Boletín Oficial del Estado. *https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/07/04/865*

3. Ortega Crespo MI. (2007). *'Guía Técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis': visitas en la web del Ministerio de Sanidad a la Guía Técnica.* Revista De Salud Ambiental, 7(2), 181-184. Recuperado a partir de *https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/262*

4. Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. (2024). *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua* (BOE núm. 256, de 23 de octubre de 2024). Boletín Oficial del Estado. *https://www.boe.es/eli/es/rd/2024/10/22/1085*

5. Pérez Jiménez D, Diago Garrido Y, Corona Miranda B, Espinosa Díaz R, González Pérez JE. (2011). *Enfoque actual de la salud ambiental.* Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 49(1), 84-92. *http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032011000100010*

6. Rock C, Gerba CP, Pepper IL. (2015). *Recycled Water Treatment and Reuse.* Environmental Microbiology (3ª ed., pp. 623-632). Academic Press. *https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00027-2*

7. Jjemba PK, Weinrich LA, Cheng W, Giraldo E, LeChevallier MW. (2010). *Regrowth of potential opportunistic pathogens and algae in reclaimed-water distribution systems.* Applied and Environmental Microbiology, 76(13), 4169-4178. *https://doi.org/10.1128/AEM.03147-09*

8. Riveros M, Ochoa TJ. *Enteropatógenos de importancia en salud pública.* Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2015;32(1):157-164.

9. Peinador M, Quirós J. (2000). *Nematodos en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano en Costa Rica*. Revista Costarricense de Salud Pública, 9(17), 33-44. Accedido November 28, 2024, desde: *http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292000000200006&lng=en&tlng=es.*

10. Valero N, De Simón M, Gallés P, Izquierdo N, Arimon J, González R, Manzanares-Laya S, Avellanes I, Gómez A. (2017). *Street cleaning trucks as potential sources of Legionella pneumophila.* Emerging Infectious Diseases, 23(11), 1880-1882. *https://doi.org/10.3201/eid2311.161390*

11. España. Ministerio de la Presidencia. (1997). *Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.* Boletín Oficial del Estado, núm. 124, de 24 de mayo de 1997. *https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/12/664/con*

12. World Health Organization. (2013). *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies: Note 3. Cleaning and disinfecting water storage tanks and tankers*. World Health Organization. *https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/environmental-health-in-emergencies*

13. Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Resolución A/RES/70/1). *https://sdgs.un.org/2030agenda*

14. Hamilton KA, Hamilton MT, Johnson W, Jjemba P, Bukhari Z, LeChevallier M, Haas CN. (2018). *Health risks from exposure to Legionella in reclaimed water aerosols: Toilet flushing, spray irrigation, and cooling towers.* Water Research, 134, 261-279. *https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.022*

15. Ministerio de Sanidad. (2022). *Real Decreto 487/2022, de 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis* (BOE núm. 148, de 22 de junio de 2022). Boletín Oficial del Estado. *https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/06/21/487/con*

16. Asociación Española de Normalización. (2017). UNE-EN ISO 11731:2017. *Calidad del agua. Recuento de Legionella.* UNE.

17. Asociación Española de Normalización. (2006). UNE 872: 2006. *Calidad del agua. Determinación de sólidos en suspensión.* UNE.

18. International Organization for Standardization. (2016). ISO 7027-1:2016. *Water quality-Determination of turbidity-Part 1: Quantitative methods.* ISO.

19. Bailenger J. (1979). *Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences.* Journal of the American Medical Technology, 41(2), 65-71.

20. Asociación Española de Normalización. (2014). UNE-EN ISO 9308-2:2014. *Calidad del agua. Recuento de Escherichia coli y bacterias coliformes. Parte 2: Método del número más probable.* UNE.

21. Whiley H, Bentham R, Brown MH, Boehm AB. (2017). *Legionella persistence in manufactured water systems: Past, present and future.* Current Environmental Health Reports, 4(2), 256-266. *https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01330*

22. Cunha BA, Burillo A, Bouza E. (2016). *Legionnaires' disease.* The Lancet, 387(10016), 376-385. *https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60078-2*