



Uso de una solución electrolizada de superoxidación para desinfectar mascarillas de ventilación mecánica no invasiva

Use of an electrolyzed superoxidation solution to disinfect non-invasive mechanical ventilation masks

Saraí Del Carmen Toral-Freyre,* Manuel Castillejos-López,* Andrés Hernández,*
Eduardo Becerril-Vargas,* Mario A Mújica-Sánchez,* Víctor M Mendoza-Romero,* Anayeli Casino-Ríos,*
Guillermina González-Mancera,† Ariana Cabrera-Licona,§ Nicolás Mervitch-Sigal§

*Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas, Ciudad de México, México; †Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México; §Esteripharma S.A. de C.V., Estado de México, México.

RESUMEN. Introducción: las mascarillas de ventilación mecánica no invasiva son insumos no reutilizables de alta demanda en los servicios de terapia respiratoria. Determinar si pueden ser desinfectadas exitosamente podría ayudar a optimizar recursos. Las soluciones electrolizadas de superoxidación de pH neutro son desinfectantes de alto nivel efectivas e inocuas utilizadas en el ámbito hospitalario. **Objetivo:** evaluar la efectividad de una solución electrolizada de superoxidación neutra para eliminar la carga bacteriana de mascarillas de ventilación mecánica no invasiva y sus efectos sobre el material de éstas. **Material y métodos:** 49 mascarillas utilizadas en pacientes con enfermedades no infectocontagiosas o neumonía del Servicio de Terapia Respiratoria del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas se distribuyeron, de manera aleatoria, en el grupo experimental de soluciones electrolizadas de superoxidación de pH neutro (n = 22) y el grupo control ortoformaldehído (n = 27). Se realizó un muestreo bacteriológico antes y después de la desinfección y en cinco de cada grupo se caracterizó la carga bacteriana. La desinfección fue por inmersión en soluciones electrolizadas de superoxidación de pH neutro al 0.004%, por cinco minutos o por 45 minutos en ortoformaldehído. Las mascarillas nuevas sometidas a tres ciclos de desinfección, se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido. **Resultados:** la desinfección con soluciones electrolizadas de superoxidación de pH neutro eliminó 100% de la carga bacteriana. La solución electrolizada de superoxidación de pH neutro fue efectiva contra las bacterias oportunistas nosocomiales *Staphylococcus aureus*, *Corynebacterium striatum*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes* y *Enterococcus faecalis* de las mascarillas. La microscopía electrónica de barrido reveló que tres ciclos de desinfección no generan daños estructurales en el material. **Conclusión:** el método de desinfección con soluciones electrolizadas de superoxidación de pH

ABSTRACT. Introduction: non-invasive mechanical ventilation masks are non-reusable supplies in high demand in respiratory therapy services. Determining whether they can be successfully disinfected could help to optimize resources. Neutral pH electrolyzed superoxidation solutions are effective and harmless high-level disinfectants used in the hospital environment. **Objective:** to evaluate the effectiveness of an electrolyzed neutral superoxidation solution to eliminate the bacterial load of noninvasive mechanical ventilation masks and its effects on the mask material. **Material and methods:** 49 masks used in patients with non-infectious diseases or pneumonia of the Respiratory Therapy Service of the Ismael Cosío Villegas National Institute of Respiratory Diseases were randomly distributed into the experimental group of electrolyzed solutions of neutral pH superoxidation (n = 22) and the orthophthalaldehyde control group (n = 27). Bacteriological sampling was performed before and after disinfection and the bacterial load was characterized in five of each group. Disinfection was by immersion in electrolyzed solutions of neutral pH 0.004% superoxidation, for five minutes or for 45 minutes in orthophthalaldehyde. New masks subjected to three disinfection cycles were analyzed by scanning electron microscopy. **Results:** disinfection with neutral pH electrolyzed superoxidation solutions eliminated 100% of the bacterial load. The neutral pH electrolyzed superoxidation solution was effective against the nosocomial opportunistic bacteria *Staphylococcus aureus*, *Corynebacterium striatum*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes* and *Enterococcus faecalis* from the masks. Scanning electron microscopy revealed that three disinfection cycles did not generate structural damage to the material. **Conclusion:** the disinfection method with neutral pH electrolyzed superoxidation solutions was effective in eliminating the bacterial load without causing damage to the mask material.

Correspondencia:

Dra. Saraí Del Carmen Toral-Freyre

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: toralfreyre@yahoo.com.mx

Recibido: 11-IV-2023; aceptado: 25-VII-2023.

Citar como: Toral-Freyre SC, Castillejos-López M, Hernández A, Becerril-Vargas E, Mújica-Sánchez MA, Mendoza-Romero VM et al. Uso de una solución electrolizada de superoxidación para desinfectar mascarillas de ventilación mecánica no invasiva. Neumol Cir Torax. 2022; 81 (4):224-231. <https://dx.doi.org/10.35366/112951>

neutro fue efectivo para eliminar la carga bacteriana sin generar daños en el material de las mascarillas.

Palabras clave: solución electrolizada de superoxidación, mascarilla de ventilación mecánica no invasiva, desinfección de alto nivel, reúso de dispositivos médicos.

INTRODUCCIÓN

La utilización de mascarillas de un solo uso para la administración de medicamentos nebulizados, para oxigenoterapia y para aplicar la ventilación mecánica no invasiva (VMNI) resulta en un elevado consumo de recursos materiales y económicos para los servicios de terapia respiratoria de los hospitales públicos del país. Aplicar técnicas de desinfección efectivas que permitan reutilizar estos insumos podría ser una estrategia para optimizar en este rubro. Este tipo de equipos, al ser semicríticos, deben someterse a protocolos estandarizados de desinfección de alto nivel que aseguren su efectividad y garanticen la integridad del material.¹⁻³

Actualmente, en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER), Ciudad de México, se aplica un protocolo de desinfección para equipos semicríticos reusables que consiste en un ciclo de lavado enzimático y un ciclo de inmersión en ortoformaldehído (OPA) durante 40 minutos, seguido de enjuague con agua estéril y secado.^{4,5} Sin embargo, el uso de OPA tiene desventajas como manchar la piel, la ropa y las superficies.^{6,7} Además, se han reportado casos de afectaciones en la salud del personal técnico y de anafilaxis en pacientes tratados con materiales desinfectados con esta sustancia.^{8,9}

En contraste, las soluciones electrolizadas de superoxidación de pH neutro (SES) son desinfectantes de alto nivel atóxicos, no corrosivos y amigables con el medio ambiente.¹⁰⁻¹³ Se producen a través de la electrólisis controlada de una solución acuosa de cloruro de sodio que genera especies activas de oxígeno y cloro, como peróxido de hidrógeno y ácido hipocloroso.¹⁴ Éstos actúan depredando electrones y rompiendo enlaces químicos de las envolturas externas en los microorganismos.¹⁵ En consecuencia, genera desnaturalización de proteínas en virus y lisis osmótica en organismos unicelulares.¹⁶ La efectividad de la SES neutra se ha documentado en hongos, esporas, virus y bacterias; incluso en cepas multirresistentes y en *biofilms*.¹⁷⁻¹⁹ Debido a estas propiedades, se utilizan en la desinfección de ambientes hospitalarios como unidades de cuidados intensivos, en entornos sanitarios y en salas con equipos especializados, como las salas de radiología y tomografía.¹⁰⁻¹³

En el presente trabajo se evaluó la efectividad de una SES con pH neutro al 0.004% de especies activas de cloro y oxígeno para eliminar la carga bacteriana de mascarillas de un solo uso de VMNI utilizadas por pacientes con enfermedades no infectocontagiosas de distintos tipos de

Keywords: electrolyzed superoxidation solution, noninvasive mechanical ventilation mask, high-level disinfection, reuse of medical devices.

neumonías, en paralelo con un protocolo control de desinfección para equipos semicríticos de aplicación rutinaria en el INER que utiliza OPA. También se analizaron los efectos de tres ciclos de desinfección con SES sobre el material de las mascarillas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

MATERIAL Y MÉTODOS

Recolección de mascarillas de ventilación mecánica no invasiva (VMNI). Estudio de tipo experimental. El método de muestreo empleado para la recolección de las mascarillas para VMNI (AcuCare™ F1-0 NV LGE, ResMed) fue por conveniencia. Pertenecieron a casos consecutivos que cumplieron los criterios de selección. Se incluyeron las provenientes de pacientes internados en el área clínica del Servicio de Terapia Respiratoria del INER con enfermedades no infectocontagiosas. Específicamente con enfermedad obstructiva crónica (EPOC), síndrome de obesidad-hipoventilación, crisis asmática, derrame pleural, tumoración pulmonar, insuficiencia respiratoria tipo II, cáncer pulmonar, trombosis venosa, enfermedad multinodular pulmonar e hipertensión pulmonar. También se incluyeron mascarillas utilizadas por pacientes con casos de neumonía, neumonía nosocomial y empiema multiloculado. Se descartó incluir mascarillas utilizadas por pacientes con diagnósticos de tuberculosis, virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), hepatitis B y C.

Por semana se recolectaron de cinco a seis mascarillas bajo los lineamientos del Manual para la Limpieza y Desinfección del Equipo Reusable del Servicio de Terapia Respiratoria.⁴ A cada una se le asignó un número de identificación y de manera aleatoria se fueron asignando a dos grupos identificados como: grupo experimental SES y grupo control OPA. Al final del estudio 22 integraron el grupo SES y 27 el de OPA. Asimismo, cada semana de una a dos mascarillas, de las asignadas a cada grupo, se seleccionaron aleatoriamente para la tipificación de la contaminación bacteriológica hasta tener un total de cinco por tipo de desinfectante.

Determinación de la carga bacteriológica. Se le realizó un control microbiológico de la parte interna de las mascarillas mediante hisopado (hisopos de plástico con cabeza de rayón estériles, 3M™ RediSwab). Los hisopos se colocaron dentro de tubos con 10 mL de caldo Lethen (3M™ RediSwab Caldo Lethen RS96010LET). Se sembra-

ron por duplicado 100 μ L del caldo y una dilución 1:10 en placas de agar de soja tripticaseína (TSA) y se incubaron por 48 horas a 37 °C. La carga bacteriana se determinó contando las unidades formadoras de colonias (UFC) y ajustando respecto al volumen total del caldo Lethen. La identificación de los microorganismos se llevó a cabo con pruebas bioquímicas y el método automatizado VITEK® 2, con base en los protocolos establecidos en el Laboratorio de Microbiología Clínica del instituto.

Proceso de desinfección de mascarillas de ventilación mecánica no invasiva. Las mascarillas del grupo experimental SES se desinfectaron siguiendo los pasos: 1) inmersión del dispositivo por tres minutos en una dilución de 4 mL/L de agua del detergente enzimático (Endozime® AW Plus); 2) enjuague con agua corriente; 3) inmersión por cinco minutos en SES al 0.004% de especies activas de cloro y oxígeno y potencial REDOX 750-950 mV (Estericide® QX, No. Reg. Sanitario: 0363C2006 SSA); 4) secado; y 5) limpieza con gasa estéril.

Las del grupo control OPA se sometieron al proceso rutinario de lavado y desinfección de material semicrítico de la institución consistente en: 1) inmersión por tres minutos en la dilución del detergente enzimático (Endozime® AW Plus); 2) enjuague con agua corriente; 3) inmersión por 40 minutos en una solución de OPA al 0.55% (CIDEX® OPA); 4) enjuague exhaustivo con agua estéril; 5) secado; y 6) limpieza con gasa estéril.

Al término de los protocolos se realizó un control microbiológico de la forma antes descrita. Ambas soluciones desinfectantes se utilizaron siguiendo las indicaciones de los fabricantes, y se cambiaron al detectarse la aparición de partículas suspendidas. La actividad adecuada de OPA se verificó utilizando las tiras reactivas indicadas por el proveedor, mientras que el reuso de la SES se llevó a cabo de acuerdo con las indicaciones del fabricante. El personal técnico encargado de realizar los procesos de desinfección fue informado sobre las características de la SES y su inocuidad. Sin embargo, se les pidió que aplicaran las mismas medidas de bioseguridad que con el uso de OPA: uso de guantes, mascarilla y bata. También se les requirió reportar cualquier incomodidad durante el proceso. El personal no fue cegado ante los tratamientos que debía recibir cada mascarilla. Este trabajo se realizó de noviembre de 2017 a agosto de 2018. Las mascarillas desinfectadas en este protocolo no fueron reutilizadas en pacientes.

Análisis de daños estructurales en el material de las mascarillas ventilación mecánica no invasiva por microscopía electrónica de barrido. Se utilizaron seis mascarillas nuevas de VMNI de un solo uso para BiPAP (AcuCare™ F1-0 NV LGE, ResMed). Aleatoriamente se asignaron al grupo experimental SES (n = 3) o al grupo control OPA (n = 3). Todas las mascarillas se sometieron a tres ciclos seguidos de desinfección, de la manera ya descrita antes.

Se tomaron fotografías de las mascarillas en las mismas condiciones de luz y perspectiva. El análisis de cambios estructurales en el material se realizó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) JEOL JCM-600Plus. Las muestras fueron recubiertas con grafito y oro. Las imágenes se adquirieron utilizando un detector SED de alto vacío con un tamaño de punto de 4.5, una distancia de trabajo de 8.1 y a 15 kV. Las micrografías se obtuvieron en aumentos de 5,000 \times y 10,000 \times . Los estudios fueron realizados en el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México de la Ciudad de México.

RESULTADOS

El protocolo de desinfección con SES fue efectivo para descontaminar mascarillas VMNI utilizadas por pacientes. La inmersión de las mascarillas de VMNI en SES por cinco minutos eliminó 100% de la carga bacteriana, independientemente de la cantidad inicial, tanto en las mascarillas utilizadas en pacientes con enfermedades no infectocontagiosas, como en las mascarillas usadas en pacientes con neumonía de distinta etiología (Tabla 1). El mismo resultado se obtuvo al usar el OPA utilizado como un control de desinfección. Fue evidente que los dos procesos de desinfección eliminan por completo la contaminación bacteriana; por tanto, no se aplicó ningún análisis estadístico pues no hay diferencias entre ellos que puedan ser comparadas. Es decir, SES tuvo los mismos resultados que el OPA utilizado como control.

En cuanto a la tipificación bacteriana, en las cinco mascarillas que se eligieron aleatoriamente del grupo SES, previo a la desinfección, se encontró que dos estaban colonizadas por *Enterococcus faecalis*, una por *Enterobacter cloacae*, otra por *Enterobacter aerogenes* y una última por *Staphylococcus aureus* y *Corynebacterium striatum* (Tabla 2). La inmersión en SES por cinco minutos eliminó por completo a estas bacterias típicamente nosocomiales oportunistas de las mascarillas. En el caso del grupo OPA, de las cinco mascarillas elegidas al azar dos estaban contaminadas con *Staphylococcus aureus*, una con *Enterobacter cloacae*, otra con *Enterococcus faecalis* y una más con *Pseudomonas aeruginosa* (Tabla 2). De igual forma, la inmersión por 45 minutos en OPA eliminó a estos microorganismos de las mascarillas.

Con respecto a los tiempos de duración de cada proceso de desinfección, el uso de SES requirió en promedio de 20 minutos por mascarilla. Se necesitaron 15 minutos de manejo que comprendió las etapas de lavado con detergente enzimático, para eliminar la materia orgánica, enjuague con agua corriente, el secado después de la inmersión en SES y la limpieza con una gasa estéril. En contraste, la desinfección con OPA requiere, además de los 40 minutos de inmersión,

Tabla 1: Comparación de los métodos de desinfección con solución electrolizada de superoxidación de pH neutro y ortoftaldehído.

Método de desinfección							
Solución electrolizada de superoxidación de pH neutro (SES)				Ortoftaldehído (OPA)			
Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	UFC (10 ³)/mL	Muerte bacteriana (%)	Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	UFC (10 ³)/mL	Muerte bacteriana (%)
1	Síndrome de obesidad-hipoventilación	4.6	100	2	Crisis asmática	80	100
5	Síndrome de obesidad-hipoventilación	110	100	3	Derrame pleural izquierdo	68	100
21	Neumonía intersticial	40	100	4	Derrame pleural izquierdo	0	100
25	Masa pulmonar	0	100	8	Tumoración pulmonar izquierda	0	100
27	EPOC exacerbado	26	100	12	Empiema multiloculado	4	100
31	Síndrome de obesidad-hipoventilación	110	100	13	EPOC	6	100
34	Neumonía nosocomial	18	100	17	Empiema multiloculado	290	100
36	Neumonía atípica	4.2	100	18	Insuficiencia respiratoria tipo II	1.3	100
39	Neumonía intersticial difusa	380	100	20	Cáncer pulmonar	0	100
40	Masa pulmonar	2.8	100	23	Neumonía intersticial difusa	45	100
44	Insuficiencia respiratoria mixta	280	100	26	Síndrome de obesidad-hipoventilación	98	100
46	Insuficiencia respiratoria tipo II	0.4	100	29	EPOC exacerbado	0	100
47	Neumonía	6.1	100	30	EPOC exacerbado, insuficiencia respiratoria tipo II	2,100	100
48	Neumonía	13	100	33	EPOC	1.7	100
59	Trombosis venosa	0	100	38	EPOC/insuficiencia respiratoria tipo II	120	100
64	Neumonía intersticial	300	100	45	EPOC	230	100
68	EPOC	420	100	50	Neumonía	8.5	100
71	Enfermedad multinodular pulmonar	0	100	51	Tumoración pulmonar	460	100
72	Neumonía	600	100	52	Neumonía intersticial difusa	140	100
73	Neumonía	680	100	53	No especificada	11	100
75	Insuficiencia respiratoria tipo II	1.1	100	54	Hipertensión pulmonar	250	100
83	Neumonía	22	100	57	Neumonía	9.6	100
				58	Neumonía	8.5	100

Continúa Tabla 1: Comparación de los métodos de desinfección con solución electrolizada de superoxidación de pH neutro y ortoformaldehído.

Método de desinfección							
Solución electrolizada de superoxidación de pH neutro (SES)				Ortoformaldehído (OPA)			
Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	UFC (10 ³)/mL	Muerte bacteriana (%)	Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	UFC (10 ³)/mL	Muerte bacteriana (%)
				61	Neumonía intersticial difusa	68	100
				62	Neumonía intersticial difusa	0	100
				67	Enfermedad pulmonar intersticial difusa	0	100
				77	EPOC	2	100

ID = identificación. UFC = unidades formadoras de colonias. EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Tabla 2: Tipificación de los microorganismos en cinco mascarillas de ventilación mecánica no invasiva de un solo uso antes del proceso de desinfección.

Método de desinfección					
Solución electrolizada de superoxidación de pH neutro (SES)			Ortoformaldehído (OPA)		
Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	MO identificado	Mascarilla ID	Diagnóstico del paciente	MO identificado
31	Síndrome de obesidad-hipoventilación	<i>E. cloacae</i>	50	Neumonía	<i>S. aureus</i>
40	Masa pulmonar	<i>S. aureus</i> <i>C. striatum</i>	54	Hipertensión pulmonar	<i>E. cloacae</i>
44	Insuficiencia respiratoria mixta	<i>E. faecalis</i>	57	Neumonía	<i>E. faecalis</i>
64	Neumonía intersticial	<i>E. faecalis</i>	58	Neumonía	<i>P. aeruginosa</i>
73	Neumonía	<i>E. aerogenes</i>	77	EPOC	<i>S. aureus</i>

ID = identificación. MO = microorganismo. EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

20 minutos en el manejo pre y posterior. En particular, es necesario un lavado exhaustivo con agua estéril para eliminar los restos de OPA. Es entonces que el uso de la SES como desinfectante ahorra alrededor de 40 minutos por mascarilla. Finalmente, el personal técnico no reportó ninguna incomodidad física asociada a la manipulación de la SES.

El protocolo de desinfección con SES no indujo daños estructurales en el material de las mascarillas VMNI. A nivel macroscópico, las fotografías de las mascarillas al término de los protocolos de desinfección, adquiridas en las mismas condiciones de luz, mostraron que las inmersas con SES tenían una apariencia translúcida después de tres ciclos de desinfección (Figura 1). En contraste, las inmersas por tres veces en el OPA presentaban un opacamiento amarillamiento (Figura 1).

Sin embargo, el análisis de la topografía de la superficie de las mascarillas mediante microscopía electrónica de

barrido (MEB) reveló un aspecto similar entre las muestras inmersas en SES u OPA. No se apreció daño estructural aparente que pueda sugerir agresividad de los desinfectantes con el material de las mascarillas (Figura 1). Cabe mencionar que con la MEB se detectó la presencia de partículas metálicas depositadas sobre la superficie de las mascarillas nuevas, es decir, antes de ser sometidas a los procedimientos de desinfección (dato no mostrado). Esto podría ser atribuido a los procesos de fabricación o empaque de dichos dispositivos médicos. Debemos señalar que tras la realización de los protocolos de desinfección la carga de estas partículas disminuyó.

DISCUSIÓN

En este trabajo se determinó que una SES al 0.004% de especies activas de cloro y oxígeno puede eliminar la carga

bacteriana de mascarillas para VMNI usadas por pacientes con enfermedades no infectocontagiosas y distintos tipos de neumonías. Mostró ser efectiva contra las bacterias *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Corynebacterium striatum*. Las cuales son de particular importancia médica, ya que son oportunistas nosocomiales multirresistentes, con capacidad de formar biopelículas (*biofilms*) en los dispositivos médicos.²⁰ Después de la inmersión por cinco minutos en la solución electrolizada, se erradicó completamente la biocarga sin dependencia de la densidad al inicio del proceso de desinfección. Esto concuerda con una serie de informes en los que se demuestra que la SES tiene acción bactericida contra cepas multirresistentes y biopelículas.^{17-19,21,22} Esta actividad antimicrobial se debe, a grandes rasgos, a las especies activas de cloro y oxígeno, las cuales por mecanismos oxidantes generan lisis osmótica, desnaturalización de proteínas y lípidos y daño al material genético.^{15,16} Cabe destacar que a la fecha y en nuestro conocimiento, no hay evidencia que indiquen resistencia de algún patógeno a la acción germicida de la SES. Por tal razón se utilizan como desinfectantes de alto nivel y esterilizantes en frío. Asimismo, se ha mostrado que la SES neutra es un desinfectante no corrosivo, por lo que se aplica en la desinfección de equipos especializados como los que se encuentran en las salas de tomografía computarizada y

resonancia magnética nuclear.¹³ Acorde con estas evidencias, la SES no indujo cambios en las mascarillas apreciables a nivel macroscópico. En concordancia, el análisis de sus superficies por MEB mostró que la inmersión en SES por tres ciclos consecutivos, no induce daños estructurales en el material. Al respecto, un estudio reciente estableció que la inmersión de impresiones de polivinil siloxane para prótesis dentales por 10 minutos en SES no altera la reproducción de los detalles de la superficie ni su textura,²³ lo que coincide con los resultados de este trabajo.

Para establecer si la desinfección de las mascarillas con SES era eficiente, en este trabajo se utilizó como un control desinfección al OPA. Este es un desinfectante usado rutinariamente en la descontaminación de material semicrítico, es decir, su efectividad está validada por organizaciones de salud en el mundo.¹ Los resultados mostraron claramente que la SES elimina la totalidad de la carga bacteriana al igual que la inmersión en OPA. También se determinó que ambos tienen actividad contra las mismas bacterias colonizadoras de las mascarillas: *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter cloacae* y *Enterococcus faecalis*. La diferencia entre ellos radicó, en el alcance de este trabajo, en los tiempos de duración de los procesos de desinfección. Mientras la desinfección con SES requirió 20 minutos, la descontaminación con OPA 60 minutos. Otra diferencia detectada fue un opacamiento amarillamiento de las mascarillas que fue evidente a nivel

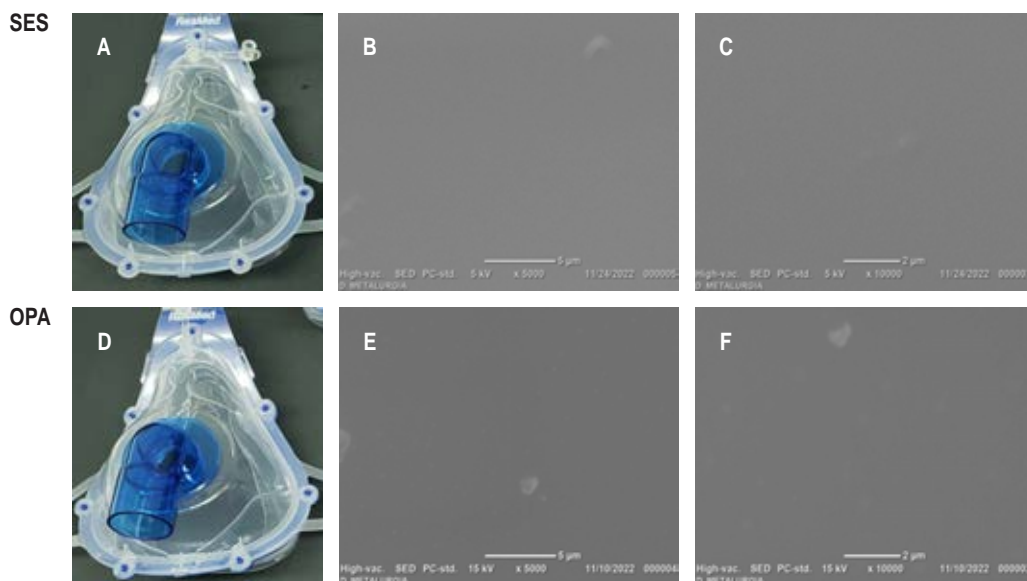


Figura 1: Análisis del material de las mascarillas para ventilación mecánica no invasiva (VMNI) sometidas a tres ciclos de desinfección con solución electrolizada de superoxidación (SES). Después de tres ciclos seguidos de desinfección con la SES u ortoformaldehído (OPA) las mascarillas se procesaron para ser examinadas por microscopía electrónica de barrido. **A)** Se muestra fotografía de la apariencia física de las mascarillas tratadas con SES. **B)** Se muestra la microfotografía de microscopía electrónica de barrido con un aumento de 5,000x. No se aprecian fracturas o algún daño en el material. **C)** Se muestra un aumento de 10,000x. Tampoco se aprecian fracturas o algún daño en el material. **D)** Corresponde a la apariencia física de una mascarilla sometidas a tres ciclos de desinfección con ortoformaldehído. Se aprecia un amarillamiento de la mascarilla. **E y F)** Micrografías de microscopía electrónica de barrido a un aumento de 5,000x y 10,000x, respectivamente. En ningún aumento se observaron fracturas o algún otro tipo de cambio en la topología del material.

macroscópico, en aquellas sometidas a tres ciclos de inmersión con OPA. No obstante, estos cambios macroscópicos inducidos por OPA, se necesitan más valoraciones para determinar si afecta su funcionalidad.

Es importante señalar que, en cuanto a la reutilización de materiales médicos, existen dos aspectos que son cruciales. Uno, establecer que no se forman biopelículas en ellos; y dos, determinar que no quedan residuos del desinfectante que puedan comprometer la salud del paciente. En relación con ello, existen reportes que asocian la presencia de trazas de OPA en endoscopios con reacciones anafilácticas y efectos citotóxicos.^{8,24} El uso de esta sustancia requiere, por tanto, un enjuague exhaustivo del material expuesto a él. Sin embargo, el enjuague deficiente o poco cuidadoso es un factor de riesgo para el desarrollo de biopelículas.²⁵ Asimismo, se ha reportado tolerancia de cepas grampositivas y de *biofilm* a OPA.^{26,27} Sobre estos puntos, el uso de SES tiene las ventajas de no requerir enjuague y ser una sustancia atóxica.²⁸ Aunque, para el uso que se le propone en este trabajo deben realizarse estudios puntuales de inocuidad.

Las SES han probado ser inocuas en modelos animales, en células humanas y en entornos hospitalarios.^{13,28} De hecho, una de sus aplicaciones más importantes es en la desinfección de heridas.²⁹ Con relación en este aspecto, en este trabajo el personal técnico no reportó incomodidades al manipular la SES. Debe señalarse; sin embargo, que se utilizaron medidas de bioseguridad y que no se realizó una medida objetiva de este punto, por ejemplo, un cuestionario, por lo que ésta es una observación anecdótica.

En resumen, los resultados sugieren que es factible el uso de una SES para descontaminar este tipo de mascarillas, ya que en tiempos cortos fue eficaz en la eliminación de la carga bacteriana, sin depender de la cantidad de biomasa. Además, no indujo daños estructurales en el material de las mascarillas cuando se sometieron a tres procesos seguidos de inmersión. Lo anterior podría indicar que se extendería su vida útil hasta por tres ciclos de desinfección.

Si bien, los resultados obtenidos sugieren que la SES puede ser usada como un desinfectante de este tipo de mascarillas, reconocemos las limitaciones del presente trabajo. En primera instancia el tamaño de la muestra, el cual debe ser ampliado para ser representativo estadísticamente. De igual manera, la tipificación de la carga bacteriana debe llevarse a cabo en todas las mascarillas para establecer claramente contra qué especies es efectiva la acción biocida de la SES o si existe alguna bacteria resistente. Asimismo, el estudio debe ser ampliado a otros agentes patógenos como hongos y virus, antes de poder ser validado para su uso en pacientes. En este sentido, si se planea reutilizar las mascarillas también es necesario precisar que no haya crecimientos de biopelículas en ellas. Además, la valoración de la calidad del material debe ser realizada en mascarillas provenientes de pacientes y después sometidas a desinfección.

De igual manera, es imperante incluir análisis físicos que establezcan la correcta funcionalidad de este insumo después de la desinfección, considerando que está diseñado para ser utilizado sólo una vez.

CONCLUSIONES

La inmersión por cinco minutos en SES a 0.004% de especies activas de cloro y oxígeno fue eficaz para descontaminar mascarillas de un solo uso para VMNI de carga bacteriana. Este desinfectante de amplio espectro eliminó a las especies oportunistas nosocomiales *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Corynebacterium striatum* de las mascarillas. Además, después de tres ciclos consecutivos de inmersión el desinfectante no generó daños en el material de las mascarillas. Todo lo anterior sugiere que es factible el uso de SES para desinfectar las mascarillas de VMNI de un solo uso y ampliar su vida útil. Sin embargo, este es un primer acercamiento que debe ser complementado con otros estudios; y validado antes de que puedan ser utilizadas en pacientes. Específicamente se debe determinar si elimina otros agentes patógenos, como virus y hongos, así como cepas multirresistentes y biopelículas. También deben realizarse estudios de funcionalidad y de seguridad.

Agradecimientos

A la empresa Esteripharma, SA de CV, por proveer la solución electrolizada de superoxidación de pH neutro Estericide® QX con No. Reg. Sanitario: 0363C2006 SSA. A la doctora Brenda Paz-Michel y al Dr. Mario Alfredo Rodríguez León por sus comentarios críticos al contenido del trabajo.

REFERENCIAS

1. World Health Organization. Decontamination and reprocessing of medical devices for health-care facilities. Geneva: World Health Organization; 2019.
2. Food and Drug Administration. Frequently-asked-questions about the reprocessing and reuse of single-use devices by third-party and hospital reprocessors; final guidance for industry and FDA staff. Food and Drug Administration; 2001.
3. Rutala WA, Weber DJ. Disinfection and sterilization in health care facilities: an overview and current issues. *Infect Dis Clin North Am*. 2016;30(3):609-637. doi: 10.1016/j.idc.2016.04.002.
4. Secretaría de Salud. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Manual de procedimientos del servicio de terapia respiratoria. 2018. Disponible en: http://www.iner.salud.gob.mx/descargas/normatecainterna/MPdirgeneral/MP_INER_31012018.pdf
5. Rutala WA, Weber DJ. Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities. Centers for Disease Control and Prevention; 2008.

6. Cooke RPD, Goddard SV, Whyman-Morris A, Sherwood J, Chatterly R. An evaluation of Cidex OPA (0.55% ortho-phthalaldehyde) as an alternative to 2% glutaraldehyde for high-level disinfection of endoscopes. *J Hosp Infect.* 2003;54(3):226-231. doi: 10.1016/s0195-6701(03)00040-9.
7. Rutala WA, Weber DJ. Disinfection, sterilization, and antisepsis: An overview. *Am J Infect Control.* 2016;44(5 Suppl):e1-e6. doi: 10.1016/j.ajic.2015.10.038.
8. Cooper DE, White AA, Werkema AN, Auge BK. Anaphylaxis following cystoscopy with equipment sterilized with Cidex® OPA (Ortho-phthalaldehyde): A review of two cases. *J Endourol.* 2008;22(9):2181-2184. doi: 10.1089/end.2007.0358.
9. Pala G, Moscato G. Allergy to ortho-phthalaldehyde in the healthcare setting: advice for clinicians. *Expert Rev Clin Immunol.* 2013;9(3):227-234. doi: 10.1586/eci.12.107.
10. Tuhina B, Anupurba S. Microbiocidal activity of superoxidized water for disinfection in ICU environment. *Indian J Prev Soc Med.* 2011;42(4):342-345.
11. Thorn RMS, Lee SWH, Robinson GM, Greenman J, Reynolds DM. Electrochemically activated solutions: Evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2012;31(5):641-653. doi: 10.1007/s10096-011-1369-9.
12. Stewart M, Bogusz A, Hunter J, Devanny I, Yip B, Reid D, et al. Evaluating use of neutral electrolyzed water for cleaning near-patient surfaces. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2014;35(12):1505-1510. doi: 10.1086/678595.
13. Pintaric R, Matela J, Pintaric S. Suitability of electrolyzed oxidizing water for the disinfection of hard surfaces and equipment in radiology. *J Environ Health Sci Eng.* 2015;13(1):6. doi: 10.1186/s40201-015-0160-8.
14. Xuan X, Ling J. Generation of electrolyzed water. In: Ding T, Oh DH, Liu D, editors. *Electrolyzed water in food: Fundamentals and applications.* Singapore: Springer; 2019. p. 1-16. doi: 10.1007/978-981-13-3807-6_1.
15. Zhao L, Li S, Yang H. Recent advances on research of electrolyzed water and its applications. *Curr Opin Food Sci.* 2021;41:180-188. doi: 10.1016/j.cofs.2021.03.004.
16. Tanaka H, Hirakata Y, Kaku M, Yoshida R, Takemura H, Mizukane R, et al. Antimicrobial activity of superoxidized water. *J Hosp Infect.* 1996;34(1):43-49. doi: 10.1016/s0195-6701(96)90124-3.
17. Vorobjeva NV, Vorobjeva LI, Khodjaev EY. The bactericidal effects of electrolyzed oxidizing water on bacterial strains involved in hospital infections. *Artif Organs.* 2004;28(6):590-592. doi: 10.1111/j.1525-1594.2004.07293.x.
18. Cabello GC, Rosete ODP, Manjarrez ZME. Efecto de una solución electrolizada de superoxidación con pH neutro sobre la infección del virus de influenza A en células MDCK. *Rev Inst Nal Enfer Resp Mex.* 2009;22(4):280-287.
19. Velazquez-Meza ME, Hernández-Salgado M, Sánchez-Alemán MA. Evaluation of the antimicrobial activity of a super oxidized solution in clinical isolates. *Microb Drug Resist.* 2015;21(4):367-372. doi: 10.1089/mdr.2014.0266.
20. Revdiwala S, Rajdev BM, Mulla S. Characterization of bacterial etiologic agents of biofilm formation in medical devices in critical care setup. *Crit Care Res Pract.* 2012;2012:945805. doi: 10.1155/2012/945805.
21. Ogunniyi AD, Dandie CE, Ferro S, Hall B, Drigo B, Brunetti G, et al. Comparative antibacterial activities of neutral electrolyzed oxidizing water and other chlorine-based sanitizers. *Sci Rep.* 2019;9(1):19955. doi: 10.1038/s41598-019-56248-7.
22. Okanda T, Takahashi R, Ehara T, Ohkusu K, Furuya N, Matsumoto T. Slightly acidic electrolyzed water disrupts biofilms and effectively disinfects *Pseudomonas aeruginosa*. *J Infect Chemother.* 2019;25(6):452-457. doi: 10.1016/j.jiac.2019.01.014.
23. Mahalakshmi AS, Jeyapalan V, Mahadevan V, Krishnan CS, Azhagarasan NS, Ramakrishnan H. Comparative evaluation of the effect of electrolyzed oxidizing water on surface detail reproduction, dimensional stability and surface texture of poly vinyl siloxane impressions. *J Indian Prosthodont Soc.* 2019;19(1):33-41. doi: 10.4103/jips.jips_72_18.
24. Ryu M, Kobayashi T, Kawamukai E, Quan G, Furuta T. Cytotoxicity assessment of residual high-level disinfectants. *Biocontrol Sci.* 2013;18(4):217-220. doi: 10.4265/bio.18.217.
25. Roberts CG. The role of biofilms in reprocessing medical devices. *Am J Infect Control.* 2013;41(5 Suppl):S77-S80. doi: 10.1016/j.ajic.2012.12.008.
26. Bridier A, Briandet R, Thomas V, Dubois-Brissonnet F. Comparative biocidal activity of peracetic acid, benzalkonium chloride and ortho-phthalaldehyde on 77 bacterial strains. *J Hosp Infect.* 2011;78(3):208-213. doi: 10.1016/j.jhin.2011.03.014.
27. Simoes LC, Lemos M, Pereira AM, Abreu AC, Saavedra MJ, Simoes M. Persister cells in a biofilm treated with a biocide. *Biofouling.* 2011;27(4):403-411. doi: 10.1080/08927014.2011.579599.
28. Sipahi H, Reis R, Dinc O, Kavaz T, Dimoglo A, Aydin A. In vitro biocompatibility study approaches to evaluate the safety profile of electrolyzed water for skin and eye. *Hum Exp Toxicol.* 2019;38(11):1314-1326. doi: 10.1177/0960327119862333.
29. Reis R, Sipahi H, Dinc O, Kavaz T, Charehsaz M, Dimoglo A, et al. Toxicity, mutagenicity and stability assessment of simply produced electrolyzed water as a wound healing agent in vitro. *Hum Exp Toxicol.* 2021;40(3):452-463. doi: 10.1177/0960327120952151.

Conflicto de intereses: los autores Sará Del Carmen Toral-Freyre, Mario Alberto Mujica-Sánchez, Eduardo Becerril-Vargas, Manuel Castillejo-López y Andrés Hernández declaran no tener conflicto de intereses. Los autores Ariana Cabrera-Licona y Nicolas Mervitch-Sigal declaran trabajar en la empresa Esteripharma, pero manifiestan que no participaron en la adquisición de datos ni en su análisis ni en la decisión sobre publicar los resultados del trabajo.