

Artículo original

Estudio sobre Solución Salina Ozonizada (SSO3) Bajo Micro burbujeo en Dispositivo de Cristal (ASSO3). Fundamentos, Ventajas y Aplicaciones Clínicas. Original

Dra. Adriana Schwartz

M.D. Ginecóloga. Directora y Asesora Científica de Clínica Fiorela, Presidenta de Aepromo, Secretaria científica de ISCO3

Palabras clave

*micro burbujeo,
nano burbujeo,
solución salina
ozonizada (SSO3),
ozono, advanced
ozonated saline
solution (ASSO3®),
agente
antibacteriano,
agente
antiinflamatorio,
ozono en placa
dental, ozono en
medicina.
Ozonoterapia.*

Resumen

La terapia del ozono es una tecnología que se está utilizando actualmente en el tratamiento de una gran variedad de enfermedades, con una difusión creciente en el ámbito médico.

Una de las técnicas más utilizadas para transferir ozono a un paciente consiste en burbujear ozono a bajas concentraciones en una solución salina e inyectar ésta al paciente. Objetivo: analizar la eficiencia de la técnica de ozonización de una solución salina bajo micro burbujeo/nano burbujeo en un sistema de dispositivo de cristal cerrado: sus ventajas frente a la dosis de ozono que finalmente se transfiere al paciente por vía intravenosa y sus beneficios en aplicaciones en medicina y odontología.

Método: Para el estudio se procedió a micro-burbujear ozono a distintas concentraciones normalizadas en un dispositivo de cristal cerrado, especialmente diseñado para este propósito, con solución salina (NaCl 0.9%) para luego hacerla pasar por un analizador de concentración de ozono en líquidos marca BMT964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, (Alemania), por un espectrofotómetro Anseros® modelo OZONE MONITOR GM-RTI® (Alemania) y un Espectrofotómetro de Masas, (GCMS). Se usaron dos generadores de ozono: el Ozonobaric P® Sedecal® (España) y el Ozonette® Sedecal® (España) La primera y segunda parte del estudio fueron realizadas en CSI ANALITICA SL, Tres Cantos, Madrid, España. <https://www.csianalitica.com>

Resultados: Tras solo 5 min de micro-burbujeo de ozono, la solución se saturó. El 25% de ozono se disolvió en la solución salina. Post saturación, la concentración de ozono en la solución se mantuvo estable durante 30 minutos sin burbujear. Conclusiones técnicas: La preparación de la solución micro burbujeadada se realiza con mayor rapidez, ahorrando tiempo, oxígeno y desgaste del equipo. Al mantenerse la concentración del ozono estable en la solución post saturación bajo micro-burbujeo, por 30 min sin burbujear, la administración al paciente se puede realizar sin burbujeo. Lo que permite liberar el generador, ahorrar tiempo, oxígeno y tiempo al operador...

Keywords

micro bubbling, nano bubbling, ozonated saline solution (O3SS), ozone, advanced ozonated saline solution (ASSO3®), antibacterial agent, anti-inflammatory agent, ozone in dental plaque, ozone in medicine. ozone therapy.

Abstract

Ozone therapy is a technology that is currently being used in the treatment of a wide variety of diseases, with increasing diffusion in the medical field.

One of the most widely used techniques to transfer ozone to a patient consists of bubbling ozone at low concentrations into a saline solution and injecting it into the patient. Objective: to analyze the efficiency of the ozonation technique of a saline solution under micro-bubbling/nano-bubbling in a closed glass device system: its advantages compared to the ozone dose that is finally transferred to the patient intravenously and its benefits in applications in medicine and dentistry. Method: For the study, ozone was micro-bubbled at different standardized concentrations in a closed glass device, specially designed for this purpose, with saline solution (NaCl 0.9%) and then passed through an ozone concentration analyzer in liquids. brand BMT964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, (Germany), for an Anseros® spectrophotometer model OZONE MONITOR GM-RTI® (Germany) and a Mass Spectrophotometer, (GCMS). Two ozone generators were used: the Ozonobaric P® Sedecal® (Spain) and the Ozonette® Sedecal® (Spain) The first and second parts of the study were carried out at CSI ANALITICA SL, Tres Cantos, Madrid, Spain. <https://www.csianalitica.com>

Results: After 5 min of ozone micro-bubbling, the solution became saturated. 25% ozone was dissolved in the saline solution. Post saturation, the ozone concentration in the solution remained stable for 30 minutes without bubbling. Technical conclusions: The preparation of the micro bubbled solution is carried out more quickly, saving time, oxygen and equipment wear. By keeping the ozone concentration stable in the post-saturation solution under micro-bubbling, for 30 min without bubbling, the administration to the patient can be carried out without bubbling. What allows to release the generator, save time, oxygen and time to the operator.

Sugerencia sobre cómo citar este artículo:

Adriana Schwartz (2023). Estudio sobre Solución Salina Ozonizada (SSO3) Bajo Micro burbujeo en Dispositivo de Cristal (ASSO3). Fundamentos, Ventajas y Aplicaciones Clínicas. Original. *Ozone Therapy Global Journal* Vol. 13, nº 1, pp 11-28

Autor para correspondencia Adriana Schwartz Email: adrianaschwartztapia@gmail.com

Introducción

La ozonoterapia ha sido utilizada con fines terapéuticos desde finales del siglo XIX, en diferentes modalidades con buenos resultados terapéuticos. Las distintas terapias de ozono han demostrado beneficios como la modulación de células inmunocompetentes y la síntesis de inmunoglobulinas, interleucinas y prostaglandinas que benefician los procesos de inflamación y cicatrización; así mismo, estimulación de la circulación y el transporte de oxígeno, promoviendo la secreción de vasodilatadores e induciendo la producción de mecanismos antioxidantes gracias a la sobreexpresión de Nrf2 en patologías concretas. ¹

La terapia del ozono está enmarcada como una terapia/técnica de nuevas tecnologías que se está utilizando actualmente en el tratamiento de una gran variedad de enfermedades, con una difusión creciente en el ámbito médico. Actualmente, el número de publicaciones sobre ozonoterapia va en aumento. Así lo demuestra la base de datos Pub Med Central, de la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos, (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) con una tendencia creciente en el número de trabajos clínicos moleculares, preclínicos y clínicos. La base de datos (02/05/2023) acumula un total de 14 208 registros. En el 2020 /2021, la tendencia fue de cuatro artículos diarios, en el 2022 fue de cinco artículos diarios sobre el tema. Esto indica que la ozonoterapia cuenta con un excelente respaldo científico. Por ejemplo, la solución Salina Ozonizada (SSO3) ha sido utilizada con éxito en el tratamiento del Covid-19 en plena pandemia en el hospital madrileño Virgen de la Paloma, certificando su seguridad y eficacia.²

El tamaño de una burbuja de gas de ozono en la SSO3, es una característica determinante para comprender sus propiedades, ya que una distribución de tamaño en escala micro/nanométrica se asocia con mejor estabilidad, transferencia de masa, influyendo significativamente en su comportamiento y demás características fisicoquímicas y eléctricas dentro de un líquido como la solución salina. ³

Las burbujas de mayor tamaño tienden a emerger mostrando una mayor fuerza de flotación, mientras que las burbujas más pequeñas permanecen en el medio líquido con mayor facilidad y duración debido a un patrón de movimiento aleatorio o movimiento browniano. ⁴

La organización Internacional para la estandarización (ISO) ha realizado distintas definiciones referentes a las burbujas, determinando que una burbuja es un gas contenido en un medio rodeado por una interfaz (ISO 20480-1:2017). De acuerdo a su diámetro las burbujas pueden ser clasificadas en finas (menor a 100 μm), micro burbujas (mayores a 1 μm , entre 10 y 50 μm) y por último las nano burbujas (menores a 1 μm). El diámetro de la burbuja y la viscosidad del líquido condicionan la velocidad de ascenso, siendo mayor para las macro burbujas y menor para microburbujas y casi despreciable para las nanoburbujas.⁵

Las micro/nano burbujas permanecen en el agua o solución salina durante largo tiempo y actúan como una batería que suministra ozono continuamente al agua. Cuando el ozono se va consumiendo, aquéllas van difundiendo más cantidad, manteniendo el nivel de ozono disuelto (la concentración). Las micro/nano burbujas no se van a la superficie, sino que se distribuyen de forma homogénea dentro del cuerpo de agua.

Hay varios factores que afectan la transferencia de masa y solubilidad del gas ozono en agua, principalmente: la temperatura del agua, el pH y el caudal. A menor caudal de salida de gas ozono del generador, mayor concentración y viceversa, es decir, el caudal es inversamente proporcional a la concentración. Pero en un líquido, a mayor caudal de gas que entre con una concentración dada, mayor concentración de ozono interactuará y se podrá disolver. La relación es entonces directamente proporcional.

Dentro de las características químicas de las micro/nano burbujas, se sabe que éstas también son afectadas por el pH del medio en el que se encuentren.

Que una sustancia (como el ozono) se mantenga estable o no a lo largo del tiempo en la solución puede ser crucial para que su funcionalidad sea correcta. En estos casos, el estudio del Potencial Zeta permite entender la estabilidad del ozono en la suspensión. El potencial zeta de las micro/nano burbujas cambiará según el gas que contengan, siendo más alto para gases que presenten una mayor solubilidad como es el caso del ozono y el oxígeno debido a que generan radicales libres de grupos hidroxilo y de esta manera aumentan los valores de cargas negativas en la solución. Una partícula con buena estabilidad coloidal se caracteriza por valores de potencial zeta cercanos a los -30 mV (milivoltios), valores muy similares a lo reportados en las micro/nano burbujas de ozono entre 20 mV y 27 mV.⁶

Diferentes reportes observaron que cambios en el pH no provocan cambios significativos en su tamaño y distribución, pero sí influyen en su estabilidad. A pH alcalino, las micro/nano burbujas incrementan su estabilidad gracias a su carga superficial, volviéndose más negativas y por lo tanto más estables, mientras que en una solución a pH ácido, desciende su estabilidad al verse vulnerada la fuerza iónica de la solución en la que se encuentran.⁷

La acción antimicrobiana de las micro/nano burbujas de ozono es ejercida a partir de los radicales libres que se generan al momento de la cavitación de las micro/nano burbujas. Así mismo, el pH de las soluciones donde se encuentren afecta significativamente a la cantidad de radicales libres que se generan, donde un pH más bajo incrementa el número de radicales libres de grupos hidroxilo. La solución salina posee un pH 5.5-5.7 ideal para la generación de estos radicales libres.⁸

Estudios de ozonización de sales en soluciones acuosas, en particular NaCl, describen dos posibles mecanismos: químico y físico. La investigación rusa de Boyarinov *et al*,⁹ concluyó que el ozono no reacciona con el sodio ni cloruro en solución salina fisiológica. A las mismas conclusiones llegó el químico ruso Razumovski.¹⁰ Estas investigaciones demostraron que la concentración de hipoclorito de sodio en la solución salina ozonizada era menos de 0.001 µg/mL.

Christenson *et al*. describió el efecto físico de las soluciones de sales que contienen un rango crítico de concentración de electrolitos, denominado "concentración de transición", que inhiben en gran medida la burbuja fusión.¹¹ Entre las sales estudiadas, sólo las CaCl₂ y NaCl puede tener esta propiedad que implica un cambio en tensión superficial, generando un tamaño de burbuja más pequeño y un aumento en las tasas de transferencia de masa de gas.¹²

Por otra parte, la disolución del ozono y el oxígeno en la solución salina depende del tiempo de exposición/burbujeo. Pero el requerimiento de tiempos amplios de exposición/burbujeo está ligado a la ocupación del generador de ozono, consumo de oxígeno, desgaste del equipo, riesgo de embolia por descuido al estar burbujeando la SSO3 mientras se infunde al paciente.

Los objetivos de este estudio son: analizar la eficiencia de la técnica de ozonización de una solución salina bajo microburbujeo/nanoburbujeo en un sistema de dispositivo de cristal cerrado, valorar sus ventajas frente a la dosis de ozono que finalmente se transfiere al paciente por vía intravenosa y sus beneficios en aplicaciones en medicina y odontología.

MÉTODO:

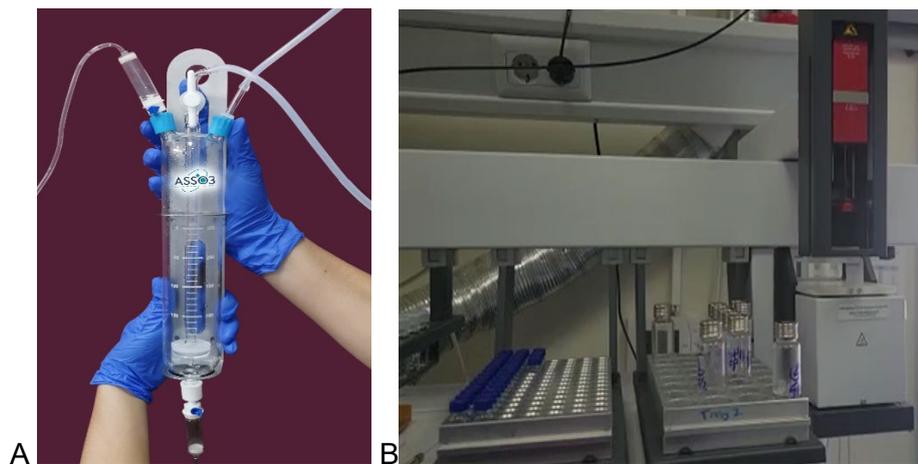
La primera y segunda parte del estudio fueron realizadas en CSI ANALITICA SL, Tres Cantos, Madrid, España. <https://www.csianalitica.com> El CSI es una empresa española, independiente, de investigación integral basada en la Química Analítica con experiencia y formación en técnicas analíticas de diversa naturaleza como son las técnicas de espectrometría de masas (con o sin cromatografía, LC&GC-MS, MS/MS), microextracción en fase sólida (SPME), infrarrojo (IR), técnicas de microscopía electrónica (SEM, TEM, etc.), AFM y un amplio etcétera.

Como equipos de generación y medida de ozono, se emplearon los siguientes: un generador de ozono Ozonette® de la empresa Sedecal® (Figura 1), un medidor de concentración de ozono para líquidos de la empresa alemana (BMT 964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, Alemania) con detector de ultravioleta, intervalo de detección entre 0,5 a 15 g/m³ y precisión de 0,5% y un Espectrofotómetro de Masas (GCMS).



Figura 1. Ozonette® de la empresa Sedecal®

El objetivo principal fue el estudio del contenido ascendente de ozono generado *in situ* en el dispositivo de cristal “Advanced Ozonated Saline Solution” (ASSO3®) (Figura 2) con un volumen conocido de suero salino mediante análisis por GCMS.



**Fig. 2. A Dispositivo de cristal, sistema cerrado con placa de micro burbujeo (ASSO3®).
2. B Medición con GCMS**

Con el objetivo de optimizar el método para la detección y separación del ozono, se analizó una muestra de concentración conocida de ozono disuelto en 5 mL de suero salino, obtenido directamente en el interior de un vial de SPME. En la figura 3 se presenta el cromatograma con la extracción del ion 48 que corresponde a la masa del ozono, el cual eluye (“extraer, mediante un líquido apropiado, una sustancia del medio sólido que la ha adsorbido”. Diccionario, Real Academia Española) a un tiempo de retención de 1.358 minutos.

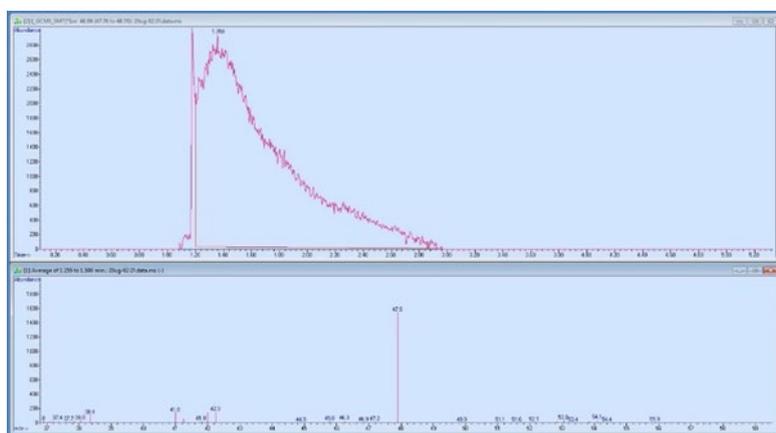


Figura 3. Extracción del ion 48 que corresponde al ozono generado en una muestra de solución salina obtenida por el dispositivo ASSO3®.

Con el mismo método desarrollado para este fin, se prepararon muestras de concentración ascendente de ozono (1, 2 y 3 $\mu\text{g}/\text{NmL}$) en el mismo volumen de suero salino, obteniendo valores de área que se describen en la tabla 1.

Ensayo	Concentración O3, µg/ml	Vol. Jeringa, mL	Masa de Ozono en µg	*Vol, mL	**CC, µg/mL	***Area, U.A.
1	1	1	1	5	0,2	93.379
2	1	10	10	5	2	664.836
3	1	20	20	5	4	1.156.052

Tabla 1. Resultados de área en el estudio de linealidad.

* Volumen de agua destilada a la que se le añadió inyectando varios volúmenes de ozono.

** Concentración del ozono en el vial analizado.

*** Área del pico cromatográfico correspondiente al ozono. Unidad arbitraria

Con el objetivo de estudiar el comportamiento lineal, estos resultados se representan, y se aplica el ajuste por mínimos cuadrados, obteniendo una linealidad con un $R^2=0,996$ (Figura 4). Como puede observarse, a nivel analítico, se considera satisfactorio el comportamiento lineal del ozono generado por el dispositivo ASSO3®.

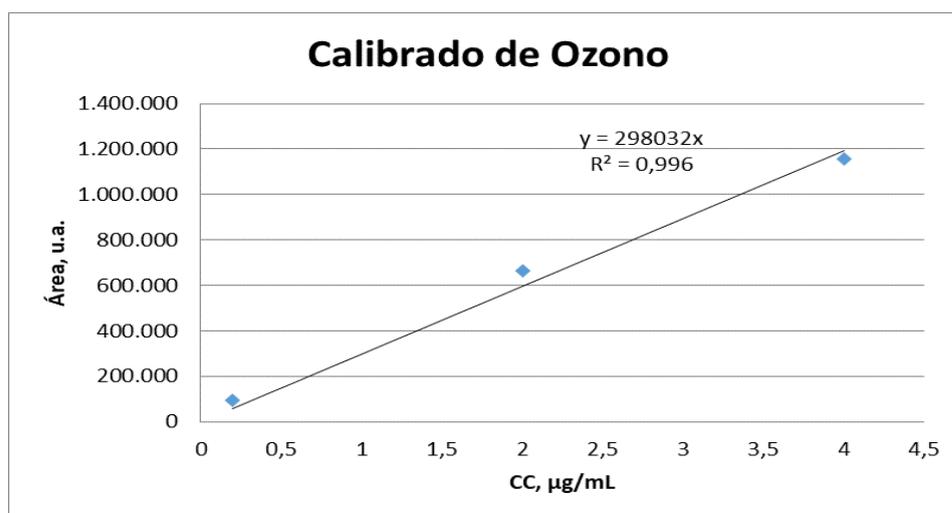


Figura 4. Estudio de linealidad.

Con el objetivo de estudiar la saturación de ozono en un volumen determinado de solución salina, se prepararon tres muestras con concentraciones ascendentes de ozono, utilizando el dispositivo Advanced Ozonated Saline Solution (ASSO3®). Los resultados obtenidos se describen en la tabla 2.

				Añadido	Encontrado
				La concentración resultante de pasar las microburbujas de ozono en 250 ml de suero	
Caudal, ml/min	CC, µg/mL	Durante, min	Vol, mL	CC, µg/mL	
200	1	10	250	8	0,20
200	3	10	220	27,3	0,19
200	5	10	250	40	0,20
Tabla 2. Estudio de saturación.				Promedio	0,20
				S (Desviación estándar)	0,0046
				DER (Desviación estándar relativa.)	2,3



Fig. 5 ASSO3® micro burbujeo.

Como se puede constatar en la tabla 2 se observa una saturación en la disolución salina donde, aunque se aumente la cantidad de ozono burbujeadado en la solución salina, no se aprecia un aumento de concentración de ozono en la disolución de suero salino. La desviación estándar relativa, DER de los tres ensayos es por debajo de 3%, lo cual indica una precisión satisfactoria del ensayo.

SEGUNDA PARTE DEL ESTUDIO

En una segunda fase del estudio se realizó una medición de concentración de ozono en SSO3 bajo micro burbujeo con el dispositivo ASSO3®. Para esto, se utilizó un medidor de concentración de ozono para líquidos de la empresa alemana (BMT 964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, Alemania) con detector de ultravioleta, intervalo de detección entre 0,5 a 15 g/m³ y precisión de 0,5%. El generador que se utilizó fue un Ozonobaric P® de la empresa Sedecal® (Figura 6)



Figura 6. Ozonobaric P® de Sedecal®

Las mediciones fueron realizadas para cada medio (agua y solución salina) y para cada una de las condiciones estudiadas sin ozonizar u ozonizando a (2 o 5) µg/NmL. Los valores del comportamiento cinético fueron representados y calculados eliminando la interferencia de base.

RESULTADOS

Los resultados de las mediciones de la concentración de ozono en las diferentes soluciones se representan en la figura 7. El resultado del cálculo de los valores de concentraciones eliminando los valores del blanco (valor de concentración determinado en las soluciones no ozonizadas) se muestran en la tabla 3.

Concentración normalizada aplicada en gas	Concentración normalizada medida en H ₂ O	Concentración normalizada medida en solución salina 0,9 % NaCl
2 mg/L	0,56 mg/L	0,49 mg/L
5 mg/L	1,35 mg/L	1,20 mg/L

Tabla 3. Valores de concentración media de ozono restando los valores de los blancos de las correspondientes soluciones no ozonizadas.

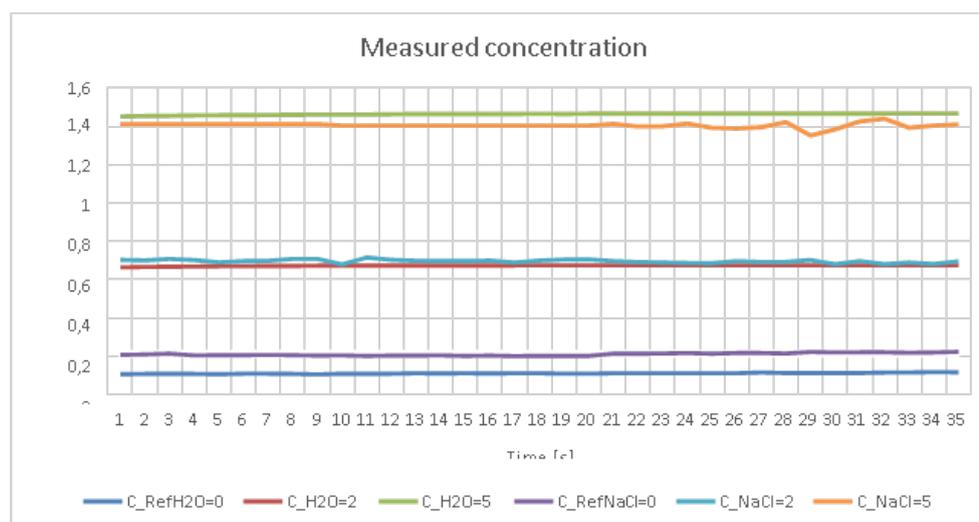


Figura 7. Cinética del comportamiento de las concentraciones de ozono en cada una de las condiciones analizadas.

Medidas de Referencia

C_RefH₂O=0: medida de referencia de agua destilada, desionizada sin ozono.

C_H₂O=2: medida de agua destilada, desionizada ozonizada con 2 mg/L.

C_H₂O=5: medida de agua destilada, desionizada ozonizada con 5 mg/L.

C_RefNaCl=0: medida de referencia de solución salina sin ozono.

C_NaCl=2: medida de solución salina ozonizada con 2 mg/L.

C_NaCl=5: medida de solución salina ozonizada con 5 mg/L.

Como se ha descrito, son varios los factores que afectan a la velocidad de transferencia de ozono al líquido. No obstante, tras un tiempo de saturación de 5 min bajo flujo constante de 20 L/H a concentración constante y bajo micro burbujeo usando el dispositivo ASSO3, se ha alcanzado un equilibrio en el que la cantidad de ozono disuelto es igual a la cantidad de ozono que se desprende. Mediante un micro burbujeo se alcanza el equilibrio en 5 min.

En situación de equilibrio podemos considerar la Ley de Henry para calcular la cantidad de ozono disuelto en el agua:^{13,14}

$$H = C_a/P_r \text{ [mol/m}^3\text{/Pa]} \text{ (Ec. 1)}$$

C_a : concentración en fase líquida [mol/m³] P_r : presión parcial del gas en equilibrio [Pa] La presión parcial del ozono viene dada por:

$$P_r = C_g \cdot R \cdot T \text{ (Ec. 2)}$$

C_g : concentración en el gas [mol/m³]

El parámetro más consensuado para el ozono es:

$$H_c = 0,00011 \text{ mol/m}^3\text{/Pa @ } T_c = 298,15 \text{ K}$$

Este parámetro es muy sensible con la temperatura, pero sigue la ecuación de van't Hoff ¹⁴: $H(T) = H_c \cdot \exp(d \ln H/d(1/T) \cdot (1/T - 1/T_c))$

donde: $d \ln H/d(1/T) = 2400 \text{ K}$

Si bien, para los cálculos se consideró directamente la temperatura de trabajo 298,15 K. ¹⁵

El sistema de medida proporciona los datos en condiciones normalizadas a: $P_0 = 1013,25 \text{ h Pa}$
 $T_0 = 273,15 \text{ K}$

Por lo que para calcular la concentración a temperatura ambiente:¹⁵

$$P_c = 950 \text{ hPa } T_c = 298,15 \text{ K}$$

Según la ecuación:

$$C_{gc} = C_{g0} \cdot T_0/T_c \cdot P_c/P_0 = C_{g0} \cdot 0,977 \quad \text{(Ec. 3)}$$

Tomando en cuenta estas ecuaciones se puede obtener finalmente la concentración de ozono resultante en el líquido (C_a) en función de la concentración del ozono normalizado (C_{g0}) en el gas:

$$C_a = C_{g0} \cdot 0,977 \cdot 0,011 \cdot 0,08314459848 \cdot 298,15 = C_{g0} \cdot 0,2664$$

Es decir, la solubilidad de la concentración de ozono es del 26,64% con respecto a la normalizada. Para tener una referencia coherente se considerará la concentración en el líquido también normalizada, es decir:

$$C_{a0} = C_a \cdot T_c/T_0 \cdot P_0/P_c = C_a/0,977$$

Con lo que finalmente queda:

$C_{a0} = C_{g0} \cdot 0,272685$ que indica una solubilidad del 27,27%. Los valores se indican en la tabla 4.

Concentración normalizada en gas	Concentración aplicada aplicada en gas a 950 hPa y 25° C	Concentración teórica disuelta en H ₂ O a 950 hPa y 25° C	Concentración teórica normalizada disuelta en H ₂ O
2 mg/L*	1,95 mg/L	0,53 mg/L	0,55 mg/L*
5 mg/L*	4,9 mg/L	1,33 mg/L	1,36 mg/L*
15 mg/L*	14,7 mg/L	4,00 mg/L	4,1 mg/L*
40 mg/L*	39,1 mg/L	10,7 mg/L	10,9 mg/L*
60 mg/L*	58,6 mg/L	16,0 mg/L	16,4 mg/L*
80 mg/L*	78,2 mg/L	21,3 mg/L	21,8 mg/L*

Tabla 4. Valores teóricos de las concentraciones de ozono disueltas en los líquidos.

Leyenda: * Concentración de ozono normalizada.

Tomando los datos reales medidos de la tabla 3 y comparando con los resultados teóricos de la tabla 4 puede verse que la desviación entre ellos es acorde con los razonamientos teóricos presentados en la tabla 5.

Concentración normalizada en gas	Desviación de la concentración en H ₂ O (medida – teórica)	Desviación de la concentración en Solución Salina 0,9% NaCl (medida – teórica)
2 mg/L	+0,01 mg/L => +1,8%	-0,06 mg/L => -11%
5 mg/L	-0,01 mg/L => -0,7%	-0,16 mg/L => -12%

Tabla 5. Desviación entre las medidas y los resultados teóricos.

Tomando nuevamente la tabla 3 y presentando los datos medidos en porcentaje respecto a la concentración de gas introducida, se puede valorar la cantidad de ozono real absorbida por los líquidos como se indica en la tabla 6.

Concentración normalizada en gas	Concentración aplicada	Concentración normalizada medida en H2O en %	Concentración normalizada medida en solución salina 0,9 % NaCl en %
2 mg/L		28 %	24,5 %
5 mg/L		27 %	24 %

Tabla 6. Relación en porcentaje entre el ozono burbujeado y el disuelto.

DISCUSIÓN Y APLICACIONES CLÍNICAS

Primera fase del estudio. Análisis de resultados. Se ha optimizado un método mediante GCMS capaz de estudiar el contenido de ozono en suero salino generado por generadores de ozono de última generación (Ozonobaric P® y Ozonette®) usando un dispositivo de cristal con placa de microburbujas, ASSO3®.

Se observa que, a partir de una concentración, se alcanza la saturación de ozono en un volumen de 250 mL de suero salino en menos de 5 minutos.

Cabe destacar que las muestras preparadas y descritas en la tabla 2 se volvieron a analizar pasados 30 minutos de su preparación, obteniendo los mismos resultados. En consecuencia, la concentración de ozono en la solución permaneció estable (sin degradarse) al menos 30 minutos sin burbujear, lo que significa que (dentro de ese periodo de 30 minutos) se puede transfundir la solución al paciente sin burbujeo, evitando así el riesgo de pasar burbujas al paciente por accidente al estar burbujeando la solución durante la transfusión ahorrando tiempo, oxígeno y desgaste del generador.

Gracias a la inhibición de la coalescencia¹¹ de las burbujas bajo micro burbujeo, esto conduce a una mayor exposición del ozono con la superficie de tejido tratante, por tanto, optimiza, agiliza y acorta los tratamientos.

Esto se refuerza con el hecho de que entre las propiedades que tienen las burbujas, se encuentra su capacidad de retener gases versus la ocupación del gas disuelto en solución.¹⁷ Esto se explica por la mayor superficie que confieren las micro/nanoburbujas por unidad de área, lo que las hace hasta 200 veces más eficientes que una burbuja normal.¹⁸

El acortar el tiempo de saturación de la solución a 5 min. con un bajo caudal de 200 mL/min disminuyen los tiempos de preparación (saturación) de la solución notablemente. El alcanzar la concentración deseada en el menor tiempo de ozonización es uno de los objetivos del médico y del odontólogo.

El dispositivo al ser cerrado y de cristal, es reutilizable (se esteriliza en autoclave) es ecológico. Abarata el costo económico tanto para el profesional de la salud como para el paciente, además que es de muy fácil manejo.

Odontología. Una de las principales aplicaciones de esta tecnología sería en odontología. La aplicación del ozono en odontología ha evolucionado y ahora se vuelve segura gracias a los prometedores efectos de la irrigación intraoral con solución salina ozonizada bajo micro/nano burbujeo.

El uso intraoral de ozono en forma de gas ha sido durante mucho tiempo el método más crítico de aplicación del ozono en odontología, a causa de la dificultad de su administración debido a la aspiración inadvertida o accidental del gas ozono, por su estrecha proximidad con las vías respiratorias superiores del paciente. La SSO3 bajo micro burbujeo ha resuelto este gran problema. Es mucho más seguro trabajar con irrigación de solución salina ozonizada que aplicar gas seco.

En odontología y medicina, el riego con SSO3 bajo micro burbujeo es más biocompatible y menos irritante para las células epiteliales que el gas ozono seco.

La SSO3 bajo micro/nano burbujeo reduce la cantidad de especies bacterianas asociadas al biofilm, mitigando la dependencia al uso de antibióticos con su respectiva resistencia que cada día se hace más evidente, favoreciendo así la periodontitis y las caries. De esta forma se evita la aparición de nuevos microorganismos con capacidad de resistir a la terapia antibiótica,¹⁹ por lo que el desarrollo de estas nuevas tecnologías se hace muy necesario y útil y, en diferentes estudios, se ha demostrado su capacidad antimicrobiana y propiedades de citocompatibilidad al ser comparada con otro tipo de enjuagues como la clorhexidina, que actualmente es considerada el estándar de oro.²⁰

La SSO3 bajo micro burbujeo remineraliza la placa dental, alivia el dolor al raspar y alisar la raíz, detiene el sangrado, por lo tanto, el cirujano puede trabajar en un área aséptica y libre de sangrado.²³ Por último, la SSO3 bajo micro burbujeo permite la disolución del sarro,²⁴ lo que se traduce en una reducción del tiempo de trabajo así como menos dolor para el paciente.

Medicina Interna. La aplicación de la SSO3 bajo micro burbujeo en medicina interna es amplia. La SSO3 bajo micro burbujeo, ozoniza mayor cantidad de sangre.^{21,22} En un solo procedimiento la SSO3 ozoniza entre 5-6 litros de sangre, optimizando y acortando los tratamientos de forma sustancial, ahorrando de esta forma, tiempo, sufrimiento y dinero al paciente. Este es uno de los puntos más cruciales de la efectividad de la SSO3 bajo micro burbujeo.

Segunda fase del estudio. Análisis de resultados. La aproximación del 25% para calcular la cantidad de ozono que se disuelve en la SSO3, está en línea con los cálculos y medidas realizadas y pueden considerarse correctas. Estos datos coinciden de forma absoluta con el estudio de Fernández Yoldi, Carlos publicado en el 2019 en la revista *Ozone Therapy Global Journal*.²⁵ Las concentraciones de ozono se mantienen estables bajo micro burbujeo en el ASSO3®.

No secuestra el generador para administrar la solución al paciente ya que se puede administrar sin burbujear. En odontología, elimina el riesgo de aspiración accidental de ozono por parte del paciente. La SSO3 bajo micro burbujeo tiene capacidad de mayor biocompatibilidad y penetración en los tejidos. Elimina el sarro, es hemostática. En medicina, optimiza los tratamientos. Ozoniza mayor cantidad de sangre en un solo procedimiento, haciéndola más eficaz. Con menos sesiones (1 a 2) se obtienen resultados.

Mediante equipamiento con las características de micro-burbujeo, tras solo 5 min de micro-burbujeo de ozono, la solución se saturó. El 25% de ozono se disolvió en la solución salina. La concentración de ozono en la solución se sostuvo estable post saturación durante 30 minutos sin burbujear. De esta manera, la preparación y administración de la solución micro burbujeadada se puede realizar con mayor rapidez, con potencial ahorro en tiempo, oxígeno, desgaste y ocupación del equipo.

Bibliografía

1. Schwartz, A; Martínez-Sánchez, G. (2012). La Ozonoterapia y su fundamentación científica. *Revista Española de Ozonoterapia*. Vol. 2, n^o 1, pp. 163-198. [actualmente Ozone Therapy Global Journal] <https://ozonetherapyglobaljournal.es/la-ozonoterapia-y-su-fundamentacion-cientifica/>
2. Schwartz A. *et al.* Complementary application of the ozonized saline solution in mild and severe patients with pneumonia COVID 19. A non-randomized pilot Study. © 2021 *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 9 (2), 126-142, 2021 ISSN 0719-4250. <https://jppres.com/jppres/ozone-in-covid-19/>
3. Zhang XH, Maeda N, Craig VSJ. Physical properties of nanobubbles on hydrophobic surfaces in water and aqueous solutions. *Langmuir*. 2006;22(11):5025–35. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16700590/>
4. Azevedo A, Etchepare R, Calgaroto S, Rubio J. Aqueous dispersions of nanobubbles: Generation, properties and features. *Miner Eng* [Internet]. 2016;94(September 2019):29-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2016.05.001>
5. Azgomi F, Gomez CO, Finch JA. Correspondence of gas holdup and bubble size in presence of different frothers. *Int J Miner Process*. 2007;83(1–2):1–11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301751607000695?via%3Dihub>
6. Hamamoto S, Takemura T, Suzuki K, Nishimura T. Effects of pH on nano- bubble stability and transport in saturated porous media. *J Contam Hydrol* [Internet]. 2018;208(December):61–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.12.001>
7. Ushikubo FY, Enari M, Furukawa T, Nakagawa R, Makino Y, Kawagoe Y, et al. Zeta-potential of micro- and/or nano-bubbles in water produced by some kinds of gases. *IFAC Proc Vol*. 2010;3. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015310788>
8. Huth KC, Quirling M, Lenzke S, Paschos E, Kamereck K, Brand K, et al. Effectiveness of ozone against periodontal pathogenic microorganisms. *Eur J Oral Sci*. 2011;119(3):204-10. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0722.2011.00825.x>
9. Boyarinov, G.A., A.S. Gordetsov, S.P. Peretyagin, L. V. Boyarinoва, and A. K. Martusevich. 2016. "Chemical Transformations in Treatment of Saline Solution with Ozone-Oxygen Gas Mixture." *Journal of Health Inequalities* 2 (2): 194–99. doi:10.5114/jhi.2016.65363. <https://www.termedia.pl/Chemical-transformations-in-treatment-of-saline-solution-with-ozone-oxygen-gas-mixture,100,29232,0,1.html>
10. Razumovski, S. D., Konstantinova, M. L., Grinevich, T. V., Korovina, G. V., & Zaitsev, V. Y. (2010). Mechanism and kinetics of the reaction of ozone with sodium chloride in aqueous solutions. *Kinetics and Catalysis*, 51(4), 492-496. <https://thepowerofozone.com/wp-content/uploads/2016/01/ozonates-saline-hypochlorites.pdf>
11. Christenson, H.K., and V.V. Yaminsky. 1995. "Solute Effects on Bubble Coalescence." *Journal of Physical Chemistry* 99 (25): 10420. doi:10.1021/j100025a052. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/j100025a052>
12. Boncz, M.A., H. Bruning, W.H. Rulkens, H. Zuilhof, and E.J.R. Sudhölter. 2005. "The Effect of Salts on Ozone Oxidation Processes." *Ozone: Science and Engineering* 27 (4): 287–92. doi:10.1080/01919510591006382. https://www.researchgate.net/publication/40117173_The_Effect_of_Salts_on_Ozone_Oxidation_Processes
13. Rolf Sander: Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. April 30, 2015. <https://acp.copernicus.org/articles/15/4399/2015/>
14. Egorova, G & A. Voblikova, V & V. Sabitova, L & Tkachenko, I & N. Tkachenko, S & V. Lunin: Ozone Solubility in Water. November 13, 2013. Egorova, G & A. Voblikova, V & V. Sabitova, L & Tkachenko, I & N. Tkachenko, S & V. Lunin: Ozone Solubility in Water. November 13, 2013. https://www.researchgate.net/publication/284518805_Ozone_Solubility_in_Water

15. Melicia Cintia Galdeano, Allan Eduardo Wilhelm, Isabella Borges Goulart, Renata Valeriano Tonon, Otniel Freitas-Silva, Rogério Germani, Davy William Hidalgo Chávez: Effect of water temperature and pH on the concentration and time of ozone saturation. September 18, 2017. <https://www.scielo.br/j/bjft/a/pffGD9JdrfzvTJnRzGR7gVn/abstract/?lang=en>
16. Vásquez García, J. C. et al. (2000). Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, 13(1), 6-13. <https://biblat.unam.mx/es/buscar/valores-gasometricos-estimados-para-las-principales-poblaciones-y-sitios-a-mayor-altitud-en-mexico>
17. Tao F, Ning S, Zhang B, Jin H, He G. Simulation study on gas holdup of large and small bubbles in a high pressure gas-liquid bubble column. Processes. 2019;7(9). <https://www.mdpi.com/2227-9717/7/9/594>
18. Bouaifi M, Hebrard G, Bastoul D, Roustan M. A comparative study of gas hold-up, bubble size, interfacial area and mass transfer coefficients in stirred gas-liquid reactors and bubble columns. Chem Eng Process. 2001;40(2):97-111. https://www.researchgate.net/publication/244323350_A_Comparative_Study_of_Gas_Hold-Up_Bubble_Size_Interfacial_Area_and_Mass_Transfer_Coefficients_in_Stirred_Gas-Liquid_Reactors_and_Bubble_Columns
19. Ammons M. Anti-Biofilm Strategies and the Need for Innovations in Wound Care. Recent Pat Antiinfect Drug Discov. 2009;5(1):10-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7008005/>
20. Hayakumo S, Arakawa S, Takahashi M, Kondo K, Mano Y, Izumi Y. Effects of ozone nano-bubble water on periodontopathic bacteria and oral cells - In vitro studies. Sci Technol Adv Mater. 2014;15(5):1-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5099676/>
21. Schwartz, Adriana. (2016). Solución Salina Ozonizada (SSO3): Fundamentos Científicos. Revista Española de Ozonoterapia. Vol. 6, nº 1, pp 111-120. [actualmente Ozone Therapy Global Journal] <https://ozonetherapyglobaljournal.es/solucion-salina-ozonizada-ss03-fundamentos-cientificos/>
22. Schwartz Adriana. Manual de Ozonoterapia Clínica, Medizeus S.L., ISBN: 2017: 978-84-617-9394-5. <https://formacionmedizeus.com/producto/2895/>
23. Sorokina S.P. Utilización de soluciones ozonizadas en el tratamiento múltiple de enfermedades inflamatorias del periodonto. Tesis doctoral en ciencias médicas. Tver, 1997 (en ruso).
24. Lukinikh L.M. Influencia de la ozonoterapia en el estado higiénico de la cavidad bucal. Ozono y métodos de terapia eferente en medicina. Resúmenes de la 3ª Conferencia Científico-práctica de toda Rusia. N. Nóvgorod, 1998, p.132-133 (en ruso).
25. Fernández Yoldi, Carlos. (2019). Medida de la concentración de ozono en agua en dosis bajas. Ozone Therapy Global Journal. Vol. 9, nº 1, pp 61-73 <https://ozonetherapyglobaljournal.es/medida-de-la-concentracion-del-ozono-en-agua-en-dosis-bajas/>