

139

" TESIS "

**APLICACION DEL OZONO  
COMO  
AGENTE BACTERICIDA GENERAL**

**MAGDALENA LELO DE LARREA ROJLES**

**UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.  
ESCUELA DE QUIMICA.**

**MEXICO, D. F. 1961**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Aplicación del Ozono como Agente  
Bactericida General.

TESIS

QUE PRESENTA PARA SU EXAMEN PROFESIONAL

DE

QUIMICO FARMACEUTICO BIÓLOGO

MAGDALENA LELO DE LARREA ROBLES

ANTE IA

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

INCORPORADA A LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

1961.

A MIS PADRES

## INDICE

CAPITULO I.- Introducción.

a)-Breve historia del ozono.

b)-Su descripción física y química.

c) Reacciones de obtención.

CAPITULO II.- Sistemas de generación de ozono.

CAPITULO III- Dosificación de ozono en el  
agua.

CAPITULO IV.- Comparación de aguas ozoniza-  
das con cloradas.

CAPITULO V.- Pruebas y compración de su  
acción bactericida sobre agua,  
envases y ambiente.

CAPITULO VI.- Conclusiones.

CAPITULO VII- Bibliografía.

## CAPITULO PRIMERO.

### Introducción.

#### a).- Breve historia del ozono.

Considerado actualmente como el agente bactericida más enérgico después del fluor elemental, el ozono que ahora nos ocupa ya había sido nombrado desde tiempo inmemorial: algunos de los pasajes de la Ilfada de Homero mencionan el olor de los rayos o relámpagos.

Van Marum en 1785 observó el olor peculiar que se origina cuando se produce una de descarga eléctrica y se lo atribuyó a un gas nuevo. Schönbein en 1840 estableció la existencia de dicho gas, y lo denominó Ozono del griego: ozo-yo-huelo.

El problema de si el ozono era de naturaleza elemental o no, provocó considerables controversias y esto unido a la dificultad presentada para determinar su fórmula (no es

posible obtenerlo completamente puro), hizo que se considerará o como una forma especial del oxígeno, o como una forma oxidada del agua. Marignac y de la Rive demostraron que el ozono es una variedad especial del oxígeno, y Werner Von Siemens observó su formación en los tubos que llevan su nombre.

Por fin Andrews y Tait, en 1860 probaron que el ozono es una forma alatrópica del oxígeno. Para ello, sometieron oxígeno puro, seco a una descarga silenciosa en un tubo cerrado unido a un manómetro, observandose entonces una contracción de volúmen. Al calentar el oxígeno ozonizado así formado, se produjo una expansión a su volúmen original. Más aún cuando se colocó un tubo cerrado que contenía yoduro de potasio dentro del tubo mayor, y se rompió después de hacer pasar la descarga silenciosa y de haberse producido la contracción, fué liberado yodo sin cambio de volúmen. El gas residual, al ser calentado, no evidenciaba ahora ningún aumento de volúmen. Esta conclusión fué confirmada también por Soret,

en 1866. Este tomó ozono completamente seco, lo descompuso por calentamiento, y demostró que no podía descubrirse ningún vestigio de compuestos de hidrógeno tal como el agua. Es tos experimentos sirvieron para demostrar que el ozono contiene únicamente oxígeno pero no indicaron cuántos átomos hay en la molécula. Soret demostró esto por primera vez en 1866. Aprovechó el hecho de que los aceites esencia les lo absorben sin descomposición. Por lo tanto, si se agita oxígeno ozonizado digamos con aceite de canela, el ozono se separará de la mezcla.

Al tratar la mezcla de oxígeno ozonizado con aceite de canela, Soret descubrió que se obtenía una contracción correspondiente a 2 c.c.

Al calentar otra porción igual de la mis ma muestra para convertir el ozono en oxígeno ordinario. Soret obtuvo una expansión corres pondiente a un centímetro cúbico. De esto se dedujo que 3 volúmenes de oxígeno, producen 2 volúmenes de ozono.

Ahora bien, si la formula del ozono es:  
-  $O_n$ , cuando se descompone tenemos: -  $2O_n = nO_2$ , es decir, de acuerdo con la hipótesis



de Avogrado, 2 volúmenes de ozono están formados por " n " volúmenes de oxígeno.

El experimento de Soret demostró que 3 volúmenes de oxígeno producen 2 volúmenes de ozono.

Por lo tanto: "n = 3 " y la fórmula del ozono es  $O_3$  -. El trabajo de Soret fué bastante imperfecto, pero Brodie repitió el experimento con aceite de canela, trementina, cloruro estanoso, en forma tal que la conclusión mencionada fué la única interpretación posible de los experimentos. Sin embargo, la existencia de una substancia unitaria de fórmula "  $O_3$  " fué demostrada únicamente por Riesenfeld y Schnar mediante su preparación en estado de pureza y determinación de la densidad.

En la atmósfera existen pequeñas cantidades de ozono: si se reduce el volumen de todos los gases que existen en la atmósfera a condiciones normales ocuparía, la atmósfe

ra una altura de 8 Km., de éstos la capa de ozono tendría solamente el espesor de 3 mm., en esta capa de ozono son absorbidos todos los rayos ultravioleta entre 2,200 a 3,200  $\text{Å}^\circ$  y puesto que los rayos de la luz ultravioleta de onda más corta de 200  $\text{Å}^\circ$  son absorbidos por el oxígeno, resulta que el límite de ultravioleta de luz solar que llega a la superficie terrestre se encuentra casi en los 3,200  $\text{Å}^\circ$ .

La cantidad de calor que se origina a consecuencia de la radiación ultravioleta solar es la causa de que la temperatura a una altura de 10 a 22 Km. desde las 9 1/2 hasta las 14 horas, permanezca casi constante a 27 grados.

Por las irregularidades en la distribución de la temperatura y, por tanto, de la densidad, en las capas superiores de la atmósfera; se explica aquella anomalía de la

propagación del sonido que se designa con el nombre de "zona silenciosa". El máxi-mum de ríqueza en ozono del aire está a una altura de 22 Km. e incluso allí alcanza 1.10 partes en volúmen: solo el 22% de la cantidad total del ozono de la atmósfera se encuentra por debajo de los 22 Km; en las proximidades de la corteza terrestre contiene aire (  $1.10^{-7}$  -  $1.10^{-8}$  ) partes de volúmen de ozono. A pesar de estas cantidades relativamente pequeñas, el contenido del ozono juega un importante papel de las condiciones meteorológicas y climatológicas. A la absorción del infrarrojo por el ozono se debe el que sea retenida una parte de la radiación calorífica, que la superficie terrestre emite al universo; por esto el ozono de la atmósfera influye en el clima de manera análoga al vapor de agua.

b).- OZONO. Su descripción física y química.

## Propiedades físicas.

Es un gas de olor agradable y refrescante en dosis muy pequeñas, pero en dosis mayores es sofocante, y desagradable recordando al olor del anhídrido sulfuroso y al cloro. El ozono gaseoso puro tiene color azul y por lo tanto, una banda de absorción en la zona roja además absorbe, en el infrarrojo de 4.7 - 9.15 micras y con especial intensidad al ultravioleta, aproximadamente de 2,540 Å.

Del espectro de absorción infrarrojo se deduce que la molécula ozono forma un triángulo isósceles con ángulo obtuso de 122 grados. Por enfriamiento se condensa el ozono dando un líquido azul negruzco que con oxígeno líquido solo es miscible en proporción limitada; el ozono líquido es más pesado que el oxígeno líquido, el ozono tiene un punto de solidificación especialmente bajo, en el que cristaliza dando una masa violeta negruzca.

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Densidad líquido-183 grados | 1.78       |
| Punto de fusión.            | -251.4 °c. |
| Punto de ebullición,        | -112.3 °c. |
| Temperatura crítica.        | - 5 °c     |

### LEY DE HENRY DALTON.

"El ozono se disuelve en el agua; para la disolución de gases en líquidos rige la ley de Henry Dalton que dice: - "La concentración del gas en el líquido es proporcional a su presión parcial en el espacio gaseoso. "Como coeficiente de absorción se designa al volúmen del gas disuelto en un volúmen de líquido cuando la presión de aquel sobre éste, es de una atmósfera." Por la solubilidad del ozono en agua, el coeficiente de absorción a 0 grados, es 0.494; su concentración a 0 grados y a una atmósfera.

### DISTRIBUCION DEL OZONO ENTRE AGUA Y ESPACIO GASEOSO.

| Espacio gaseoso.- |                     | Agua.-      |
|-------------------|---------------------|-------------|
| 10                | Volúmen por ciento  | 4.94 Vol.%. |
| 5                 | Volúmen por ciento. | 2.47 Vol.%. |
| 2                 | Volúmen por ciento. | 0.99 "      |
| 1                 | Volúmen por ciento. | 0.49 "      |

Para la validez de esta ley se supone que la magnitud molecular de la substancia disuelta es la misma en el espacio gaseoso que en el líquido.

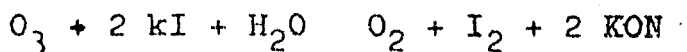
La Ley de Henry falla en gases muy solubles a concentraciones elevadas. El ozono no es disuelto por aceites esenciales, tales como trementina, aceite de canela, etc. Ello se debe a que estos aceites contienen lo que en química orgánica se conoce como compuestos no saturados, es decir, las moléculas de estos compuestos tienen uno o más partes de átomos de carbón unidos por una doble ligadura tales compuestos forman productos de adición con el bromo y con el ozono.

#### PROPIEDADES QUIMICAS.

A diferencia del oxígeno, el ozono libera yodo del yoduro de potasio neutro. Esto puede demostrarse impregnando papel en yoduro potásico y manteniéndolo en el tubo de salida del ozonizador. El papel se pone de color marrón debido a la liberación del yodo.

Si se mezcla un poco de almidón con el yoduro potásico el papel aparecerá azul. La

reacción se representa generalmente así:



El ozono es agente oxidante muy potente. La materia orgánica corcho, goma, etc., es corroída rápidamente por el ozono.

El papel coloreado por una solución de sulfato de índigo o una solución de tornasol se decolora. Si se coloca un glóbulo de mercurio pierde su brillo y extiende una película sobre las paredes del frasco; se dice que el ozono corta el mercurio. El glóbulo de mercurio se regenera cuando se agita la película con el agua. Si un trozo de lámina de plata, bien pulida con arena de plata, se calienta durante un momento en un mechero bunsen y mientras está caliente se mantiene un chorro de aire ozonizado, la plata engrece, debido, a la formación de peróxido de plata.

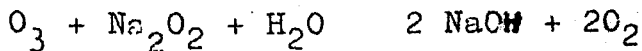
La plata perfectamente libre de óxido no evidencia esta reacción a temperaturas ordinarias, a menos que el metal esté contaminado con alguna substancia como óxido de plata de cobalto, de níquel,

etc., que actúa como agente catalizador. Se supone que se forman vestigios de óxido cuando la plata se calienta en el mechero bunsen.

La reacción es característica del ozono, pero no es muy sensible. El ozono convierte al sulfuro de plomo, marrón oscuro en sulfato de plomo, blanco:



Los sulfuros de antimonio, cobre, zi y cadmic se comportan de manera similar. Los sulfuros de níquel y cobalto forman peróxidos y ácido sulfúrico. Una solución de sulfato de manganeso usada como tinta invisible se pone marrón por exposición al ozono. El ozono se descompone en presencia de platino, dióxido de plomo, dióxido de man-ganeso, óxidos de plata y cobre, el ozono se convierte en oxígeno ordinario sin des-componer a los ácidos. Por lo tanto, las reacciones se clasifican como reacciones catalíticas. Cuando el ozono se pone en contacto con peróxido de sodio, las dos subs-tancias se descomponen mutuamente y se li-bera oxígeno.





El ozono parece ser bastante estable a la temperatura ordinaria aunque se descompone gradualmente con el tiempo, también parece ser bastante estable a altas temperaturas, mientras a temperaturas intermedias es inestable.

Pasando oxígeno ozonizado a través de un tubo enfriado por inmersión en oxígeno líquido hirviente, u ozonizando oxígeno en un tubo manteniendo a esta temperatura, se obtiene una solución de ozono en oxígeno líquido. Dejando hervir el líquido se elimina la mayor parte del oxígeno. De esta manera se obtiene un líquido azul índigo obscuro que es opaco de dos milímetros de espesor.

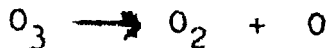
El ozono puro es muy explosivo; suave tratamiento de unos cristales del ozono contra otros es ya suficiente para que el ozono sólido estalle a 250° C.; igualmente el ozono líquido o gaseoso estalla por choque o golpe, incluso cuando se evita toda agitación puede producirse, tal vez porque se ha añadido algún catalizador de la explosión. Mezclas de oxígeno y ozono, pueden ser explosivos por acción de chispas eléctricas. Este elevado poder de explosión del ozono se explica por la gran cantidad de calor que se libera

en su descomposición; este calor no es mucho menor que el que se libera en la mezcla detonante, pues en ésta es de 1.7 Kcal/ y 1/6 K Cal/ en el ozono. A la temperatura ordinaria y con una riqueza menor de 10 vol.% es estable el ozono siempre que las paredes de la vasija, en virtud de su acción catalítica, no ocasione su descomposición o que la mezcla gaseosa no contenga otros catalizadores, como cloro u óxido de nitrógeno. A 100°C. aún en ausencia de catalizadores, se descompone rápidamente, incluso el ozono diluido; la descomposición del ozono es acelerada por la luz, e igualmente el hidrógeno y ozono, que en la obscuridad no reaccionan lo hacen mediante radiación de la luz ultravioleta, dando agua y peróxido de hidrógeno.

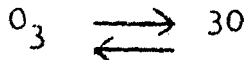
La acción muy oxidante del ozono se pone de manifiesto principalmente porque ya a la temperatura ordinaria provoca oxidaciones que el oxígeno solo es capaz de producir las a más altas temperaturas; así son oxidados casi todos los metales, y semi-metales con especial rapidez en presencia de vestigios de agua; los óxidos inferiores son transformados en los superiores por el ozono con más facilidad que el oxígeno molecular.

Estas oxidaciones se pueden realizar de tal modo que una molécula de ozono desprende

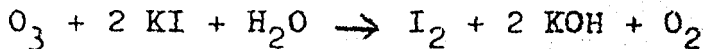
un átomo de oxígeno, que es quien actúa como oxidante, el resto gaseoso se desprende:



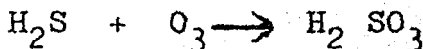
o también de manera que los tres átomos de oxígeno participen en la oxidación:



Como ejemplo de la primera reacción sirve la acción del ozono sobre la disolución de yoduro potásico, que se verifica según la ecuación:



Un ejemplo en que los tres átomos actúan como oxidantes, es la oxidación del sulfuro de hidrógeno o ácido sulfuroso:



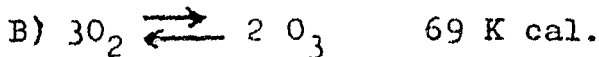
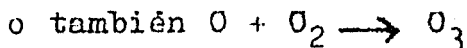
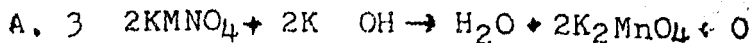
Sobre las sustancias orgánicas actúa el ozono, las más de las veces fijando su molécula completa sobre ellas. Esto tiene lugar especial en hidrocarburos no saturados, en los que el ozono se sitúa en la doble unión:  $\text{:C} = \text{C:}$  dando ozónidos:  $\text{:C} = \text{C} = \text{O}_3$

(Harries). Los ozónidos poseen casi todos olor sofocante, son aceites espesos y fuer

temente explosivos. Así por ejemplo: el ozono es absorbido cuantitativamente por esencia de trementina y de canela cuando se hace llegar una fuerte corriente de ozono en trozo de guata empapado en esencia de trementina, se enciende a consecuencia del calor liberado en la formación del ozónido; también por el caucho es absorbido enérgicamente; por la investigación de los ozónidos que producen, pudo explicar Harri es la estructura química del caucho.

En la experimentación con ozono debe evitarse el uso de tubos y tapones de goma; también el corcho es destruido rápidamente por el ozono, e igualmente ataca la grasa de las llaves, para el trabajo con ozono, lo mejor de todo es emplear aparatos de vidrio o cuarzo haciendo las uniones por fusión u obturado con parafina.

## REACCIONES DE OBTENCION.



Esta reacción es sin duda la más importante para obtener ozono y también la más sencilla.

Como se puede observar ocurre con absorción de energía que naturalmente hay que administrar en alguna forma. Siendo las más importantes las que utilizan reacciones químicas simultaneas descargas eléctricas, electrolisis de disoluciones acuosas y radiación de la luz ultravioleta sobre oxígeno. Siendo estos mismos métodos la base de los sistemas de generación de ozono.

Propiamente todas las reacciones de obtención se reducen a éstas y se pondrán en el capítulo siguiente, en que se detallan los sistemas de generación de ozono.

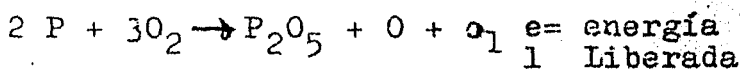
## CAPITULO II

### SISTEMAS DE GENERACION DE OZONO

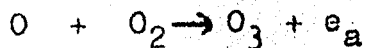
Como se ha podido observar de las reacciones de obtención, la generación de ozono ocurre con absorción de energía es esto la causa de su inestabilidad y también de su dificultad para obtenerlo completamente puro.

La manera de proporcionar esa energía necesaria para su formación, son lo que nosotros llamamos "Sistemas de generación de ozono".

Como primer sistema de generación de ozono tenemos aquel que se vale de reacciones químicas acopladas con la formación de ozono pues al liberar energía dichas reacciones dan lugar a la formación de ozono, como ocurre en la oxidación de fósforo húmedo al aire.



En la reacción del fluor sobre el agua la forma es idéntica.  $F_2 + H_2O \rightarrow 2 HF + O + e_1$



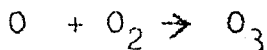
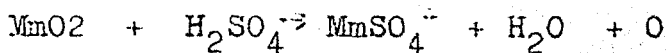
En la descomposición de los peróxidos sobre todo del hidrógeno



Esta descomposición se puede obtener con calor o por adición de ácido sulfúrico concentrado.



Esta misma forma de reacción ocurre con la mayor parte de los peróxidos como son bióxido de manganeso, el bióxido de bario y el permanganato potásico.



Este sistema de generación de ozono como se comprenderá es de laboratorio, y no es factible usarlo en forma industrial debido a los bajos rendimientos de ozono que se puede obtener.

El segundo sistema de generación de ozono es el de los llamados "Descargas Eléctricas Silenciosas". Mediante los tubos de Siemens, la disociación del oxígeno es provocada por el choque de iones y electrones que adquieren del campo eléctrico alterno la energía cinética neces-

ria para ello; con enfriamiento suficiente de los tubos de ozono se pueden transformar por este procedimiento hasta 12 volúmenes % de oxígeno en ozono. Si se insunfla oxígeno a gran velocidad contra un lapicero de Nernst incandescente, se forman pequeñas cantidades de ozono. Este hecho observado por Franz Fisher en 1916 radica en la desintegración de la molécula de oxígeno por la ionización del choque ocasionado por los electrones emitidos por el lapicero de Nernst.

Para la obtención industrial se emplean exclusivamente los ozonizadores de Siemens que constan de dos tubos concéntricos situados a la distancia de 1 a 2 mm. entre los cuales circula la mezcla gaseosa aire enriquecido de oxígeno u oxígeno puro que se va ozonizar, por dentro y fuera del aparato se pone agua conductora, en la que se sumergen los respectivos alambres, que se unen al circuito secundario de un transformador de 10,000 voltios, en el circuito primario se emplea la corriente alterna de 50 a 2000 periodos por segundo. La presencia de vapor de agua disminuye al rendimiento por lo cual los gases deben estar cuidadosamente secos. Como aumenta el rendimiento a temperatura decreciente, como ( a consecuencia



de la descarga en corriente, alterna y principalmente por la corriente de desplazamiento, en la pared del vidrio se produce calor,) es necesario especialmente en los ozonizadores, a consecuencia de la alta frecuencia requerida, en friar suficiente, a cuyo fin el agua de la parte externa e interna del ozonizador debe circular constantemente.

Puesto que la descarga eléctrica obscura o silenciosa no solo ocurre a la formación del ozono, sino también a su descomposición, no es posible obtenerlo puro en los tubos de Siemens y únicamente se llega a una concentración de equilibrio, que depende de las condiciones de trabajo, pero aún en en las condiciones más favorables no es superior a 12% en Vol. El rendimiento en ozono es tanto más desfavorable cuanto más se aproxima al equilibrio; empleando oxígeno puro se puede obtener un rendimiento de 84 grs. de ozono por K.W.H., siendo el rendimiento con aire, tercera parte, esta disminución en el rendimiento se explica por que con las descargas obscuras se forma al mismo tiempo el óxido nítrico, que

descarbone el ozono formado. Para ello la preparación de ozono más concentrado se emplea exclusivamente oxígeno puro.

Como tercer sistema de generación de ozono, tenemos el que se vale de electrólisis de las disoluciones acuosas. Cuando se electroliza sulfúrico diluído con alambre de platino como ánodo y se cuida de tener gran densidad de corriente anódica y buen enfriamiento, el oxígeno que se desprende en el ánodo contiene ozono,. También en este caso se producen primero átomos de oxigeno, que unen un oxígeno molecular dando ozono. Frans Fischer pudo preparar de esta manera, mezclas de oxígeno y ozono con 20% volúmenes de este último. Utilizando una solución de ácido sulfúrico de densidad entre 1.075 y 1.1 y con un ánodo en que solo quedaba expuesta una línea de platino de 0.1 mm. de espesor notándose que el rendimiento aumentaba al aumentar la densidad de la corriente.

Por último y como cuarto sistema de generación de ozono se utilizan las radiaciones de luz ultravioleta sobre oxígeno, o simplemente sobre el aire, como de hecho ocurre en la atmósfera que por acción de la

luz ultravioleta solar en las regiones superiores de la atmósfera, el ozono se encuentra allí, en proporciones relativamente mayores, así sobre los alpes a una temperatura de 20 Km., el aire tiene 5 partes de ozono por millón (en volumen) y una altura de 2.1 Km. la mitad de esta porción. Las descargas en la atmósfera producen también ozono.

Cabe hacer notar que si esta capa de ozono o mejor dicho de equilibrio de aire ozono no existiese, tampoco sería posible la vida en la tierra pues esta reacción absorbe la mayor parte de las radiaciones cósmicas.

Por último y fuera de esta clasificación de sistemas para generar ozono mencionaremos el hecho de que el ozono se forma también cuando se oxida la trementina, diversos hidrocarburos, el alquitrán de carbón y muchos aceites esenciales. J. K. Supone que ese efecto se debe a la formación de óxido de nitrógeno. Se dice que se forma ozono durante la combustión de éter, así como durante la combustión de compuestos hidrogenados en general. Se supone que la formación

de ozono por evaporación del agua o del rocío, es la causa del blanqueado de ropa extendida en el pasto.

## CAPITULO III

### DOSIFICACION DE OZONO EN EL AGUA

La dosificación de ozono en el agua es un problema a resolver en cada caso particular pues como se debe comprender esta dosificación depende de la naturaleza del agua que se va a tratar, sin embargo numerosas pruebas realizadas en los laboratorios de aguas de muchas plantas de purificación tanto en Europa como en E.E.U.U. han demostrado que dichas dosificaciones nunca exceden de 6 p. p. m. para aguas que se pueden tomar como modelos de contaminaciones, así la planta de tratamiento de Schuylkill en la ciudad de Filadelfia que trata 140,000 metros cúbicos de agua por día utiliza solamente el equivalente de 2 p.p.m. de ozono siendo que este río se considera ser uno de los más contaminados de los E.E.U.U.

El sistema a seguir para fijar la dosificación de ozono es el mismo que debe seguirse para dosificar cloro o cualquier otro agente bactericida de uso general, es decir, hacer pruebas de laboratorio para

establecer la dosis adecuada.

Todo lo anterior se refiere a la manera de establecer la cantidad óptima que debe de aplicarse de ozono y que podemos asegurar de acuerdo a los trabajos realizados por Víctor A. Hann que quedará dentro del siguiente cuadro:

Dosis de Ozono recomendadas por Víctor A. Hann.

| Calidad del agua                            | Dosis de ozono aproximada. |   |            |
|---|----------------------------|---|------------|
| Agua de manantial y agua pura.              | De 0.5                     | a | 1.0 p.p.m. |
| Agua de superficie filtrada.                | De 2.0                     | a | 3.0 p.p.m. |
| Agua filtrada de un suministro contaminado. | " 2.5                      | a | 5.0 p.p.m. |
| Agua coloreada.                             | " 3.0                      | a | 6.0 p.p.m. |

En lo que se refiere a la manera como realizarse la dosificación de ozono en el agua, es también un problema de naturaleza empírica pero se pueden establecer ciertas normas que pueden servir de base para tal objeto.

Como es de suponerse dado que la generación de ozono se efectúa a base de corriente eléctrica, se puede afirmar que este reactivo es por decirlo así, un producto bastante caro y por lo mismo su dosificación debe ser controlada y efectuada de la manera más eficiente para lograr el mayor efecto con el mínimo de ozono, por eso es muy conveniente aplicar la ozonización en aguas que ya han tenido un tratamiento previo sobre todo de filtración pues de esta manera se eliminan las materias suspendidas que podrían ser motivo de un gasto excesivo de ozono.

Otro punto de vista muy importante para la aplicación del ozono es el de tener en cuenta que se trata de un oxidante mucho muy enérgico y que una instalación que no se hiciera teniendo en cuenta esto, podría resultar sumamente peligrosa, así, pues la instalación es un problema de Ingeniería y

debe tenerse este detalle en mente.

Queremos recordar lo dicho en nuestro primer capítulo, respecto a que el ozono en dosis pequeñas es agradable y refrescante pero que en dosis altas es muy sofocante y molesto y que puede originar malestares en las personas que lo aspiren.

Como un caso particular de esta tesis ahora vamos a pasar a señalar las pruebas efectuadas en el Laboratorio de una empresa de aguas purificadas, para dosificar la cantidad de ozono al agua que ahí envasan, haciendo notar que esta agua ha sido ya tratada mediante una purificación mucho muy completa a base de cloro y que por lo mismo, está en condiciones absolutas de potabilidad, lo único que se comprobó en estas pruebas fué la reafirmación de carencia de bacterias en algunos casos, y la eliminación total de cuentas bactrias inferiores a 10 colonias por c.c. así como la duración efectiva de estas aguas ya envasadas.

De la misma manera y con el fin de dar una idea más amplia de la acción bactericida del ozono, se dosificó en aguas del suministro local tomadas antes del tratamiento con cloro.

Las determinaciones analíticas de materia orgánica fueron hechas por el método del  $\text{KMnO}_4$



y oxalato de sodio.

Las determinaciones de cloro fueron hechas colorimetricamente con escala y comparador Taylor, por método de ortotolidina (checando los tipos con titulaciones yodométricas).

La determinación de ozono se hizo titulándolo yodométricamente por el método de Winkler.

TABLA I.

AGUA DE EXPERIMENTACION

Para determinar dosis optima de ozono.

CARACTERISTICAS: Temperatura agua 20.5 C  
 Temperatura ambiente 23 C

1 c.c. de todas las muestras se sembraron en placa de g  
 No. Colonias 1 hora, 24, 48, 72, 96, 148, 196, 240, 288

| Muestra | No. colonias<br>por c. c.<br>muestra. | Ozono<br>disuelto<br>p. p. m. |                |    |            |    |    |     |     |     |   |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------|----|------------|----|----|-----|-----|-----|---|
|         |                                       |                               | 1              | 24 | 48         | 72 | 96 | 148 | 196 | 240 |   |
| 1.A     | 1478                                  | 1.0                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.B     | 1478                                  | 0.9                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.C     | 1478                                  | 0.8                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.D     | 1478                                  | 0.7                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.E     | 1478                                  | 0.6                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 66  | 0 |
| 1.F     | 1478                                  | 0.5                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.G     | 1478                                  | 0.4                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.H     | 1478                                  | 0.3                           | 0              | 0  | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0 |
| 1.I     | 1478                                  | 0.2                           | 0              | 16 | incontable |    |    |     |     |     |   |
| 1.J     | 1478                                  | 0.1                           | 0              | 0  | incontable |    |    |     |     |     |   |
| 1.K     | 1478                                  | 0.0                           | 516 incontable |    |            |    |    |     |     |     |   |

TABLA I.  
 AGUA DE EXPERIMENTACION

condición optima de ozono.

temperatura agua 20.5 C

temperatura ambiente 23 C

Las muestras se sembraron en placa de gelosa y se incubaron 24 horas a 37 C.  
 a las 24, 48, 72, 96, 148, 196, 240, 288 y 360 horas después de ozonizadas.

Ozono  
 disuelto

p. p. m. 1 24 48 72 96 148 196 240 288 360

|     |     |            |            |   |   |   |    |            |    |            |  |
|-----|-----|------------|------------|---|---|---|----|------------|----|------------|--|
| 1.0 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.9 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.8 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 42 | incontable |  |
| 0.7 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.6 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 66 | incontable |    |            |  |
| 0.5 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.4 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.3 | 0   | 0          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0  | 0          | 0  | 0          |  |
| 0.2 | 0   | 16         | incontable |   |   |   |    |            |    |            |  |
| 0.1 | 0   | 0          | incontable |   |   |   |    |            |    |            |  |
| 0.0 | 516 | incontable |            |   |   |   |    |            |    |            |  |





TABLA 2

AGUA DE EXPERIMENTACION

dosis optima de ozono.

temperatura agua 20°C

temperatura ambiente 23°C

se sembraron en caldo lactosado y biliar y se incubaron 48 horas a 37 C.

coliformes 1 hora, 24, 48 y 72 después de ozonizadas.

| de<br>Por | Partes por<br>millón de<br>ozono disuel<br>to | 1    | 24   | 48   | 72 horas. |
|-----------|---|------|------|------|-----------|
|           | 1.0   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.9   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.8   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.7   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.6   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.5   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.4   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.3   | - 20 | -20  | -20  | -20       |
|           | 0.2   | - 20 | +20  | +90  | +160      |
|           | 0.1   | + 20 | +160 | +160 | +160      |

TABLA 3

## AGUA DE EXPERIMENTACION

Para determinar la dosis optima de ozono.

|                  |                  |          |      |
|------------------|------------------|----------|------|
| CARACTERISTICAS: | Temperatura      | agua     | 20 C |
|                  | Temperatura      | ambiente | 22 C |
|                  | Materia orgánica |          | 0.5  |

1.c.c. de todas las muestras se sembraron en placa de gelosa y se incubaron

No. de colonias después de ozonizadas resultados a la hora, a las 280 y 360.

| Muestra | No. colonias<br>por c.c. de<br>muestra. | Ozono<br>disuelto<br>p. p. m. | 1  | 24  | 48         | 72 | 96 | 120 | 144 |
|---------|---|-------------------------------|----|-----|------------|----|----|-----|-----|
| 3.A     | 2230                                    | 1.0                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.B     | 2230                                    | 0.9                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.C     | 2230                                    | 0.8                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.D     | 2230                                    | 0.7                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.E     | 2230                                    | 0.6                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.F     | 2230                                    | 0.5                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.G     | 2230                                    | 0.4                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.H     | 2230                                    | 0.3                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.I     | 22 0                                    | 0.2                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.J     | 2230                                    | 0.1                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.K     | 2230                                    | 0.05                          | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 3.L     | 2230                                    | 0.00                          | 39 | 206 | incontable |    |    |     |     |

TABLA 3

AGUA DE EXPERIMENTACION

la dosis optima de ozono.

|                      |      |
|----------------------|------|
| temperatura agua     | 20 C |
| temperatura ambiente | 22 C |
| matéria orgánica     | 0.5  |

muestras se sembraron en placa de gelosa y se incubaron 24 horas a 37 C.

Después de ozonizadas resultados a la hora, a las 24, 48, 72, 96, 192, 240,

| Ozono<br>disuelto<br>p. p. m. | 1  | 24  | 48         | 72 | 96 | 120 | 144 | 192 | 240        | 288        | 360 |
|-------------------------------|----|-----|------------|----|----|-----|-----|-----|------------|------------|-----|
| 1.0                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.9                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.8                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.7                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.6                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.5                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0   |
| 0.4                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 42         | incontable |     |
| 0.3                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 60         | incontable |     |
| 0.2                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   | 172 | incontable |            |     |
| 0.1                           | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |     |            |            |     |
| 0.05                          | 0  | 0   | 0          | 0  | 0  | 0   | 0   |     |            |            |     |
| 0.00                          | 39 | 206 | incontable |    |    |     |     |     |            |            |     |



TABLA 4

AGUA DE EXPERIMENTACION

Para determinar la dosis optima de ozono.

CARACTERISTICAS: Temperatur agua 20°C  
 Temperatura ambiente 22°C  
 Materia Orgánica 0.4

De todas las muestras se sembraron 1.0 c.c. en caldo lactosado y biliado y 48 horas a 37°C.

| Muestra | No. Probable<br>bacilos coli-<br>formes. | Partes por<br>millón ozo<br>no disuelto. | No. Probable<br>bacilos coli<br>formes. 1 ho<br>ra después de<br>ozonizada. | No. Probable<br>bacilos coli-<br>formes. 24<br>horas después<br>de ozonizada |
|---------|--|--|---|--|
| 4 - A   | 20                                       | 1.0                                      | -20   | -20  |
| 4 - B   | -20                                      | 0.9                                      | -20   | -20  |
| 4 - C   | -20                                      | 0.8                                      | -20   | -20  |
| 4 - D   | -20                                      | 0.7                                      | -20   | -20  |
| 4 - E   | -20                                      | 0.6                                      | -20   | -20  |
| 4 - F   | -20                                      | 0.5                                      | -20   | -20  |
| 4 - G   | -20                                      | 0.4                                      | -20   | -20  |
| 4 - H   | -20                                      | 0.3                                      | -20   | -20  |
| 4 - I   | -20                                      | 0.2                                      | -20   | -20  |
| 4 - J   | -20                                      | 0.1                                      | -20   | -20  |

TABLA 4

AGUA DE EXPERIMENTACION

osis optima de ozono.

tur agua 20°C

tura ambiente 22°C

Orgánica 0.4

sembraron 10 c.c. en caldo lactosado y biliado y se incubaron

| Partes por<br>millón ozo<br>no disuelto. | No. Probable<br>bacilos coli<br>formes. 1 hō<br>ra después de<br>ozonizada. | No. Probable<br>bacilos co-<br>liformes. 24<br>horas después<br>de ozonizado. | No. Probable<br>bacilos co-<br>liformes. 48<br>horas des<br>pués de o<br>zonizado. | No. Probable<br>bacilos coli<br>formes. 72<br>horas después<br>de ozonizado. |
|--|---|---|--|--|
| 1.0                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.9                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.8                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.7                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.6                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.5                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.4                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.3                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.2                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |
| 0.1                                      | -20   | -20   | -20  | -20  |

## CAPITULO IV.

### COMPARACION DE AGUAS AZONIZADAS CON CLORADAS

En el presente capítulo se trata de establecer una comparación de la acción bactericida en el agua del ozono y el cloro, pero queremos hacer notar que debido a la inestabilidad propia del ozono que se desvanece a los pocos minutos de haber sido burbujado no es fácil hacer esta comparación. En el presente trabajo tal comparación se establece desde el punto de vista siguiente. El ozono es burbujeado a concentraciones crecientes y se deja actuar durante el tiempo que tarda en desvanecerse. ( Titulando cada 3 minutos ). La solución ha sido previamente contaminada con E. Coli y A. Aerogenes.

Las cepas de E. Coli y A. Aerogenes fueron adquiridas del Instituto Nacional de Higiene y las cuales fueron resembradas en medio de gelosa simple y comprobada su pureza en medios de Lado y Eosina Azul de metileno de estas siembras se hicieron suspensiones bacterianas en suero fisiológico con las cuales se inocularon los garrafones de experimentación de la

manera siguiente: Se tomaron 60 garrafrones llenos de agua estéril y dicha esterilidad se comprobó sembrando 3 muestras de 1 c.c. de cada garrafón en placa de gelosa y se incubaron a 37 C.-24 horas. Los resultados obtenidos en las 180 muestras fueron 0 Colonias. En 43 garrafrones ( TABLA # 5 ).

Efectuada esta comprobación se checó por separado que dicha agua no contenía ozo no ni cloro. Entonces se procedió a inocular 20 garrafrones estériles agregando 1 c.c. de una suspensión bacteriana que contenía 814 colonias de E. Coli bacterianas de E. Coli por c.c. inoculados y 20 garrafrones estériles, agregando 1 c.c. de una suspensión bacteriana que contenía 1035 colonias bacterianas de A. Aerogenes por c.c. tapados hermeticamente y agitados se dejaron desarrollar por 24 horas se tomaron 3 muestras de cada garrafón y se sembraron en placas de gelosa gelatina y caldo lactosado biliado se comprobó plenamente que el desarrollo bacteriano era positivo estando incontable en cada garrafón. ( TABLA # 5 ).

Los 43 garrafrones así contaminados se procedió a oxenizarlos y clorarlos haciendo esto de la siguiente manera: 10 garrafr

nes contaminados con E. Coli se ozonizaron de 0.1 hasta 1.00 p.p.m ozono sucesivamente.

| p.p.m. ozono | p.p.m. ozono. |
|--------------|---------------|
| 0.1          | 0.6           |
| 0.2          | 0.7           |
| 0.3          | 0.8           |
| 0.4          | 0.9           |
| 0.5          | 1.0           |

Y lo mismo otros 10 garrafrones inoculados con Aerobacter Aerogenes.

De la misma manera se cloraron añadiendo cloro de 0.1 hasta 1 p.p.m. y se eliminó este cloro con tiosulfato de sodio al tiempo que tardó el ozono en desaparecerse.

Se volvieron a sembrar en gelosa y se obtuvieron los siguientes resultados ( TABLA # 8 ).

TABLA # 5.

Determinación de esterilidad del agua de 60 muestras.

No. Colonias en gelosa incubada a 37° C. - 24 horas.

Garrafón No.

|   |          |   |    |
|---|----------|---|----|
|   | Superior | a | 0  |
| 1 | Medio    | b | 0  |
|   | Inferior | c | 0  |
|   | Superior | a | 0  |
| 2 | Medio    | b | 0  |
|   | Inferior | c | 0  |
|   | Superior | a | 0  |
| 3 | Medio    | b | 0  |
|   | Inferior | c | 0  |
|   | Superior | a | 16 |
| 4 | Medio    | b | 7  |
|   | Inferior | c | 0  |
|   | Superior | a | 19 |
| 5 | Medio    | b | 14 |
|   | Inferior | c | 2  |
|   | Superior | a | 12 |
| 6 | Medio    | b | 3  |
|   | Inferior | c | 8  |

No. colonias en gelosa incubada a 37°C. 24 h.

Garrafón No.

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 0  |
| 7  | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 8  | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 15 |
| 9  | Medio    | b | 2  |
|    | Inferior | c | 21 |
|    | Superior | a | 0  |
| 10 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 12 |
| 11 | Medio    | b | 4  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 16 |
| 12 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 13 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

No. colonias en gelosa incubada a  
37° C. 24 horas.

Garrafón No.

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 51 |
| 14 | Medio    | b | 36 |
|    | Inferior | c | 11 |
|    | Superior | a | 0  |
| 15 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 16 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 17 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 2  |
|    | Superior | a | 0  |
| 18 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |



No. colonias en gelosa incubada a  
37° C. 24 horas.

Garrafón No.

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 51 |
| 14 | Medio    | b | 36 |
|    | Inferior | c | 11 |
|    | Superior | a | 0  |
| 15 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 16 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 17 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 2  |
|    | Superior | a | 0  |
| 18 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 4  |
| 19 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 20 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 21 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 11 |
| 22 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 23 | Medio    | b | 7  |
|    | Inferior | c | 16 |
|    | Superior | a | 0  |
| 24 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

|    |          |   |   |
|----|----------|---|---|
|    | Superior | a | 4 |
| 25 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 26 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 27 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 28 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 29 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 30 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 31 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 7  |
| 32 | Medio    | b | 2  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 56 |
| 33 | Medio    | b | 21 |
|    | Inferior | c | 9  |
|    | Superior | a | 0  |
| 34 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 35 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 2  |
| 36 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 37 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 38 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

No. Colonias bacterianas, incubación  
1 c.c. en gelosa 24 horas, a 37° C.

Garrafón No.

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 14 |
| 39 | Medio    | b | 2  |
|    | Inferior | c | 8  |
|    | Superior | a | 0  |
| 40 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 41 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 42 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 43 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 44 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

No. Colonias bacterianas, incubación  
1 c.c. en gelosa 24 horas, a 37° C.

Garrafón No.

|    |          |   |    |
|----|----------|---|----|
|    | Superior | a | 0  |
| 45 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 17 |
| 46 | Medio    | b | 6  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 47 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 48 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 49 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |
|    | Superior | a | 0  |
| 50 | Medio    | b | 0  |
|    | Inferior | c | 0  |

No. Colonias bacterianas incubación  
1 c.c. en gelosa 24 horas a 37° C.

Garrafón No.

|    |          |   |   |
|----|----------|---|---|
|    | Superior | a | 0 |
| 51 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 52 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 53 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 54 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 55 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 56 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |

No. Colonias bacterianas incubación

1 c.c. en gelosa 24 horas a 37° C.

Garrafón No.

|    |          |   |   |
|----|----------|---|---|
|    | Superior | a | 0 |
| 57 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 58 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 59 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |
|    | Superior | a | 0 |
| 60 | Medio    | b | 0 |
|    | Inferior | c | 0 |



TABLA # 6

Comprobación de los desarrollos bacterianos en las 20 muestras inoculadas  
Aerogenes.

|    | Gelosa     | Gelatina    | Caldo |
|----|------------|-------------|-------|
| 1  | incontable | incontable. |       |
| 2  | incontable | incontable  |       |
| 3  | incontable | incontable  |       |
| 4  | incontable | incontable  |       |
| 5  | incontable | incontable  |       |
| 6  | incontable | incontable  |       |
| 7  | incontable | incontable  |       |
| 8  | incontable | incontable  |       |
| 9  | incontable | incontable  |       |
| 10 | incontable | incontable  |       |
| 11 | incontable | incontable  |       |
| 12 | incontable | incontable  |       |
| 13 | incontable | incontable  |       |
| 14 | incontable | incontable  |       |
| 15 | incontable | incontable  |       |
| 16 | incontable | incontable  |       |
| 17 | incontable | incontable  |       |
| 18 | incontable | incontable  |       |
| 19 | incontable | incontable  |       |
| 20 | incontable | incontable  |       |



TABLA # 7

Comprobación de los desarrollos bacterianos en las 20 muestras inoculadas con  
Escherichia Coli.

|    | Gelosa     | Gelatina   | Ca |
|----|------------|------------|----|
| 1  | incontable | incontable |    |
| 2  | incontable | incontable |    |
| 3  | incontable | incontable |    |
| 4  | incontable | incontable |    |
| 5  | incontable | incontable |    |
| 6  | incontable | incontable |    |
| 7  | incontable | incontable |    |
| 8  | incontable | incontable |    |
| 9  | incontable | incontable |    |
| 10 | incontable | incontable |    |
| 11 | incontable | incontable |    |
| 12 | incontable | incontable |    |
| 13 | incontable | incontable |    |
| 14 | incontable | incontable |    |
| 15 | incontable | incontable |    |
| 16 | incontable | incontable |    |
| 17 | incontable | incontable |    |
| 18 | incontable | incontable |    |
| 19 | incontable | incontable |    |
| 20 | incontable | incontable |    |



De acuerdo con los resultados obtenidos en las tablas 8 y 9 se nota a primera vista la diferencia de acción del ozono y del cloro.

El ozono es un agente bactericida que actúa en una forma fulminante mientras que la acción del cloro es gradual en su acción. Esto coincide también con el hecho de que el ozono se desvanece en el agua rápidamente tal vez mucho antes de lo que indican las titulaciones pues en ellas muchas veces lo que se detecta ya no es ozono sino oxígeno.

En cambio el cloro permanece en el agua por un tiempo prácticamente indefinido y solo se elimina por el desgaste que vaya sufriendo sobre los agentes exteriores como tuberías, materia orgánica, etc, puede encontrarse cloro libre residual activo durante horas y aún meses.

Así pues, resulta evidente que el ozono es un agente bactericida más enérgico que el cloro pero en cambio es de acción menos duradera.

TABLA # 8

Efecto del ozono sobre los desarrollos bacterianos de E. Coli.

Garrafrones inoculados con E. Coli Ozonizados.

| No. | p.p.m. | tiempo de acción del ozono. | Número de colonias bactericas incubados en gelosa a 37° C. |
|-----|--------|-----------------------------|--|
| 1   | 0.1    | 27                          | 56   |
| 2   | 0.2    | 33                          | 0  |
| 3   | 0.3    | 48                          | 196  |
| 4   | 0.4    | 54                          | 0  |
| 5   | 0.5    | 56                          | 0  |
| 6   | 0.6    | 88                          | 0  |
| 7   | 0.7    | 103                         | 0  |
| 8   | 0.8    | 124                         | 0  |
| 9   | 0.9    | 127                         | 0  |
| 10  | 1.0    | 156                         | 0  |

Garrafrones inoculados con Aerobacter Aerogenes.

| No. | p.p.m. ozono | tiempo de acción del ozono | Número de colonias bactericas inoculadas en gelosa a 37° C. |
|-----|--------------|----------------------------|---|
| 1   | 0.1          | 31 min.                    | 114   |
| 2   | 0.2          | 30                         | 0   |
| 3   | 0.3          | 54                         | 0   |
| 4   | 0.4          | 50                         | 0   |
| 5   | 0.5          | 64                         | 0   |
| 6   | 0.6          | 88                         | 0   |
| 7   | 0.7          | 111                        | 0   |
| 8   | 0.8          | 102                        | 0   |
| 9   | 0.9          | 108                        | 0   |
| 10  | 1.0          | 135                        | 0   |

TABLA # 9

Efecto del cloro sobre los desarrollos bacterianos de E. Coli.

Garrafones inoculados con Escherichia Coli clorados.

| No. | p.p.m. | tiempo de acción del cloro | No. de colonias bacterias incubadas en gelosa a 37° C. |
|-----|--------|----------------------------|--|
| 1   | 0.1    | 27 min.                    | incontable   |
| 2   | 0.2    | 38                         | incontable   |
| 3   | 0.3    | 48                         | incontable   |
| 4   | 0.4    | 54                         | 325  |
| 5   | 0.5    | 56                         | incontable   |
| 6   | 0.6    | 88                         | 219  |
| 7   | 0.7    | 103                        | 126  |
| 8   | 0.8    | 124                        | 114  |
| 9   | 0.9    | 127                        | 19   |
| 10  | 1.0    | 156                        | 0  |

Efecto del cloro sobre los desarrollos bacterianos de Aerobacter Aerogenes.

Garrafones inoculados con Aerobacter Aerogenes Clorados.

| No. | p.p.m. cloro | tiempo de acción del cloro. | No. de colonias bacterias incubadas en gelosa a 37° C. |
|-----|--------------|-----------------------------|--|
| 1   | 0.1          | 31                          | incontable   |
| 2   | 0.2          | 30                          | incontable   |
| 3   | 0.3          | 54                          | incontable   |
| 4   | 0.4          | 50                          | 521  |
| 5   | 0.5          | 64                          | 416  |
| 6   | 0.6          | 88                          | 311  |
| 7   | 0.7          | 111                         | 249  |
| 8   | 0.8          | 102                         | 114  |
| 9   | 0.9          | 108                         | 21   |
| 10  | 1.0          | 135                         | 0  |

## CAPITULO V.

### PRUEBAS Y COMPARACION DE SU ACCION BACTERICIDA SOBRE AGUA ENVASES Y AMBIENTE.

En el capítulo anterior se dan los resultados de la acción del ozono sobre 10 garrafones inoculados con *Escherichia Coli* y 10 inoculados con *Aerobacter Aero*genes, cosa que en si es una comprobación de la acción bactericida del ozono pero para afirmar tal acción se procedió a inocular otros 20 garrafones esta vez sin tener en cuenta que el agua haya estado estéril anteriormente y mezclando las dos cepas l. c.c. de cada una en cada garrafón, se taparon y se dejaron desarrollarse en él durante 72 horas, se tomaron muestras y se sembraron en placa de gelosa y se incubaron 24 horas a 37° grados C., todas las placas resultaron incontables y hasta con olor fuertemente fétido.

Entonces se burbujó ozono durante 10 minutos en cada garrafón y se tituló una muestra obteniéndose que el agua habría quedado con 0.5 p.p.m. después de ozonizada se tapó herméticamente y se



dejaron 24 horas antes de sembrar otra vez los resultados obtenidos fueron los siguientes sembrando cada 24 horas:



TABLA # 10

de la acción bactericida del ozono en agua contaminada.  
 en gelosa cada 24 horas incubados a 37°.

| 24 | 48 | 72 | 96 | 120        | 144 | 178 | 202 | 226        | 240        | 264        | 288        | 312        | horas. |
|----|----|----|----|------------|-----|-----|-----|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 178        | incontable |        |
| 0  | 0  | 0  | 46 | incontable |     |     |     |            |            |            |            |            |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 56         |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 51         | incontable |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 21  | 536        | incontable |            |            |            |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 19         |        |
| 0  | 0  | 0  | 51 | incontable |     |     |     |            |            |            |            |            |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 36         | incontable |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 178        | incontable |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 36         |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 54         |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 17  | 226 | incontable |            |            |            |            |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 51         | incontable |            |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 37         |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | incontable |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 0          | 0          | 0          | 72         |        |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0          | 0   | 0   | 0   | 0          | 56         | incontable |            |            |        |

Antes de descubrir la forma como se efectuó la comprobación de la acción bactericida del ozono sobre los garrafones de vidrio en que es transportada el agua en la Empresa Embotelladora se reseñará brevemente la manera como son lavados.

El garrafón es colocado en una banda donde es seleccionado para ser lavado, pues todos aquellos garrafones que contienen algún producto que envenenara la solución lavadora deben lavarse aparte, (Productos químicos muy aromáticos, pintura, etc. ). Esta banda los conduce a la lavadora que tiene como primera sección un tramo donde el garrafón es escurrido, enseguida entra a la siguiente sección donde la sosa al 4% es mezclada con otros productos humedecedores generalmente a base de polifosfatos solubles, efectúan el lavado de los garrafones mediante un sistema de aspersion, debe hacerse notar que la solución de sosa está a una temperatura de 50° C. luego pasa por 5 secciones de enjuague en donde el agua fuertemente ozonizada esteriliza dichos garrafones.

El método para determinar la este-

rilidad del garrafón consiste en tomar el garrafón y taparlo herméticamente con corcholata estéril luego ya en el laboratorio se le añade una solución de suero fisiológico se agita y se siembra 1 c.c. de este suero en placa de gelosa se incuba y se hace el cuanteo usual.

Para las pruebas de esta tesis, 20 garrafones lavados y enjuagados con agua contaminada se taparon y se hizo la siembra comprobando que la contaminación fué efectiva.

TABLA No. 11

Prueba de contaminación de envases.

Garrafón No.      No. Colonias siembra en ge  
losa inculación 24 horas a  
37° C.

|    |            |
|----|------------|
| 1  | incontable |
| 2  | incontable |
| 3  | incontable |
| 4  | incontable |
| 5  | incontable |
| 6  | incontable |
| 7  | incontable |
| 8  | incontable |
| 9  | incontable |
| 10 | incontable |
| 11 | incontable |
| 12 | incontable |
| 13 | incontable |
| 14 | incontable |
| 15 | incontable |
| 16 | incontable |
| 17 | incontable |
| 18 | incontable |
| 19 | incontable |
| 20 | incontable |

TABLA No. 12

Prueba de esterilización de envase con ozono.

Se les dió a cada uno 3 enjuagues con agua recién ozonizada de 0.1 a 0.5 p.p.m. se sembraron y de su observación se obtuvieron los siguientes resultados:

| Garrafón No. | p.p.m. ozono con el agua de enjuague. | No. Colonias bacterias siembra en gelosa 1 c.c. incubación a 37° C. 24 horas. |
|--------------|---------------------------------------|---|
| 1            | 0.1                                   | 2   |
| 2            | 0.1                                   | 7   |
| 3            | 0.1                                   | 0   |
| 4            | 0.2                                   | 0   |
| 5            | 0.2                                   | 0   |
| 6            | 0.2                                   | 0   |
| 7            | 0.3                                   | 0   |
| 8            | 0.3                                   | 0   |
| 9            | 0.3                                   | 0   |
| 10           | 0.4                                   | 0   |
| 11           | 0.4                                   | 0   |
| 12           | 0.4                                   | 0   |
| 13           | 0.5                                   | 0   |
| 14           | 0.5                                   | 0   |
| 15           | 0.5                                   | 0   |

TABLA No. 13

Prueba de lavado con agua este-  
11 pero carente de ozono

|    |   |            |
|----|---|------------|
| 16 | 0 | 24         |
| 17 | 0 | 0          |
| 18 | 0 | 72         |
| 19 | 0 | incóntable |
| 20 | 0 | 18         |

TABLA No. 14

Comparación de Ambiente con ozono  
y sin ozono.

Muestra de aire  
ambiente "Sin  
ozono" siembra  
en gelosa a 37°  
C. 24 horas.

Muestra de aire  
ambiente "Con  
ozono" siembra  
en gelosa a 37°  
C. 24 horas.

|    |    |   |
|----|----|---|
| 1  | 6  | 0 |
| 2  | 4  | 2 |
| 3  | 16 | 0 |
| 4  | 3  | 3 |
| 5  | 9  | 0 |
| 6  | 28 | 0 |
| 7  | 4  | 1 |
| 8  | 2  | 0 |
| 9  | 11 | 0 |
| 10 | 9  | 0 |



El resultado de esta tabla demuestra que un envase de vidrio bien lavado basta enjuagarlo con una agua carente de bacterias y un contenido de ozono de 0.2 p.p.m. para obtener la seguridad de su esterilización, sin embargo, cabe hacer notar que una dosis superior siempre será de acción indiscutible.

Como última comprobación efectuada de la acción bactericida del ozono, se ensayó en el ambiente. Escogiéndose el ambiente del local que ocupa el Departamento de en vase de la empresa embotelladora de agua, por estar cerrado y contar con un extractor, y equipo de filtración de aire y además un generador de ozono graduable.

Primeramente se aseguró que el aire se cambiaría por medio del extractor durante 2 horas, para estar completamente ciertos de haber desalojado cualquier aire ozonizado que siempre puede encontrarse ahí.

El extractor es capaz de cambiar todo el aire 6 veces cada minuto.

Se procedió a colocar 10 cajas petri con gelosa en la ruta del aire ambiente hacia el exterior, se taparon y se incubaron. Se dejó salir ozono hasta que se calculó

que el ambiente tendría alrededor de 1 g. por cada 10 M.<sup>3</sup> de aire; se colocaron las cajas y se tuvieron abiertas 10 minutos, se incubaron en la forma usual.

Los resultados obtenidos son los de la tabla N<sup>o</sup>. 14.

## CAPITULO VI.

### C O N C L U S I O N E S .

El ozono como agente bactericida general y, en particular aplicado a purificación de agua, envases y ambiente en una planta embotelladora de agua, se debe considerar como el mejor producto hasta ahora ensayado dadas las cualidades que ya se han mencionado antes en esta tesis. Como resúmen enumeraremos las siguientes:

1.- Es el agente oxidante más enérgico después del fluor, muy superior al cloro.

2.- Es fácil de aplicar.

3.- Es fácil de obtener.

4.- No deja residuos.

5.- Es de olor y sabor agradable a las dosis usuales de dosificación.

6.- No es perjudicial al organismo al ser ingerido.

7.- Su inestabilidad evita peligro por altas concentraciones.

8.- Puede competir en costos con el cloro teniendo en cuenta sus ventajas.

Se hace notar que se debe aplicar en dosis suficientes para destruir las bacterias pues su acción es inmediata y dura poco tiempo.

Su dosificación debe hacerse con cuidado pues las determinaciones analíticas son difíciles de obtener con exactitud debido a su inestabilidad.

Como nota aparte se ha demostrado que el ozono destruye las esporas cosa que no hace el cloro.

## CAPITULO VII.

### B I B L I O G R A F I A .

#### BACTERIOLOGIA.

A J. Salle

Profesor de Bacteriología en la Universidad de California.

Versión de la 4a. edición norteamericana por Ignacio Rodrigo García.

Editorial Gustavo Gili, S. A.

Barcelona.- C. Enrique Granados 45.

MCMLVII

Bacteriología del agua, Capítulo XXI.  
páginas 555 a 578.

---

#### OZONE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY.

Advances in Chemistry Series.

No. 21

Edited by the Staff of A.C.S. Applied Publications.

Published March, 1959.

American Chemical Society.

1155 Sixteenth St. N. W.

Washington 6, D.C. ( 57-65 ) ( 93-101 )

( 102-107 ) ( 370-387 ).

---

Tratamiento con ozono para quitar sabor, olor y color del agua.

Víctor Hann.

Reimpreso.-

Journal of the New England Water.

Words Association T. LXI - Núm 3

(1947).

---

Química Inorgánica Moderna.-

Nueva Edición Revisada y dirigida por  
G.D. Pardes M.A.D. Phil.

Miembro del Rable College Oxford. en  
colaboración con J. W. Mellor D.

Traducción castellana por el Dr. Enrique V. Zappi. Profesor en las universidades de Buenos Aires y La Plata.

Libreria editorial El Ateneo. Florida  
340 Cordoba 2099 Buenos Aires 1942.

Pag. 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318.

---

Tratado de Química Inorgánica.

Por el Profesor Dr. Ernesto H. Riesen-

feld.

Traducción del Prof. J. Martín Sauras.

Catedrático de Química Inorgánica en la

Universidad de Zaragoza.

Barcelona. Manuel Marín Editor.

Provenza # 273.

Pag. 73, 74, 75, 76, 77

---