

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL MICROBIOLOGICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

ALVARO DE LEON MARIZUYA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

GUATEMALA, ENERO DE 1997


R  
08  
+ (3949)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

CONTROL MICROBIOLOGICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

tema que me fuera signado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 14 de mayo de 1,996.



ALVARO DE LEON MARIZUYA

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERIA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios.  
VOCAL 1°: Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra.  
VOCAL 2°: Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano.  
VOCAL 3°: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.  
VOCAL 4°: Br. Víctor Rafael Aldana.  
VOCAL 5°: Br. Wagner Gustavo López Cáceres.  
SECRETARIO: Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

### TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio Ismaél González Podszueck.  
EXAMINADOR: Ing. Rodolfo Francisco Espinoza Smith.  
EXAMINADOR: Ing. César Alfonso García Guerra.  
EXAMINADOR: Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía.  
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.


Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

C O N S T A N C I A

Por medio de la presente hago constar que ha quedado aprobado el Protocolo de Tesis titulado: **CONTROL MICROBIOLÓGICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO** del estudiante **Alvaro de León Marizuya**, carnet No. 89-16346.

El Protocolo ha sido asesorado por el Ing. Ezzio Marsicovetere Gallardo y revisado por el Ing. Carlos Salvador Wong Davi, quienes también fungirán como Asesor y Revisor de la Tesis.

Atentamente,

  
Dr. Adolfo Acuña  
DIRECTOR  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
ESCUELA  
INGENIERIA QUIMICA  
U. S. A. C.

Guatemala, 14 de mayo de 1,996

7 de Octubre de 1,996

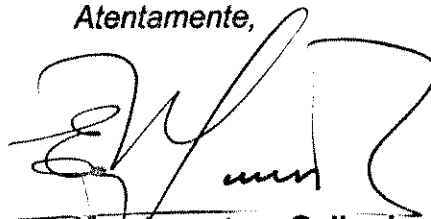
Ingeniero  
**Adolfo Gramajo**  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Química  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
Presente

**Estimado Ingeniero Gramajo:**

Por medio de la presente, me permito informar a usted que apruebo el trabajo de Tesis de **Alvaro De León Marizuya**, titulado "**Control Microbiológico en Sistemas de Enfriamiento**", ya que en este trabajo de Tesis se tratan aspectos importantes del control microbiológico que afectan los sistemas de enfriamiento, y los problemas que estos producen, así como los distintos tipos de microbiocidas utilizados para combatirlos, y las formas de dosificación que se pueden tener.

Este trabajo es bastante interesante, ya que muy pocas industrias le dan la importancia necesaria al control microbiológico de sus sistemas de enfriamiento, lo que produce pérdidas en la eficiencia de los sistemas de enfriamiento, y deterioro en los mismos.

Atentamente,



—Ing. Ezzio Marsicovetere Gallardo  
Colegiado No. 157

cc: cor

\*df



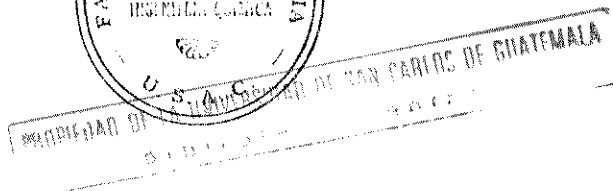
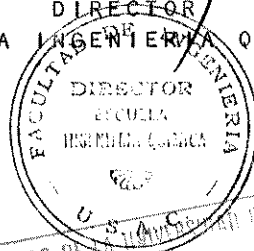
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante; ALVARO DE LEON MARIZUYA titulado: CONTROL MICROBIOLÓGICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio E. Chávez Montúfar  
DIRECTOR  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 14 de enero de 1,997.

## INDICE

I. RESUMEN .....	1
II. INTRODUCCION .....	2
III. ANTECEDENTES .....	5
III.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO .....	5
III.2 MICROORGANISMOS DE LAS AGUAS DE ENFRIAMIENTO .....	6
III.2.1 Algas .....	6
III.2.2 Hongos .....	8
III.2.3 Bacterias .....	8
III.3 PROBLEMAS CAUSADOS POR LA ACTIVIDAD MICROBIANA .....	9
III.3.1 Problemas de corrosión .....	11
III.3.2 Problemas de deposición .....	12
III.4 DETERIORO DE LA MADERA .....	13
III.4.1 Ataque biológico .....	13
III.4.2 Ataque químico .....	14
III.4.3 Ataque físico .....	15
III.5 TIPO DE MICROBIOCIDAS .....	15
III.5.1 Biocidas oxidantes .....	15
III.5.2 Biocidas no oxidantes .....	17
III.6 DOSIFICACION DE LOS MICROBIOCIDAS .....	19
III.7 SELECCION DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL MICROBIOLOGICO ..	21
III.8 EVALUACION DE LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO .....	24
IV. RESULTADOS .....	25
V. DISCUSION .....	43

VI. CONCLUSIONES .....	47
VII. RECOMENDACIONES .....	49
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	50
IX. ANEXOS .....	51
Tabla 1 .....	51
Principales tipos de algas	
Tabla 2 .....	52
Principales tipos de mohos	
Tabla 3 .....	53
Principales tipos de bacterias	
Tabla 4 .....	54
Distintos tipos de microbiocidas y su efectividad ante distintos microorganismos	
X. GLOSARIO .....	55



## I. RESUMEN

---

El presente trabajo de tesis pretende mostrar la importancia de proporcionar un adecuado control microbiológico a los sistemas de enfriamiento, para lo cual se hace una breve introducción sobre la utilidad de estos sistemas, sus principales tipos y funcionamiento, posteriormente se hace referencia a los distintos microorganismos que se pueden encontrar en dichos sistemas; son estos las algas, los hongos y las bacterias, y se describen los problemas que pueden causar.

A continuación, se describen los distintos tipos de microbiocidas que se utilizan, microbiocidas oxidantes y no oxidantes, la forma de actuar de cada uno de ellos y unos ejemplos de los más utilizados, y posteriormente se indica la forma adecuada de dosificarlos y, con base en esto, determinar cuál es el mejor programa de control microbiológico para cada sistema.

A continuación, se procede a hacer referencia de los resultados obtenidos en el trabajo de campo, en donde fueron tratados los sistemas de enfriamiento de tres Empresas, que utilizaron tres tipos de microbiocidas, cuyos compuestos activos para cada uno son amonio cuaternario, glutaraldehído e isotiazolina.

## II. INTRODUCCION

---

La industria utiliza el agua en diferentes maneras. Una de las formas más importantes es el proceso de enfriamiento de productos y equipo. Dichos procesos se encuentran entre los más antiguos que haya desarrollado el hombre.

Diariamente la industria usa billones de galones de agua en los procesos de enfriamiento. Para conservar este recurso no renovable y minimizar los costos del enfriamiento industrial, la mayor parte de agua se recircula y se usa nuevamente. Esta operación se lleva a cabo con la utilización de equipos auxiliares que garantizan dicha recirculación, y reduzcan al mínimo el volumen de agua de reposición.

El sistema está compuesto por dos partes principales: un intercambiador de calor que transfiere calor de un líquido con alta temperatura al agua de enfriamiento, que posee menor temperatura, y una torre de enfriamiento, la cual remueve el calor absorbido por el agua, y lo transfiere al aire, de manera que pueda ser reusada.

Una torre de enfriamiento elimina el calor absorbido por el agua circulante y la expone al aire. La reducción en la temperatura es el resultado de dos procesos: 1) la transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción pequeña de agua y 2) la transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire. Del 80 al 90% del enfriamiento que se lleva a cabo, se debe al calor latente, mientras que sólo del 10 al 20% es el resultado de la transferencia de calor sensible.

---

Los sistemas donde se guarda agua proporcionan un excelente ambiente para el crecimiento de microorganismos. Las torres de enfriamiento son un ejemplo de ello, ya que proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento de los mismos, debido a que la temperatura y el pH se encuentran en los rangos ideales para su crecimiento; generalmente los nutrientes requeridos por los microorganismos se encuentran en abundancia, además de encontrarse la cantidad necesaria de materia orgánica e inorgánica, así como la suficiente luz solar y la incidencia de las corrientes de aire que proporcionan un medio apropiado para su crecimiento y reproducción. El crecimiento de la cantidad de microorganismos en estos lugares tiende a aumentar exponencialmente, ya que se calcula que se reproducen seis veces más rápido que en sistemas normales, debido a las condiciones antes mencionadas.

En el siguiente estudio, se encuentra una descripción de los distintos sistemas de enfriamiento que se conocen; además, se presentan los principales problemas que estos sistemas pueden presentar, y se profundiza en aquellos causados por el desarrollo de microorganismos; se expone una serie de recomendaciones para determinar o seleccionar los programas de control biológico, los tipos de microbiocidas y sus características ante determinados microorganismos, según sea el uso y tipo de los sistemas de enfriamiento, el modo en que se deben de ser aplicados y la forma de evaluar los resultados, para determinados sistemas de enfriamiento.

Aprendiendo a utilizar adecuadamente el agua como medio refrigerante teniendo en cuenta su condición de recurso no renovable y necesario, es imprescindible saber qué tipo de tratamientos se le debe de dar, para obtener el máximo rendimiento en su utilización, preservación de equipos de enfriamiento y minimizar la contaminación del sistema, así como la del medio ambiente.

### III. ANTECEDENTES

---

#### III.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

Existen tres tipos básicos de sistemas de enfriamiento: de un solo paso, recirculación abierta y recirculación cerrada.

En los sistemas de un solo paso, el agua pasa solamente una vez a través del equipo de transferencia de calor y luego es desechada.

En los sistemas abiertos de recirculación, continuamente se reutiliza el agua que pasa a través de los equipos de transferencia de calor; en este grupo se encuentran las torres de enfriamiento.

Existen dos tipos básicos de torres de enfriamiento: 1) las de tiro mecánico, que a su vez se subdividen en: torres de tiro forzado y torres de tiro inducido. 2) Torres de tiro natural.

En las torres de tiro forzado, el aire se hace pasar en la torre de enfriamiento de la parte inferior hacia la parte superior, por medio de un ventilador colocado en la base de la misma. Las de tiro inducido, se subdividen a su vez en diseños de contraflujo o de flujo transversal, dependiendo de las direcciones relativas de flujo del agua y el aire.

---

Las torres de tiro natural utilizan el movimiento natural del aire a través de ellas; se utilizan para grandes cantidades de aire y, por lo general, se fabrican de concreto reforzado.

Los sistemas cerrados de recirculación tienen una mínima pérdida de agua y prácticamente se vuelve a recircular.

### **III.2 MICROORGANISMOS DE LAS AGUAS DE ENFRIAMIENTO**

Los microorganismos llegan al agua de enfriamiento de dos formas: por el agua que se encuentra alimentando el sistema, o por el aire que pasa sobre la torre.

Hay tres grandes clases de microorganismos que están asociados con los sistemas de recirculación de agua de enfriamiento: algas, hongos y bacterias.

#### **III.2.1 Algas**

Entre los principales grupos de microorganismos que habitan en las aguas de los sistemas de enfriamiento tenemos las algas.

Estas son plantas microscópicas y organismos con apariencia de planta que o flotan libremente en el agua o se adhieren en masas en serie a cualquier superficie disponible.

---

Un alga puede estar formada desde una sola célula hasta especies pluricelulares. Estas generalmente crecen en superficies húmedas de torres de enfriamiento, eliminadores de vapor, particiones y bandejas de distribución que se encuentran expuestas al oxígeno y a la luz solar. En vista de que la exposición del agua circulante a la luz del sol en las torres de enfriamiento favorece enormemente su crecimiento y reproducción, y la distribución de las cubiertas y paredes particulares de estos equipos les proporcionan todos los requerimientos necesarios para su crecimiento, se observa que flotan en grandes masas en la parte superior de las torres, y están colocadas en su estructura.

Las masas de algas pueden restringir el flujo y en consecuencia la eficiencia térmica o bien descomponer la distribución del agua dentro del sistema, y deteriorar algunas partes componentes como la madera, que aún se suele emplear en el material de relleno de las torres.

El problema primario que provocan las algas es el ensuciamiento; todas las algas producen oxígeno, que ocasiona problemas de corrosión y acelera la destrucción de la torre.

Debido a que la temperatura y el valor del pH óptimo para que subsistan estos microorganismos se encuentran en el rango básico de operación de los sistemas de enfriamiento, no es raro encontrar que estas algas proliferen en dichos sistemas.

En la tabla 1, se muestran las algas más comunes que habitan en las torres de enfriamiento, la temperatura a la cual viven y el pH óptimo para su crecimiento.

---

### **III.2.2 Hongos**

Los hongos son similares a las algas, pero no contiene clorofila, por lo que son generalmente incoloros. Los hongos de mayor interés son las levaduras y los mohos. Ellos requieren humedad y aire, pero no luz solar. Estos hongos se alimentan de nutrientes encontrados en el agua o sustancias a las cuales se le pueden unir.

Algunas especies de hongos consumen los componentes de la madera, y provocando deterioración severa de la superficie y pudrición interna; esto reduce el tiempo de vida y la eficiencia de los componentes de la madera, y son otra causa del ensuciamiento.

En la tabla 2, se presentan algunos de los parámetros importantes para la vida de los hongos. De nuevo se puede ver que el pH y el valor de la temperatura de operación de estos sistemas se encuentra entre los valores óptimos para su desarrollo, así como algunos problemas que pueden causar.

### **III.2.3 Bacterias**

Las bacterias son organismos unicelulares microscópicos; existen en tres formas básicas: bacilos, cocos y espirilos.

Sus requerimientos de nutrientes para crecimientos deben de estar en solución, necesitan cierta cantidad de humedad en su ambiente. Se encuentran habitando principalmente en las áreas oscuras del sistema. Las bacterias pueden producir la formación de lodo, que causa ensuciamiento y corrosión; éste se adhiere casi a toda las superficies. Atrapa otras impurezas, y da como resultado una restricción en el

---

flujo del agua. Desafortunadamente, algunos lodos pueden significar reducción en la eficiencia de la transferencia de calor, y agrava los depósitos de corrosión.

La presencia de oxígeno no es un requisito para todas las especies de bacterias. Bacterias aeróbicas requieren oxígeno libre para crecer, mientras que las bacterias anaeróbicas crecen en ausencia de oxígeno.

Intercambiadores de calor son incubadores ideales para la biomasa. Diferentes tipos de bacterias aparecen en los sistemas de aguas de enfriamiento, lo que hace que su control sea extremadamente difícil, debido a que algunas sustancias que son tóxicas para algunas especies no lo son para otras; una lista parcial de las bacterias más comunes se presenta en la tabla 3. Además, se incluyen los rangos de temperatura y de pH en los cuales viven, y algunos de los problemas que causan.

### **III.3 PROBLEMAS CAUSADOS POR LA ACTIVIDAD MICROBIANA**

La continua acumulación y el constante crecimiento de microorganismos en los sistemas de enfriamiento de agua provocan gran cantidad de problemas.

Una planta con un control inadecuado puede llegar a tener dificultades tratando de controlar la corrosión y la deposición.

Dependiendo del grado de desarrollo de la actividad microbiana que se tenga puede, en algunas ocasiones, interferir con el flujo de agua, con la transferencia de calor y corrosión del metal a través de los intercambiadores de calor y otros conductos. Este contribuye al deterioro general de todo el sistema de enfriamiento.



---

Los sistemas de recirculación de agua de enfriamiento son incubadores ideales que promueven el crecimiento y proliferación de microorganismos. Aguas saturadas de oxígeno y que generalmente contienen un elevado nivel de sólidos disueltos, se mantienen expuestas a la luz del sol, con temperaturas entre 30 y 60°C, y rangos de pH entre 6 y 9, proporcionan abundantes nutrientes y un ambiente apropiado para su crecimiento.

Otro problema asociado con la contaminación por microorganismos es el deterioro del material de relleno de las torres de enfriamiento, especialmente cuando éstas son de madera; esto no sólo reduce la eficiencia de operación del sistema, sino que incrementa los costos de operación.

Entre los principales tipos de crecimientos biológicos (biomasa) que ocurre en las porciones no expuestas de los sistemas de enfriamiento, se encuentra el sarro, la corrosión, y la deposición. El sarro es la acumulación de varios microorganismos y sus desechos junto con materia orgánica e inorgánica formando una masa. La construcción de la biomasa es iniciada con la absorción de materia orgánica en la superficie del metal, dicha materia es proveniente del agua. El transporte de partículas microbiológicas a la superficie se realiza a través de flujos turbulentos. Los distintos microorganismos se adhieren a la superficie y crecen debido a la asimilación de nutrientes.

Eventualmente algo de la biomasa es separada y reingresa en el agua y se repite el proceso de su desarrollo en alguna otra parte del sistema.

Deposición, corrosión y contaminación biológica de las aguas de enfriamiento han sido un gran reto para los procesos químicos, industriales, y plantas de energía. La corrosión ha acaparado un gran interés; actualmente el interés se ha desviado en

---

cierto grado a la contaminación biológica. Los efectos de los lodos biológicos y la amplia deposición que causa sus componentes inorgánicos, en particular, poseen un gran interés en la vida acuática microscópica y macroscópica.

### III.3.1 Problemas de corrosión

Muchos de los microorganismos encontrados en las torres de enfriamiento utilizan hidrógeno en sus procesos metabólicos, lo que da como resultado una depolarización catódica de una reacción de corrosión. El oxígeno liberado por las algas también es parte de las reacciones de corrosión, que crean áreas catódicas y anódicas. Los microorganismos pueden multiplicarse en las irregularidades de las superficies del metal, y establecen diferencias en el potencial eléctrico.

Entre los microorganismos causantes de corrosión tenemos los siguientes:

**a.- Bacterias productoras de sulfitos:** éstas producen sulfuro de hidrógeno, que ataca el metal, incluso el acero inoxidable, reducen cromatos y precipitan sales de zinc, vive en ausencia de oxígeno; las más comunes de estas son: desulfoviborio, clostridium, thiobacillus.

**b.- Bacterias productoras de nitrógeno:** son organismos que tiene la habilidad de convertir el amonio y amoníaco en compuestos de ácido nítrico, anulan la eficacia de los nitritos inhibidores de corrosión, oxidan el nitrito a nitrato; este es el más serio problema en sistemas cerrados, en que se usa comúnmente nitrito como inhibidor de corrosión. Las más comunes son: nitrobacter y nitrosomonas.

---

c.- **Bacterias de hierro:** son organismos que convierten el hierro soluble (ferroso) en hierro insoluble (férrico) y utilizan energía en esta conversión. Esta bacteria no produce corrosión pero la causa indirectamente debido a la remoción del hierro soluble; las más comunes son: gallionella, crenothrix, y sphaerotilus.

### III.3.2 Problemas de deposición

En muchos casos, no se pueden detectar los problemas de deposición por análisis cuantitativos de muestras, ya que la materia orgánica microbiana forma parte mínima de la muestra, en términos de porcentaje en peso. Su detección, por lo general, debe de ser visual, ya que es casi imposible determinar la magnitud real del problema sin examinar la superficie del sistema.

Bacterias reductoras de hierro producen depósitos de hidróxido férrico, los cuales poseen varias veces el tamaño de las bacterias mismas. El crecimiento de algas diatomeas puede degenerar en formación de sílica.

Las algas pueden tapar las aberturas en los sistemas de distribución en la parte superior de la torre, y producir una distribución no uniforme del agua en el empaque de la torre, y provoca pérdidas en su eficiencia. La materia acumulada reduce el área seccional de flujo, lo que ocasiona una disminución en la transferencia de calor.

El sarro, que se forma por la misma deposición de distintos microorganismos, incluso puede estar formado por algas que han sido transportadas de otras áreas y han sido atrapadas en estas masas. El crecimiento de sarro puede ocurrir en áreas iluminadas o no. El sarro puede provocar pérdidas de calor y de eficiencia, e incluso provoca picaduras en el metal debido a los diferenciales de las concentraciones de oxígeno.

---

### **III.4 DETERIORO DE LA MADERA**

Anteriormente la mayoría de las torres de enfriamiento se encontraban construidas de madera; en la actualidad, este material ha sido sustituido por otros de alta resistencia al agua y de mayor tiempo de vida útil.

La madera está compuesta principalmente de fibras de celulosa unidas por lignina. Las maderas más utilizadas para la construcción de las torres son: pino gigante de California, cedro colorado, abeto y pino del sur.

La descomposición de la madera es causada por distintos microorganismos, como lo son:

a.- Hongos: son organismos que generalmente producen pudrición interna de la madera, y convierten la celulosa en fuente de nutrientes; y da como resultado la pérdida de fuerza, y viven en condiciones cálidas y húmedas.

b.- Bacterias: son organismos que utilizan la celulosa y lignina como fuente de alimento, y producen ablandamiento y pérdida de fuerza en la madera.

Las torres de enfriamiento de madera pueden ser atacadas en distintas formas; se clasifica este ataque en tres categorías básicas: ataque biológicos, químicos y físicos.

#### **III.4.1 Ataque biológico**

Una de las causas del ataque biológico se debe a que se usan maderas de mala calidad. El deterioro biológico de la madera se divide en dos tipos: superficial e interno.

---

El ataque superficial ocurre en las áreas cubiertas por agua y es causada por mohos destructores de la celulosa como los grupos Ascomycetes y Fungi imperfecti.

El ataque interno toma lugar de una de dos formas, pudrimiento blanco o café. El pudrimiento blanco resulta del deterioro de la lignina de atadura, mientras que el pudrimiento café es caracterizado por el ataque de las fibras de celulosa. Hongos termófilos como el grupo Basidiomycetes están involucrados en esta situación. Las áreas secas y el recubrimiento interno son las más susceptibles a este ataque.

El ataque microbiológico debilita la fuerza mecánica y la resistencia estructural de la torre. Los microorganismos pueden atacar las partes de adentro de los miembros de madera sin causar ningún daño visible. El ataque biológico a la madera se controla usando preservantes para madera y tratamientos de spray anuales.

#### **III.4.2 Ataque Químico**

El efecto primario del ataque químico es el delineado, el cual se produce en presencia de fuertes agentes oxidantes como el cloro, bromo y ozono. Debido a que estos oxidantes se agregan al agua de enfriamiento para el control del crecimiento microbiológico, los microorganismos contribuyen indirectamente en la delineación. Esta situación es agravada por alta alcalinidad. La delineación ocurre en áreas mojadas de las torres, y se evidencia como el apareamiento de fibras blancas en la estructura de la torre.

---

### **III.4.3 Ataque físico**

La acción de rompimiento del agua por llevar sales, resultado de operaciones secas y húmedas, produce deterioro de la madera. Esto se llama fibrilación. El control adecuado de las sales reduce este problema.

### **III.5 TIPO DE MICROBIOCIDAS**

Existen dos tipos de biocidas: los biocidas oxidantes y los no oxidantes. Los primeros queman los microorganismos y destruyen sus nutrientes, o bien queman y producen químicos que son tóxicos para algunos microorganismos, mientras que los segundos son cualquier químico que no es un agente oxidante, pero tóxico a una o más clases de microorganismos y los matan los por envenenamiento.

En la tabla 4, se puede encontrar un resumen de los microbiocidas más utilizados en sistemas de enfriamiento de agua y la eficacia de éstos contra las bacterias, hongos y algas.

#### **III.5.1 Biocidas oxidantes**

Los biocidas oxidantes son aquellos que junto con su poder biocida oxidan otros compuestos. Un ejemplo común es el cloro, el cual se reduce y a su vez oxida el hierro en ion férrico.

Cloro y compuestos clorados: este químico se quema y produce sustancias tóxicas, sin embargo, reacciona con microorganismos y es destruido por agentes reductores. Su forma de uso más conocida es en gas, y se llama hipoclorito de sodio.

---

El cloro posee un costo bajo, es tóxico a la mayoría de microorganismos y reacciona rápidamente, incluso en concentraciones bajas. Se utiliza en concentraciones que van desde 0.2 a 1.0 mg/l, o aun más, luego de alcanzar el break point, las que generalmente destruyen la mayoría de microorganismos, incluso si el contacto con él es por muy corto tiempo; este químico se consume y produce sustancias tóxicas.

La cantidad de cloro requerida para el control de los microorganismos está dictado por varios factores:

- 1.- la calidad de agua de alimentación de las torres,
- 2.- la cantidad y el tiempo de contacto con la atmósfera,
- 3.- otros programas de tratamiento para las torres y
- 4.- la naturaleza y la cantidad de la contaminación en el sistema.

La eficiencia germicida del cloro es más baja en aguas de enfriamiento donde el valor del pH es igual o mayor que 8.

**Dióxidos de cloro:** bastante similar al cloro pero deflagra a los microorganismos. Es un agente oxidante más poderoso que el cloro. Sin embargo, este compuesto no ofrece ventajas en el tratamiento de aguas industriales, y es generalmente más costoso que el cloro.

**Hipocloritos:** son sales de ácidos hipoclorosos y se encuentran formulados en diferentes grados. Principalmente son compuestos como el hipoclorito de sodio (NaOCl). Estos hipocloritos se añaden al agua del sistema de enfriamiento y funcionan en gran parte como lo hace el cloro gas.

---

**Ozono:** es un poderoso y natural gas oxidante. En solución, posee grandes características oxidantes. Como microbiocida, reacciona combinándose con las proteínas e inactiva la reducción de las enzimas que son necesarias para la respiración de la célula.

Como contraposición a su uso, se tiene que el ozono contribuye a deteriorar el tablado de la torre por atacar la lignina cuando es sobredosificado, y además es un compuesto sumamente caro.

**Bromuros:** son líquidos bastante similares al cloro en su apariencia y en su acción.

**Permanganatos:** generalmente se usan sales de potasio. No es bastante efectivo, principalmente con problemas de hierro y magnesio.

**Peróxido de hidrógeno:** un fuerte líquido oxidante, se degrada a agua y es usado para limpiar todo tipo de sistemas.

### **III.5.2 Biocidas no oxidantes**

Los biocidas no oxidantes algunas veces se usan para sustituir la clorinación, cuando el cloro no es completamente efectivo.

**Sales metálicas:** son generalmente sales de cobre, que son usadas para control de algas y de bacterias, sin embargo, los mohos y hongos son resistentes a estos compuestos. Estas han sido efectivas como microbiocidas en aguas de enfriamiento cuando se usan como sulfato de cobre en un rango de 1 a 2 mg/l. Las sales de cobre



---

no son muy recomendadas en sistemas de enfriamiento, debido a que los iones cupricos tienden a convertirse en cátodos y causan corrosión en el sistema.

**Sales de amonio cuaternario:** generalmente efectivos para bacterias y algas. Causan espumas y reaccionan con inhibidores aniónicos.

**Compuestos de amonio cuaternario:** estos compuestos requieren una mayor cantidad inicial de dosificación, debido a que se evaporan al hacer contacto con la torre. Eliminando esta desventaja, son compuestos que se usan con mucho éxito, especialmente cuando son combinados con ciertos iones metálicos como el estaño. Debido a su poder de penetración, requieren ser aplicados en concentraciones bajas.

**Sales grasas de aminas:** bastante efectivas contra bacterias corrosivas. Pueden producir espuma y reaccionar con inhibidores aniónicos.

**Sales de amonios cuaternarios y órgano metálicas:** son bastantes efectivas en algas, hongos y bacterias.

PROFESORADO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

**Organo-sulfuros:** una gran variedad de microbiocidas órgano-sulfuros se encuentran disponibles para su uso en sistemas de aguas de enfriamiento, y son bastante similares en su actividad; el rango de pH que afecta su eficacia son muy diversos.

En general, la función de los compuestos órgano-sulfuros como microbiocidas es inhibir el crecimiento celular, ya sea de forma competitiva o no.

La acción competitiva inhibidora de los órgano-sulfuros asemeja a la de los agentes quelatosos. Normalmente, en respiración microbiana, un citocromo férrico

---

(Fe<sup>+3</sup>) de baja energía acepta un electrón y es transformado a un estado de alta energía, citocromo ferroso (Fe<sup>+2</sup>). Esta reacción resulta en la generación de la energía requerida para la vida.

El tipo competitivo-inhibidor de órgano-sulfuros remueve el ion férrico (Fe<sup>+3</sup>) de la reacción formando un complejo como una sal de hierro. La remoción del ion de hierro del citocromo para la transferencia de energía, y causa la muerte instantánea de la célula.

La inhibición no competitiva causada por ciertos compuestos órgano-sulfuros, consiste principalmente en inducir al microorganismo a aceptar sustancias químicas que eventualmente le llevarán a su destrucción. La muerte microbiana es llevada a cabo por la aceptación de un compuesto órgano-sulfuro suficientemente similar, en estructura, a un metabolito esencial, que se combinará con la adecuada enzima o proteína, pero suficientemente diferente que no producirá la reacción necesaria para la vida.

**Fenoles clorados:** los fenoles son frecuentemente en medicina para tratamientos germicidas; su toxicidad para distintas clases de bacterias y hongos varía mucho. Se usan mayormente en torres con sistema de recirculación. El uso de más de un compuesto fenólico clorado da un aspecto más amplio de control microbiológico. A mayor pH su actividad tóxica decrece especialmente a valores mayores de 8.

### III.6 DOSIFICACION DE LOS MICROBIOCIDAS

El tipo de dosificación necesaria depende del tipo de microorganismos que se desea tratar y de la concentración en que se encuentran estos en el sistema de enfriamiento.

---

El tiempo de contacto entre el microorganismo y el biocida es bastante importante, y es dado por:

- a) Agregar suficiente en el sistema para mantener un nivel tóxico adecuado.
- b) Agregar de golpe y continuamente para mantener el nivel tóxico.
- c) Agregar periódicamente para obtener mayor toxicidad, y luego declinar dosificación para una mínima dosificación.
- d) Alimentación continua, en que se obtiene suficiente contacto y nivel de toxicidad.

El crecimiento de bacterias es inhibido en gran parte usando dispersantes junto con microbiocidas.

A continuación, se mencionan algunos de los sistemas de alimentación utilizados:

**Dosificación Intermitente:** se lleva a cabo en un intervalo de tiempo, cuando el químico es agregado en intervalos a cierto nivel de tratamiento. Este tipo de dosificación es generalmente utilizado en sistemas de un solo paso, con grandes rangos de flujos.

**Dosificación de un solo golpe:** ésta consiste en la adición del químico en exceso a la cantidad requerida para producir una concentración deseada después de un intervalo específico de tiempo. Esto es agregado para compensar las pérdidas en el sistema en un período de tiempo; el residual es gradualmente disminuido a niveles inaceptables, antes de otra dosificación.

**Dosificación continua:** éste es el método más comúnmente usado, y puede ser manual o automático. Esta dosificación es utilizada en sistemas abiertos.

---

### III.7 SELECCION DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL MICROBIOLOGICO

La selección adecuada del programa de tratamiento requiere del conocimiento del problema. Los depósitos deben de ser analizados en laboratorios y la información obtenida es de importancia, ya que nos dice que causa los problemas.

Su costo es el primer factor que se debe considerar. Algunos factores que afectan el costo son: los productos químicos, el equipo para aplicar estos productos, el trabajo para aplicarlos, los efectos deletéreos en el sistema y la posible composición final en la efluencia.

Los objetivos del tratamiento de agua de enfriamiento son prevenir la formación de incrustaciones y depósitos por ensuciamiento, reducir la corrosión, controlar el crecimiento microbológico y detener la descomposición de la madera en la torre de enfriamiento.

Varios factores determinan el tipo de microbicida que se va utilizar, ya sea este oxidante o no oxidante, y pueden ser: parámetros de operación de la torre, temperatura, pH y diseño del sistema.

Las incrustaciones se controlan por medio de tres tratamientos químicos diferentes.

- 1). Los materiales que forman incrustaciones pueden removerse del agua de reposición, por técnicas como el intercambio iónico.

---

2). Pueden prevenirse de salirse de solución o puede permitírseles que precipiten, como compuestos, cuya estructura cristalina modificada pueda evitar que incrusten por acción de procesos químicos.

3). Removérseles del sistema como compuestos floculados.

Los agentes suavizantes se usan en el primer tipo de tratamiento. La dureza del agua es causada por sales minerales disueltas que se salen de solución para formar incrustaciones al subir la temperatura. Suavizando se neutraliza la dureza del agua, por intercambio de iones magnesio y calcio por iones de sodio. Un catión intercambiador de ácido fuerte remueve todos los cationes, y los reemplaza por iones hidrógeno. El agua ácida pasa posteriormente a un intercambiador aniónico de base fuerte en el que el hidroxilo remueve todos los aniones, incluyendo el sílice, y los reemplaza con iones hidroxilos.

La segunda forma de proteger al intercambiador de calor es prevenir que los materiales que forman incrustaciones se salgan de solución. Agregando al agua circulante los agentes para tratamiento químico complejo, los materiales incrustables pueden mantenerse sin asentarse en los tubos del intercambiador de calor.

El ensuciamiento puede controlarse filtrando el agua de recuperación o una porción del agua circulante, y mantener los sólidos suspendidos a un nivel bajo controlable o por el uso de dispersantes. Un filtro es una capa de material granular que remueve físicamente material suspendido que pasa a través de él. Debido a que partículas pequeñas pueden pasar a través de los filtros, el tratamiento del agua antes de la filtración es importante. La floculación aglomera los precipitados, usando agitación moderada. El agua floculada pasa a sedimentarse y posteriormente estos precipitados son eliminados por los filtros.

---

Otra forma para controlar el ensuciamiento es con la utilización de dispersantes. Los dispersantes son químicos suspendidos que previenen que las partículas se asienten. Los dispersantes mantienen los sólidos suspendidos en el agua para que más tarde puedan ser removidos por filtración o purga.

La corrosión puede controlarse agregando inhibidores químicos al agua. Los inhibidores forman una capa en la superficie del metal, la cual protege contra la corrosión.

Podemos controlar el crecimiento de organismos microbiológicos (bacterias, hongos y algas) usando biocidas. Los biocidas matan los microorganismos, mientras los biostatos solamente inhiben su crecimiento y reproducción.

Donde se usa un biocida o un biostato, se debe mantener una concentración residual, si es que el agente usado está actuando eficientemente. El objetivo es que la cantidad residual remanente en el sistema sea la necesaria para la inhibición de los microorganismos. La dosificación y el tiempo necesario deben de ser determinados experimentalmente en el sistema. Cada sistema debe de ser considerado individualmente y existen diferentes tipos de tratamiento que se deben usar en las diferentes épocas del año.

La selección del microbiocida involucra varios factores. Primero, debe ser efectivo para inhibir casi toda actividad microbiana. Segundo, debe de ser económico. Por lo general se combina un microbiocida caro, pero altamente efectivo, con uno no tan caro.

Los microbiocidas inhiben a los microorganismos de varias formas. Algunos alteran la permeabilidad de la pared celular. Los metales pesados penetran en la pared

---

celular y entran al citoplasma, y destruyendo sus proteínas. Los surfactantes dañan a la célula y reducen su permeabilidad, interrumpen el fluido normal de nutrientes en la célula y la descarga de sus desechos; todo esto causa la desnaturalización de la proteína, y provocan la muerte del microorganismo.

### **III.8 EVALUACION DE LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO**

Los métodos que se van a establecer para la adecuada evaluación de los programas de tratamiento deben de incluir inspección de los sistemas, exámenes químicos y microbiológicos del agua de enfriamiento y de las condiciones de operación. Las unidades o porciones de los sistemas deben de ser inspeccionados hasta donde sea posible. El conteo total de la población bacteriana es el método más común para la evaluación de los biocidas. El problema que presenta este método es que no proporciona datos sobre el crecimiento en sistemas superficiales. Además existen otros programas que incluyen análisis de corrosión y control de deposición.

Inspecciones frecuentes de esta áreas deben de ser hechas para determinar si no hay deterioro de la madera. Si ésta se presenta, es necesario reemplazar la madera por una que posea un tratamiento fungicida.

Cuando se obtienen resultados menores de  $10E5$  unidades formadoras de colonias por centímetro cúbico, se está en presencia de un sistema de enfriamiento que se considera con un nivel de contaminación aceptable.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se presentan las tablas en las que se muestran los resultados obtenidos de la dosificación de los microbiocidas y el efecto que estos tuvieron sobre los microorganismos que habitaban el agua en un período de tres meses y medio.

**TABLA I**  
**TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA SIDEGUA**  
**Sistema de enfriamiento tratado con isotiazolina y**  
**amonio cuaternario - glutaraldehido**

FECHA	CRECIMIENTO DE BACTERIAS Y ALGAS (UFC/CM <sup>3</sup> )	CRECIMIENTO DE HONGOS Y MOHOS (UFC/CM <sup>3</sup> )	DOSIFICACION DE MICROBIOCIDA (mg/l)
18-2	10E4		80
25-2		10E3	80
10-3	10E3		80
17-3		10E4	80
31-3	10E3		80
7-4	10E3		80
14-4	10E3		80
5-5		10E3	80
12-5	10E4		80
26-5	10E3		80
2-6		10E3	80
16-6	10E4		80
30-6		10E3	80



**TABLA II**  
**TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA INDE**  
**Sistema de enfriamiento tratado con isotiazolina y**  
**amonio cuaternario - glutaraldehido**

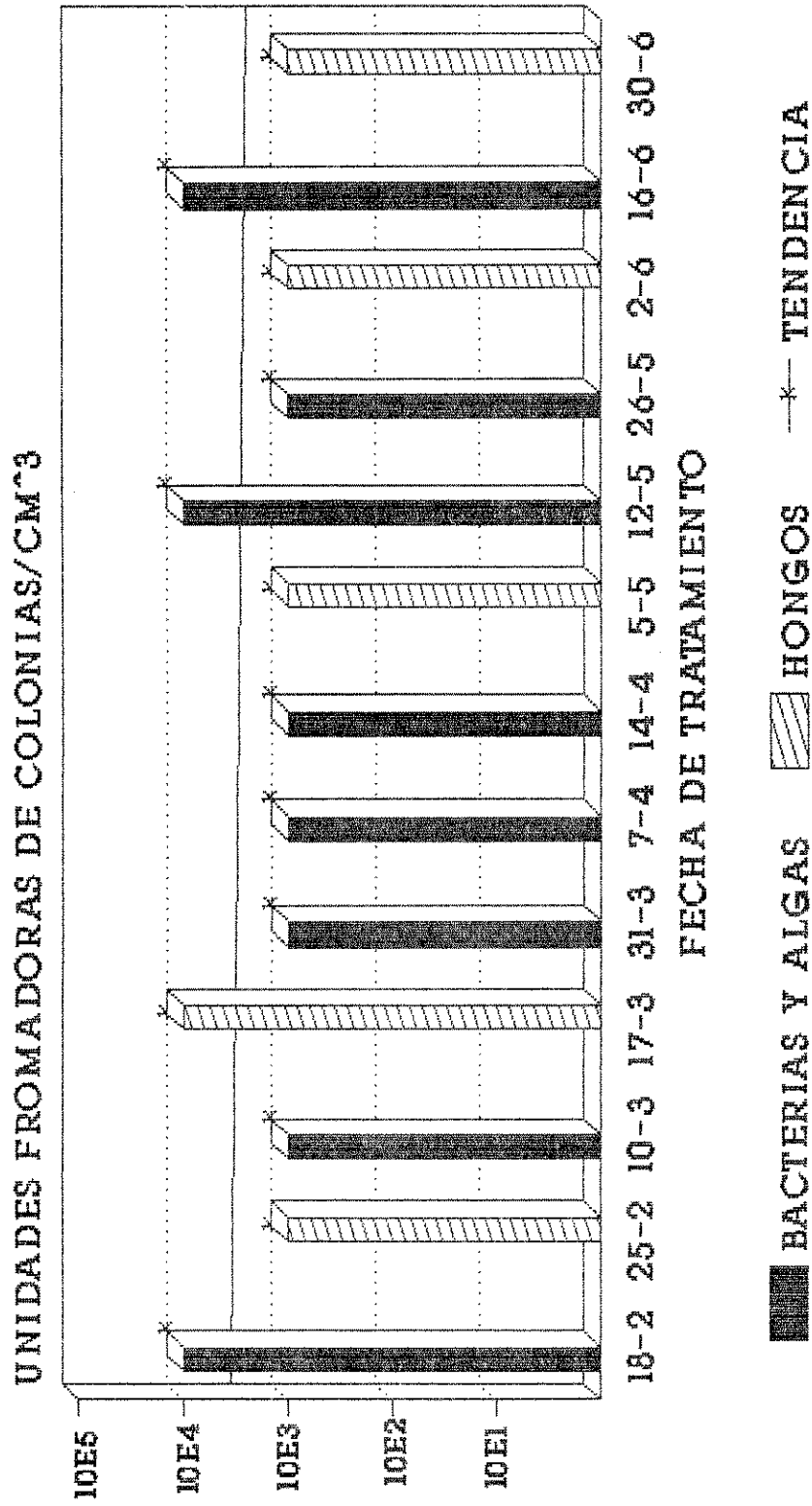
FECHA	CRECIMIENTO DE HONGOS (UFC/CM <sup>3</sup> )	CRECIMIENTO DE ALGAS (UFC/CM <sup>3</sup> )	DOSIFICACION DE MICROBIOCIDAS (mg/l)
18-2	10E3		80
25-2		10E3	80
10-3		10E4	80
17-3	10E4		80
31-3		10E3	80
7-4	10E3		80
14-4	10E3		80
5-5		10E4	80
12-5		10E3	80
26-5	10E3		80
2-6		10E3	80
16-6	10E3		80
30-6		10E3	80

**TABLA III**  
**TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA INDECK**  
**Sistema de enfriamiento tratado con isotiazolina y**  
**amonio cuaternario - glutaraldehido**

FECHA	CRECIMIENTO DE BACTERIA Y ALGAS (UFC/CM <sup>3</sup> )	CRECIMIENTO DE MOHOS Y HONGOS (UFC/CM <sup>3</sup> )	DOSIFICACION DE MICROBIOCIDAS (mg/l)
18-2	10E3		80
25-2		10E3	80
10-3		10E3	80
17-3	10E3		80
31-3		10E3	80
7-4		10E3	80
14-4	10E3		80
5-5	10E3		80
12-5		10E3	80
26-5	10E3		80
2-6		10E3	80
16-6		10E3	80
30-6	10E3		80

# GRAFICA 1

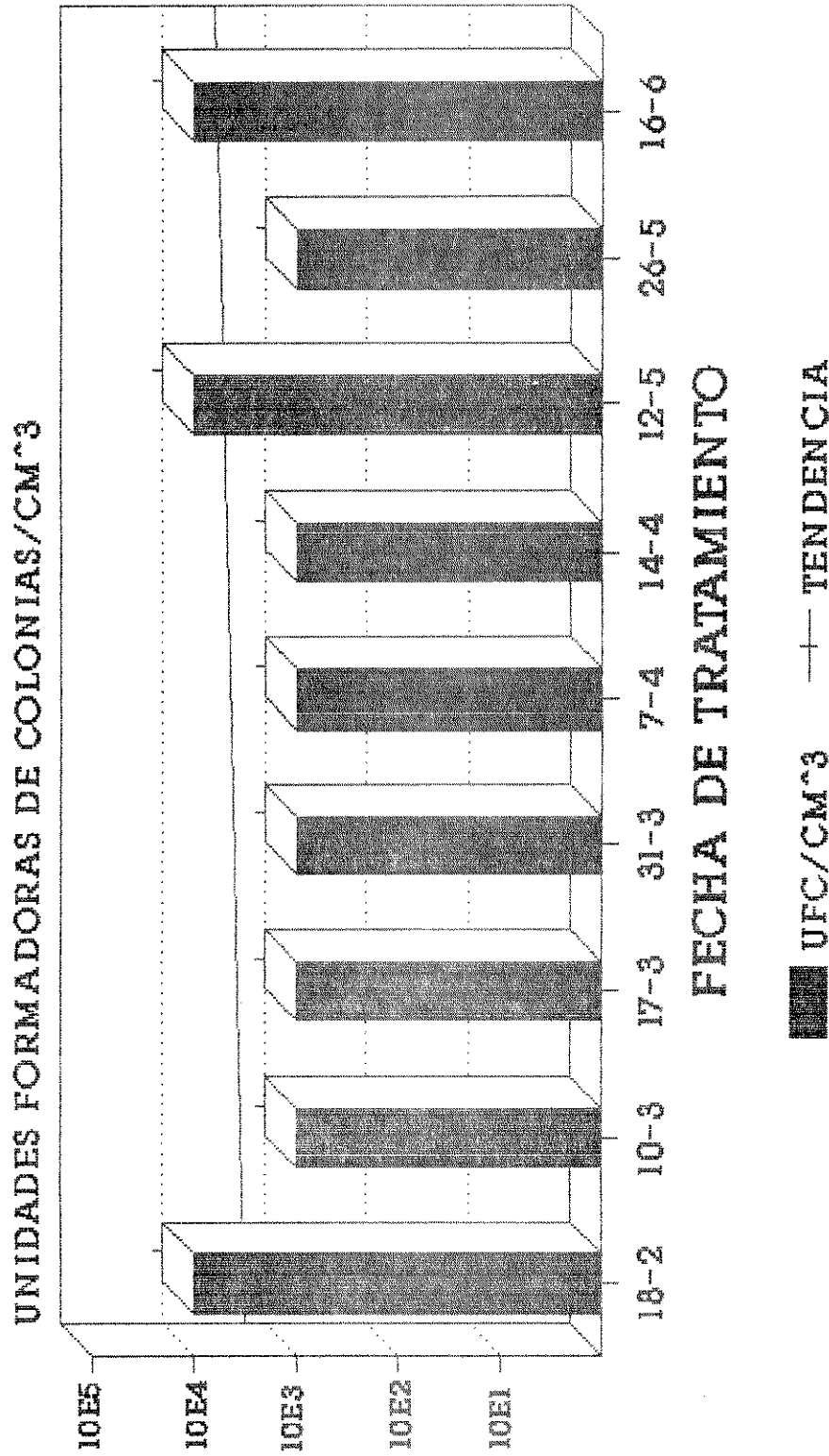
## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA Y AMONIO CUATERNARIO-GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA SIDEGUA

# GRAFICA 2

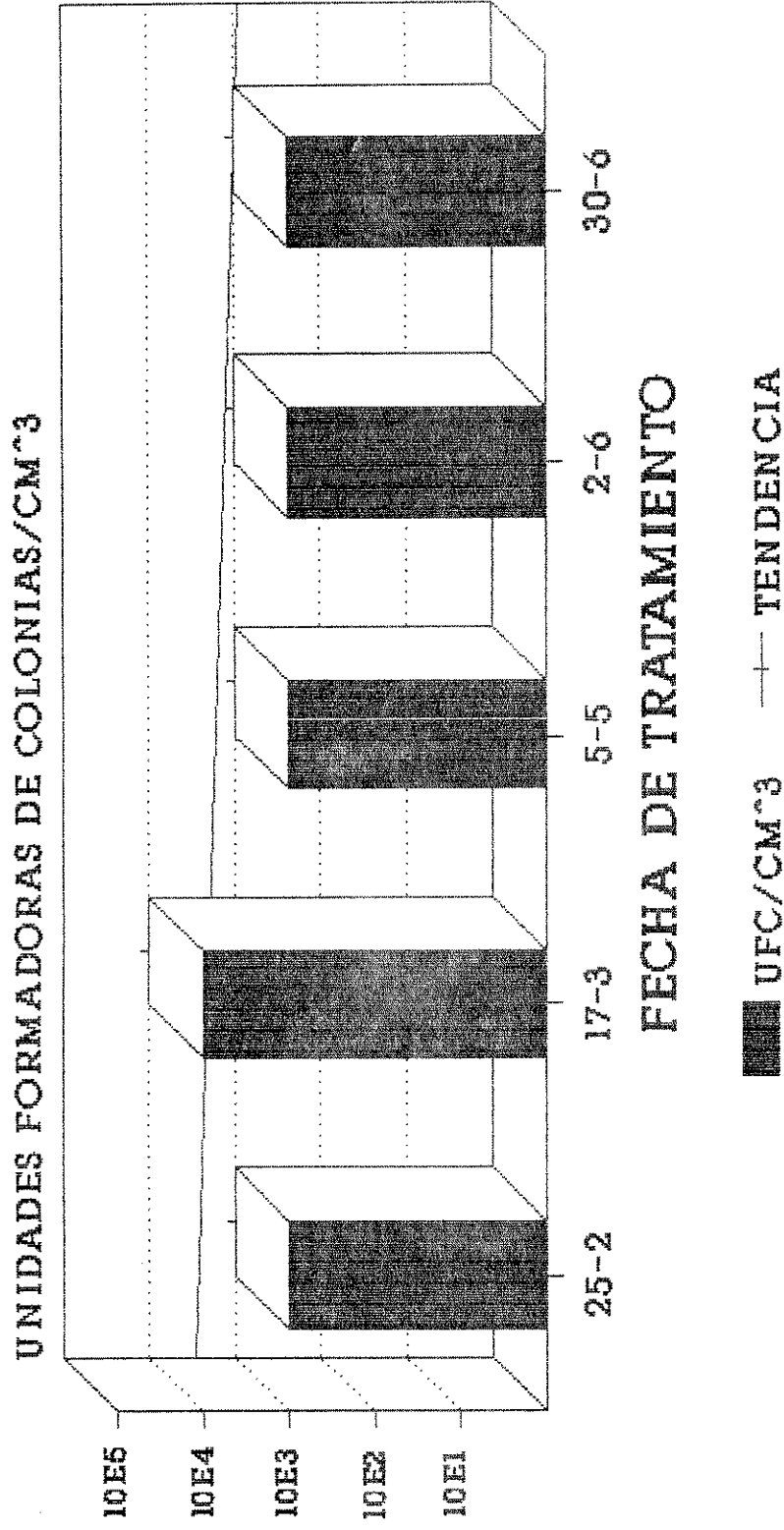
## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA SIDEGUA CON ISOTIAZOLINA 29

# GRAFICA 3

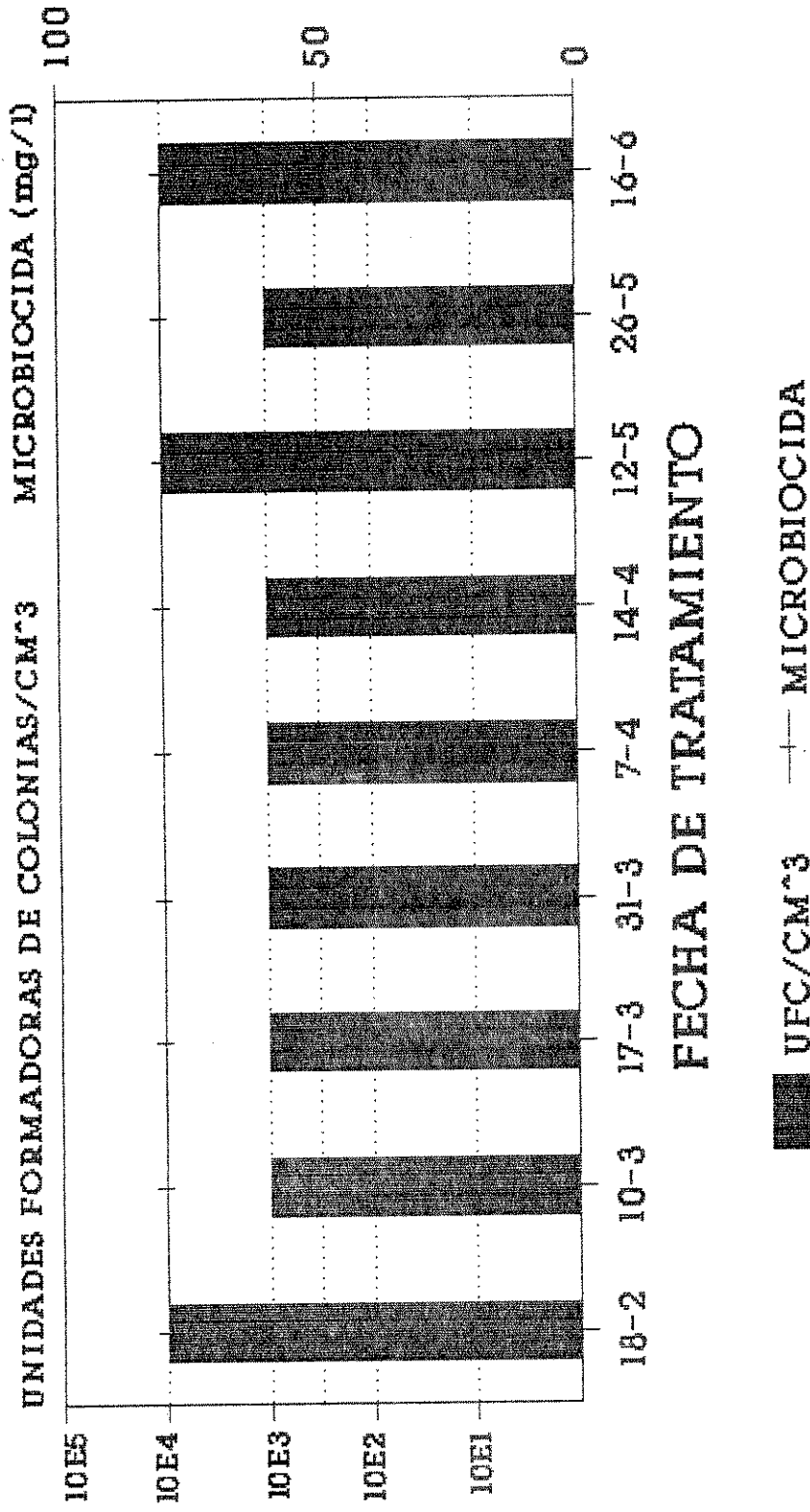
## TRATAMIENTO CON AMONIO CUATERNARIO Y GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA SIDEGUA CON AMONIO CUATERNARIO Y  
GLUTARALDEHIDO

# GRAFICA 4

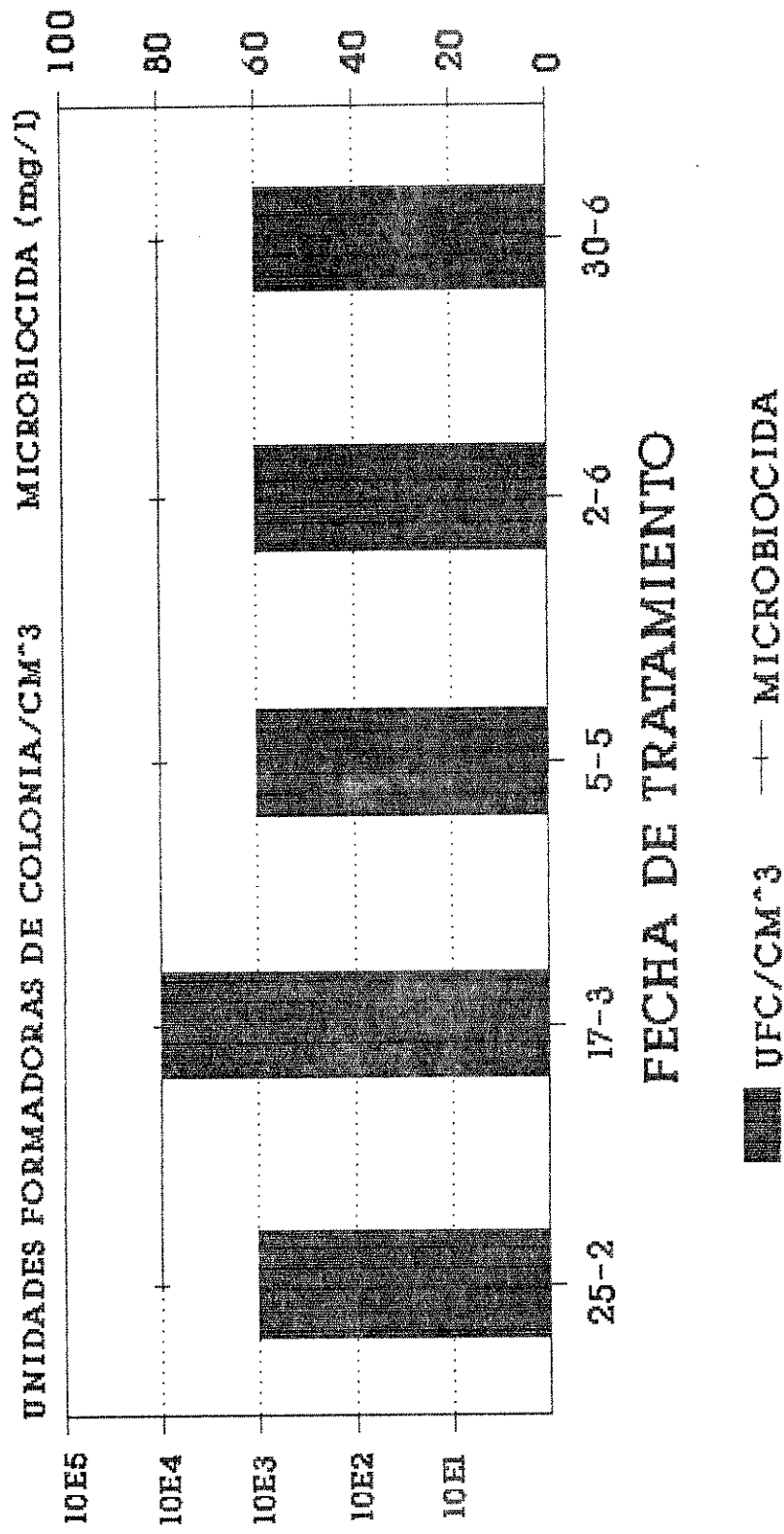
## MICROORGANISMOS PRESENTES AL TRATAR EL SISTEMA CON ISOTIAZOLINA



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA SIDEGUA CON ISOTIAZOLINA 31

# GRAFICA 5

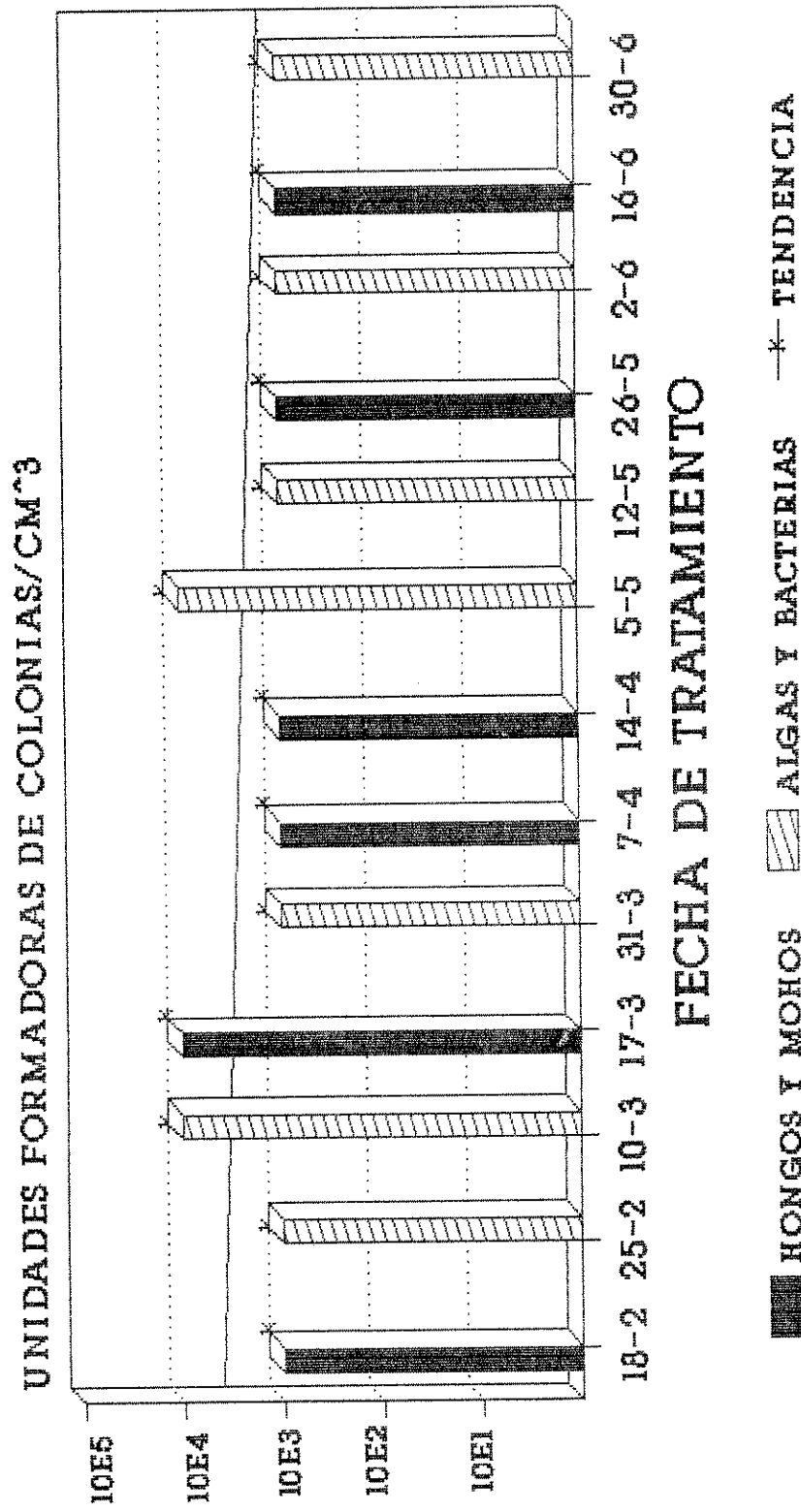
## MICROORGANISMOS PRESENTES Y DOSIFICACION DE AMONIO CUATERNARIO Y GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA SIDEGUA CON AMONIO CUATERNARIO  
Y GLUTARALDEHIDO

# GRAFICA 6

## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA Y AMONIO CUATERNARIO-GLUTARALDEHIDO

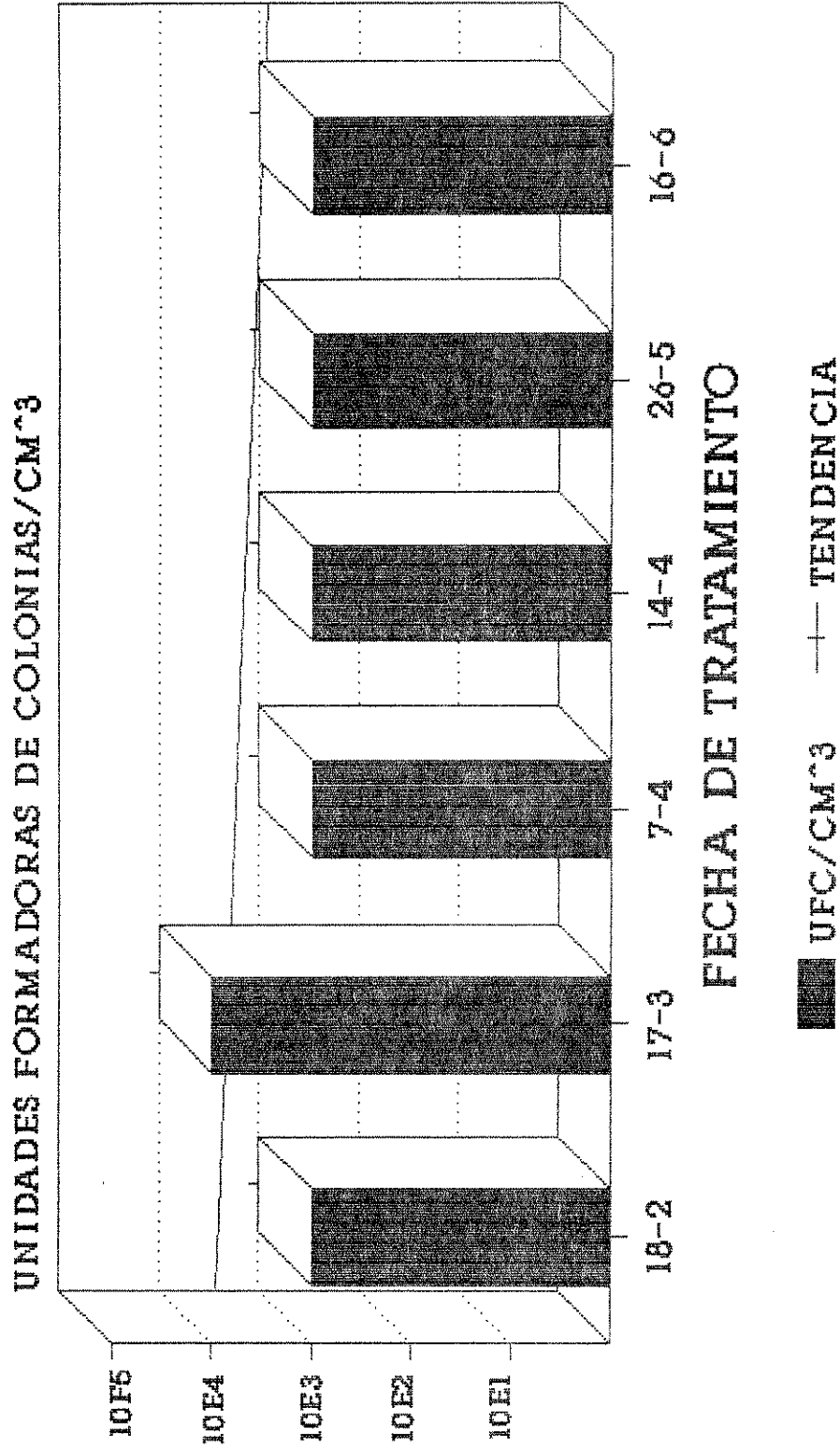


DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDE



# GRAFICA 7

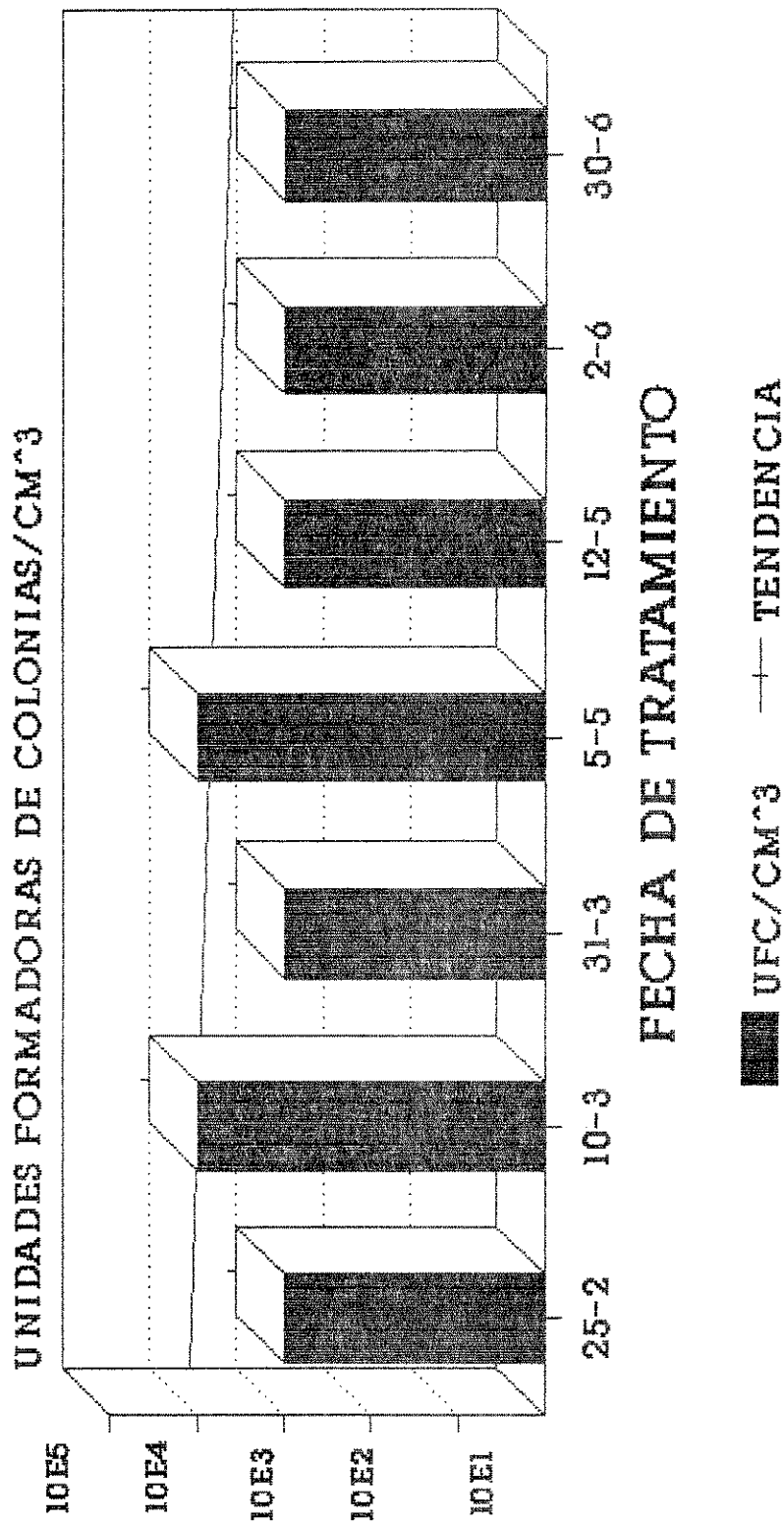
## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDE CON ISOTIAZOLINA

# GRAFICA 8

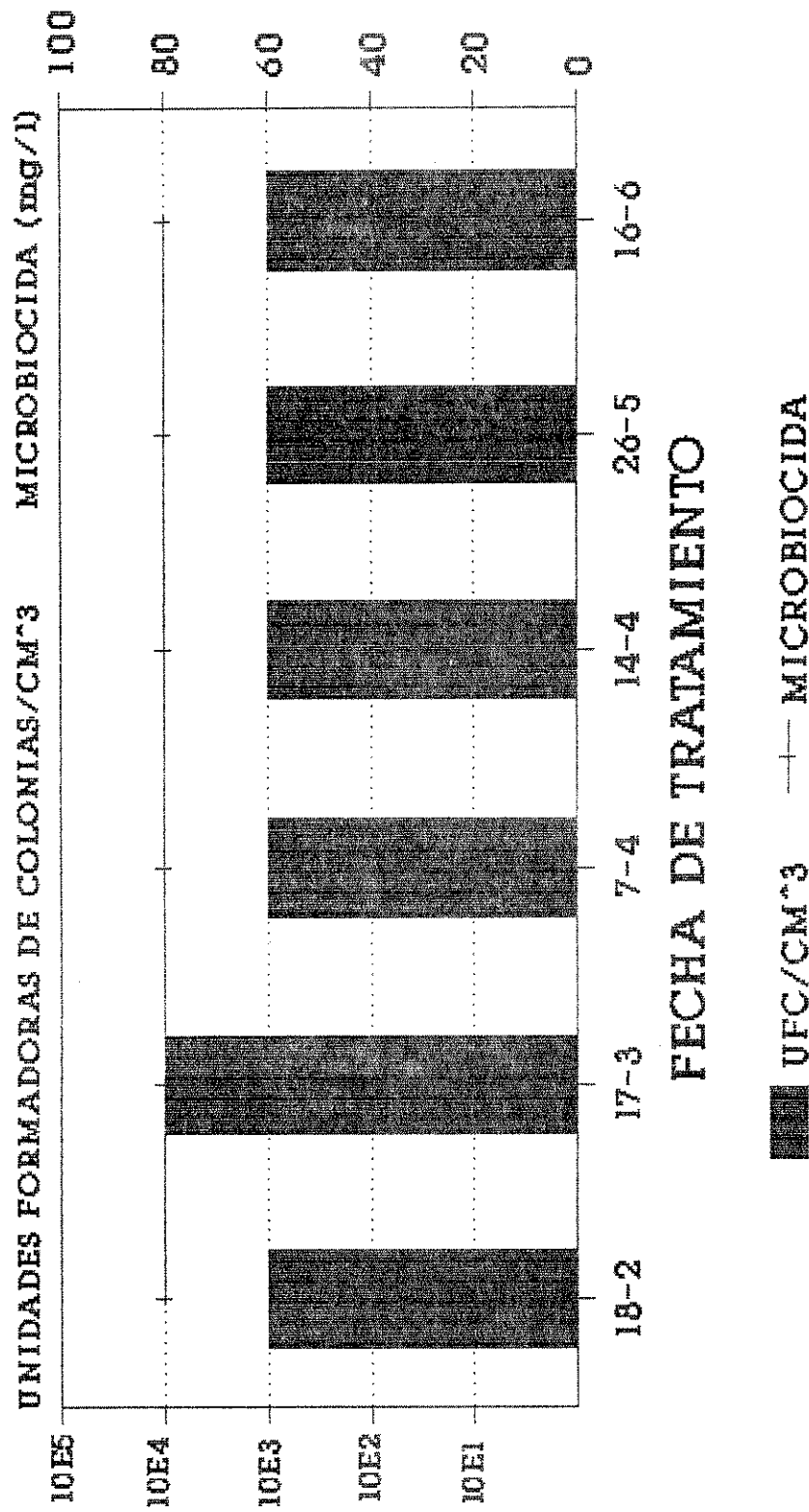
## TRATAMIENTO CON AMONIO CUATERNARIO Y GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDE CON AMONIO CUATERNARIO Y  
GLUTARALDEHIDO

# GRAFICA 9

## MICROORGANISMOS PRESENTES AL TRATAR EL SISTEMA CON ISOTIAZOLINA

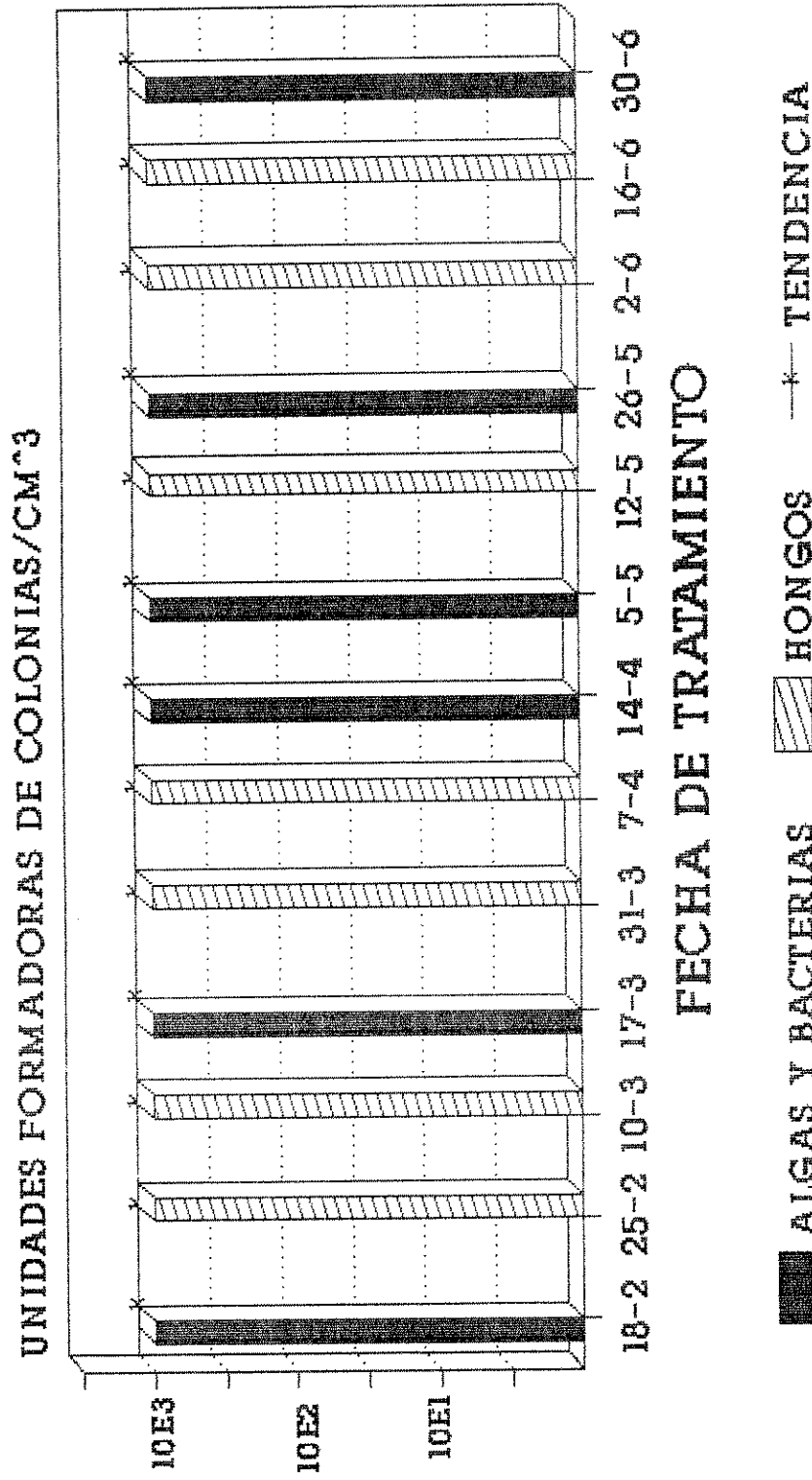


DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDE CON ISOTIAZOLINA



# GRAFICA II

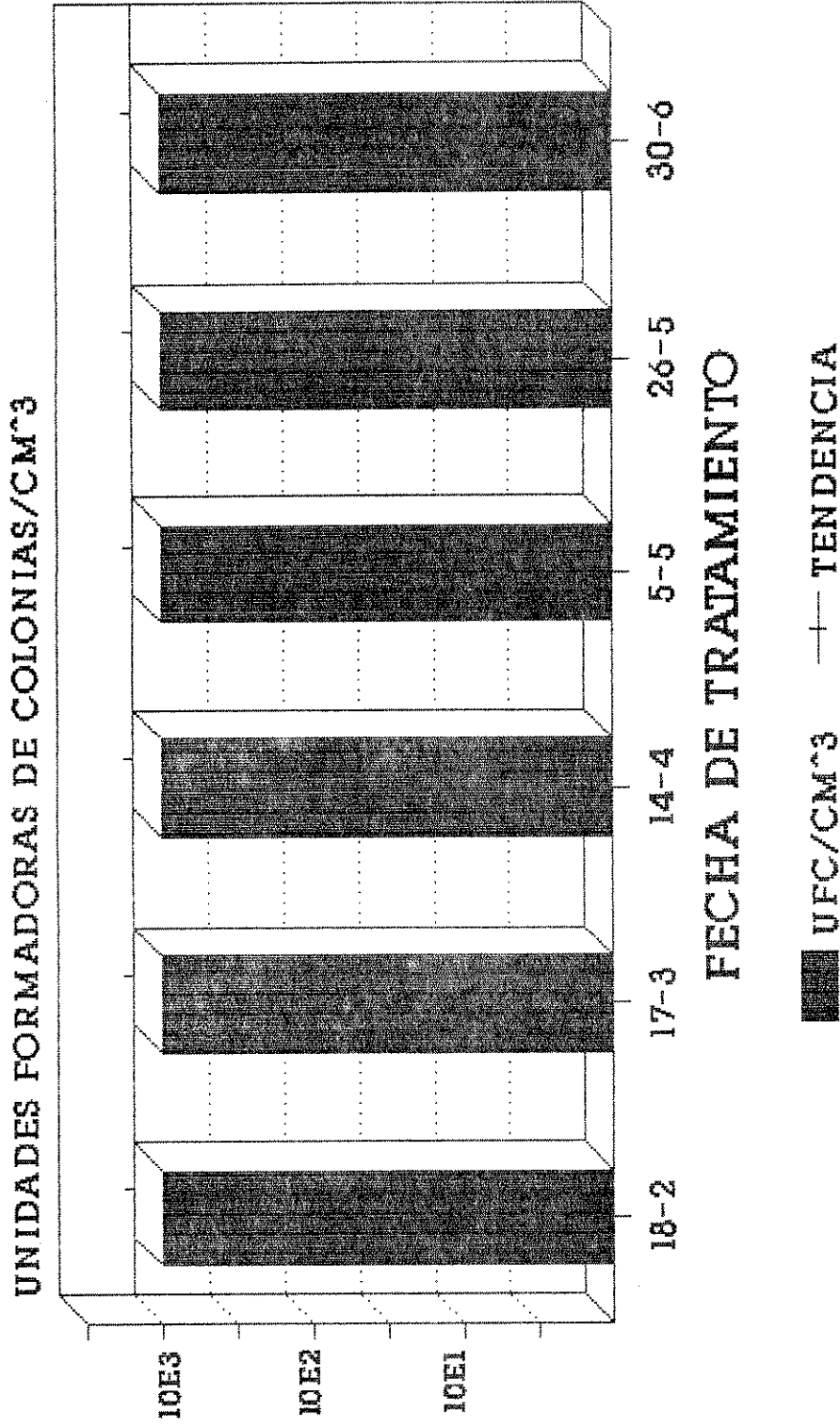
## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA Y AMONIO CUATERNARIO-GLUTARALDEHIDO



DAIOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDECK

# GRAFICA 12

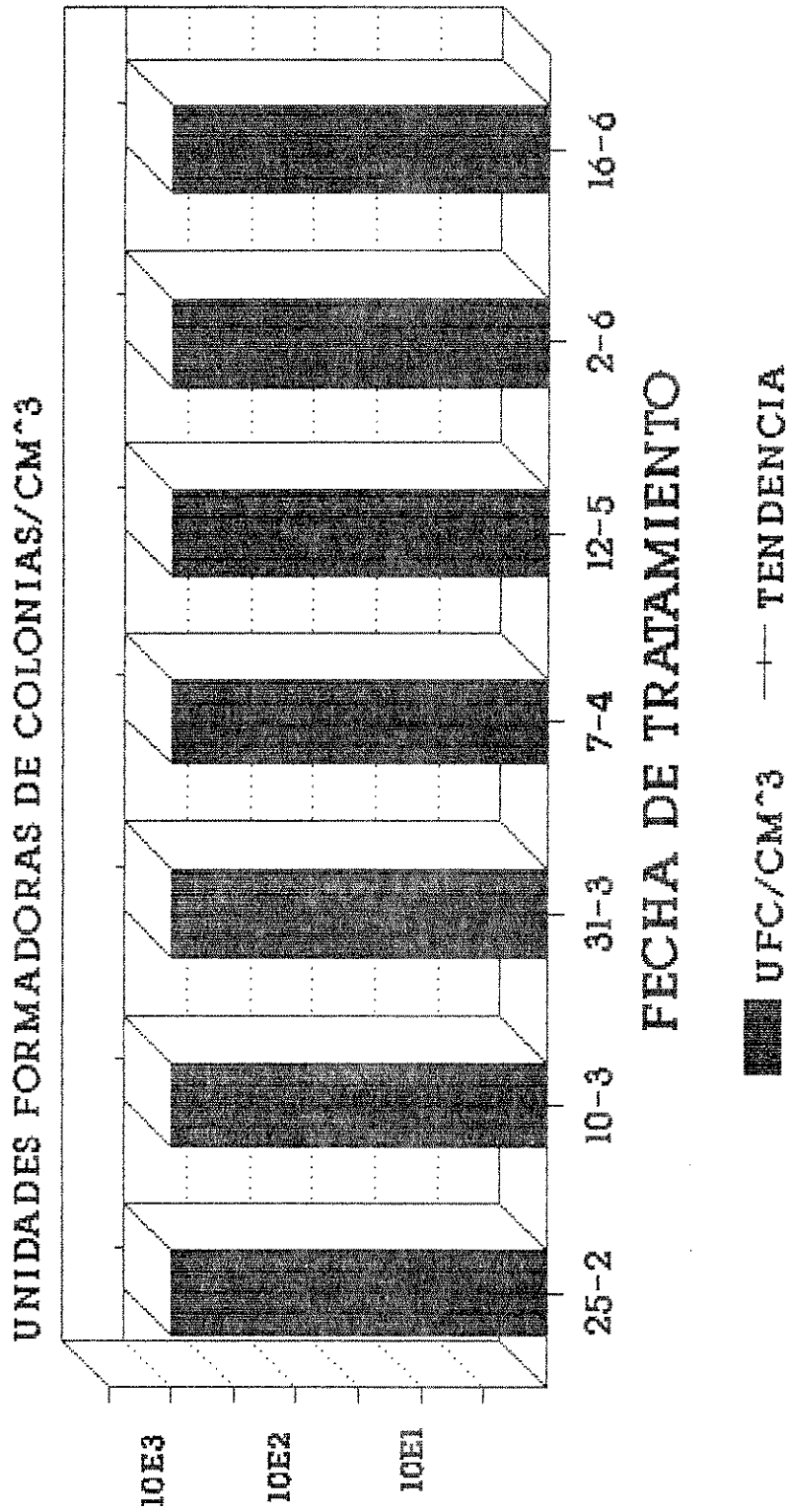
## TRATAMIENTO CON ISOTIAZOLINA



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDECK CON ISOTIAZOLINA 39

# GRAFICA 13

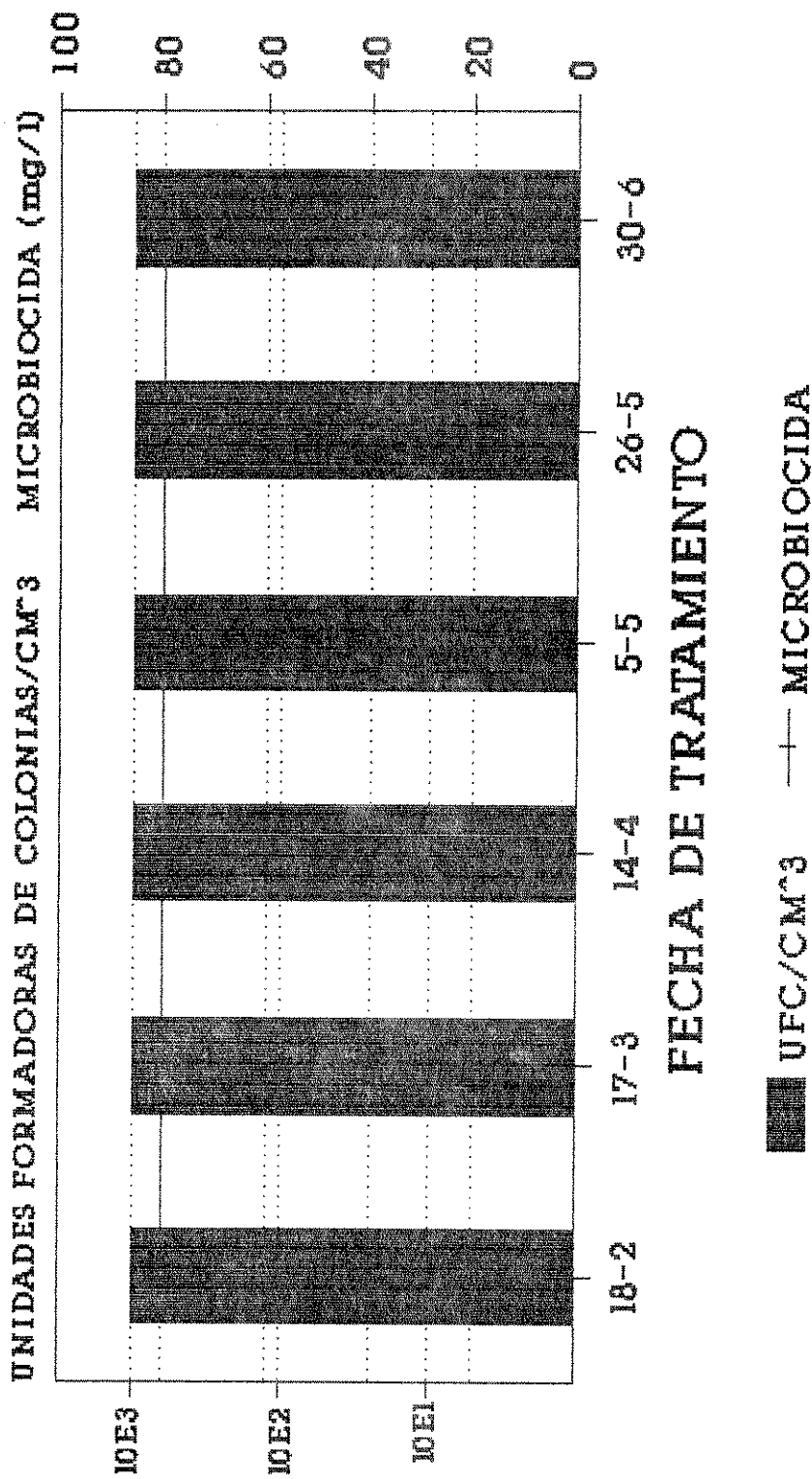
## TRATAMIENTO CON AMONIO CUATERNARIO Y GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDECK CON AMONIO CUATERNARIO Y  
GLUTARALDEHIDO

# GRAFICA 14

## MICROORGANISMOS PRESENTES AL TRATAR EL SISTEMA ISOTIAZOLINA

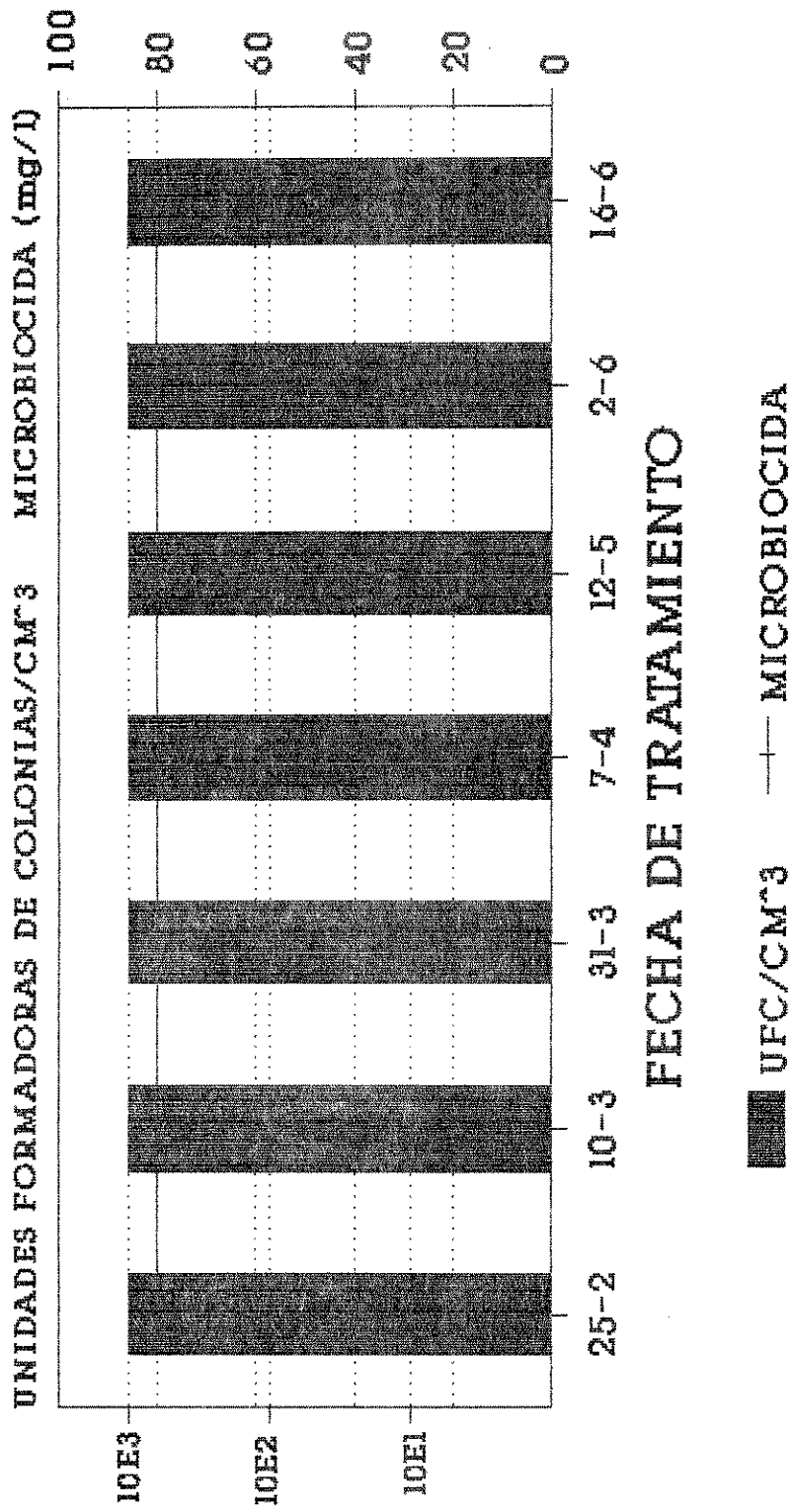


DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDECK CON ISOTIAZOLINA      41



# GRAFICA 15

## MICROBIOCIDAS PRESENTES Y DOSIFICACION DE AMONIO CUATERNARIO Y GLUTARALDEHIDO



DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO DE LA  
PLANTA INDECK CON AMONIO CUATERNARIO  
Y GLUTARALDEHIDO

42

## V. DISCUSION DE RESULTADOS

---

En las primeras cinco gráficas, se tiene el comportamiento del sistema de enfriamiento de la empresa SIDEQUA, en donde se observa la variación, en cantidad, que sufre la población microbiana. Este sistema de enfriamiento fue tratado con dos microbiocidas: uno para regular el crecimiento de bacterias y algas, cuyo ingrediente activo es Isotiazolina, y otro para hongos y mohos, hecho a base de amonio cuaternario y glutaraldehído. La gráfica uno muestra el crecimiento microbiano en el sistema de enfriamiento en el período comprendido entre los días 18 de febrero y 30 junio, el cual se muestra irregular, pero con una tendencia descendente; este comportamiento es debido al crecimiento microbiológico de los distintos microorganismos entre cada período de dosificación de los microbiocidas específicos que los controlan. En las gráficas posteriores, se analiza el comportamiento de los microorganismos ante los distintos microbiocidas usados en este sistema. En la gráfica dos, se observa que el agua del sistema de enfriamiento tratada con un compuesto a base de Isotiazolina, que es bastante efectivo contra bacterias depositantes de hierro, corrosivas y hongos, es excelente contra bacterias formadoras y no formadoras de esporas y algas, y posee un ligero aumento en el crecimiento de bacterias, las cuales se incorporan al sistema debido a factores externos tales como purgas excesivas, considerable aumento de contaminantes por factores climatológicos, aumento de lluvias, polvo, cosechas, etc. La torre de enfriamiento se encuentra ubicada en un lugar en el que está expuesta a una gran contaminación externa, debido a su diseño; es éste de flujo inducido, lo que hace que el aire tienda

---

a acarrear una gran cantidad de microorganismos presentes en el aire. En la gráfica tres, se observa que la cantidad de microorganismos en el sistema se mantiene casi constante, exceptuando la fecha 17-3, cuando el crecimiento microbiológico se sale de la tendencia normal, debido a que el drenaje del sistema fue abietado antes de lo programado, por lo que el ingrediente activo fue arrastrado fuera del sistema. En esta gráfica, se observa que los compuestos a base de amonio cuaternario y glutaraldehído, actúan de buena manera contra bacterias corrosivas y algas; los amonios cuaternarios son excelentes contra bacterias formadoras y no formadoras de esporas y contra hongos, y el glutaraldehído que actúa bien contra hongos y de manera excelente contra los demás microorganismos; mantiene la cantidad de estos microbicidas en el agua de enfriamiento en un nivel bastante aceptable, y logra controlar su crecimiento. En las gráficas cuatro y cinco, se relaciona la dosis de microbicida agregado al sistema y la cantidad de microorganismos que se desarrollan bajo dichas condiciones. A fin de evitar un crecimiento mayor de microorganismos, se deben adicionar en forma constante los microbicidas de acuerdo con el tiempo de vida media del mismo en el sistema, de manera que su residual no disminuya de la mínima dosis tóxica, ya que al no ser constantes en el uso de éstos, se les permite a los microorganismos que se reproduzcan y no se controla de buena manera la población microbiana.

Para determinar el tiempo en que una dosis de microbicida dura en el sistema antes de llegar a su mínima dosis tóxica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = 2.309 (\log I/F)(V/B)$$

donde D = la cantidad de días antes de que el microbicida se agote;

I = la concentración inicial de microbicida, mg/l;

F = concentración al final de D días, mg/l;

V = volumen del sistema, gal;

B = volumen de purga, gal/día.

---

En la gráfica seis, se encuentra el comportamiento del sistema de enfriamiento de la empresa INDE, en donde se observa la variación del crecimiento de microorganismos; este sistema de enfriamiento fue tratado con los microbiocidas Algitrol y Fungitrol, que están hechos a base de isotiazolina y de amonio cuaternario y glutaraldehído, respectivamente. Esta gráfica muestra el crecimiento microbiano en el sistema de enfriamiento en el período comprendido entre los días 18 de febrero y 30 junio, el cual se muestra bastante regular, con una tendencia descendente. En la gráfica siete, se observa que el agua del sistema de enfriamiento tratada con microbiocida fungitrol, un compuesto a base de amonio cuaternario y glutaraldehído, que actúa adecuadamente contra algas y hongos; posee una tendencia bastante regular en la cantidad de microorganismos presentes, lo cual confirma que el microbiocida utilizado es bastante efectivo para controlar el crecimiento de los hongos. En la gráfica ocho, se observa que la cantidad de microorganismos en el sistema no se mantiene muy constante, es decir, que el efecto del microbiocida algitrol, con isotiazolina como su componente principal, es bastante bueno para evitar el crecimiento de algas, pero debido al aumento de las lluvias y a la quema de azúcar, como factor principal, la cantidad de éstas en el sistema tienden a aumentar, por lo que se demuestra la necesidad de dosificar constantemente el sistema para así controlar el crecimiento de microorganismos. En las gráficas nueve y diez, se relacionan la cantidad de microbiocida adicionado al sistema y la cantidad de microorganismos que se desarrollan bajo estas condiciones; se puede observar que mientras la cantidad de hongos presentes es casi constante, la cantidad de algas aumenta en ciertos momentos; esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, hubo paros en el sistema y la cantidad de microbiocida presente en el sistema bajó más allá de la mínima dosis tóxica para éstas, lo que permitió que se desarrollaran en mayor cantidad.

En las siguientes cinco gráficas, está el comportamiento del sistema de

---

enfriamiento de la empresa INDECK; en la gráfica once, se observa la variación del crecimiento de microorganismos en el período del 18 de febrero al 30 de junio; este sistema de enfriamiento fue tratado con isotiazolina y un compuesto de amonio cuaternario y glutaraldehído, el cual es muy regular, con una tendencia horizontal. En la gráfica doce, se nota que el agua del sistema de enfriamiento tratada con isotiazolina, posee un comportamiento igual a la gráfica trece, en la que se muestra el sistema tratado con amonio cuaternario y glutaraldehído, que poseen un comportamiento regular en las cuales no hay mayor crecimiento de microorganismos, los cuales se lograron controlar debido a una dosificación constante de dichos microbiocidas, como se puede observar en las gráficas catorce y quince, que muestra la importancia de un tratamiento constante de los sistemas de enfriamiento.

## VI. CONCLUSIONES

---

1. Al aumentar las lluvias se produce, debido al lavado del suelo, el arrastre de diversos minerales, tales como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio y sodio, que sirven como nutrientes para los distintos microorganismos, que hace que éstos se alimenten más, y así aumente su número en los sistemas de enfriamiento.
2. Si se eliminan las fuentes externas de contaminación, se logra un mejor control microbiológico en el sistema.
3. Al aumentar la cantidad de microorganismos en los sistemas de enfriamiento, es necesario, para poder controlar este crecimiento en la población, incrementar la dosis de microbiocidas que se agregan al sistema.
4. Debido a que la cantidad de microbiocida agregado al sistema disminuyendo a medida que pasa el tiempo, debido a evaporación y purga, la cantidad que se va a dosificar de cada microbiocida, para que éste resulte efectivo y permita controlar la cantidad de microorganismos en el sistema, debe de ser varias veces mayor a la dosis tóxica mínima, la cual varía en concentración de acuerdo con el tipo de microbiocida y a la proporción de ingrediente activo que se encuentra presente en la solución.

- 
5. El valor del pH del sistema, para un adecuado funcionamiento de microbiocidas oxidantes, debe de estar dentro del rango de acción determinado para cada microbiocida, ya que si éste sale de especificaciones, el microbiocida puede degradarse y no actuar adecuadamente.
  6. Con un adecuado control microbiológico en los sistemas de enfriamiento, se consigue controlar en buena forma el crecimiento microbiológico.
  7. Alternando la aplicación de los microbiocidas, se logra minimizar la resistencia o inmunidad que puedan crear los microorganismos a cada tipo de microbiocida.

## VII. RECOMENDACIONES

---

1. Se recomienda eliminar toda la materia orgánica muerta y la materia inorgánica en suspensión utilizando floclulantes, y así evitar la obstrucción de las tuberías, y poseer adecuados programas de drenado del sistema y/o equipos involucrados.
2. Se deben determinar las causas principales de contaminación microbiológica mediante el uso de análisis microbiológicos, para que con base en ello, se apliquer el microbiocida necesario en cada caso, ya que no todos ellos son letales para todos los microorganismos, y además en ciertos casos, al dosificar un microbiocida no adecuado, se les podría proporcionar nutrientes a los y así, en lugar de eliminarlos se puede provocar su proliferación.
3. Para evitar problemas en los sistemas de enfriamiento, tales como corrosión, deposición o pérdida de eficiencia, es necesario implementar un adecuado control microbiológico, que nos permita determinar cuáles son los microorganismos presentes en el sistema, y en qué proporciones se encuentran presentes.
4. Para un adecuado control microbiológico, es necesario dosificar los microbiocidas en cantidades superiores a las dosis tóxicas mínimas, para que así la cantidad de microbiocida presente en el sistema sea efectiva contra los microorganismos, aun después de varias horas de su aplicación.



## VIII. BIBLIOGRAFIA

BETZ Laboratories, INC. Betz handbook of industrial water conditioning. Séptima edición. Estados Unidos: s.p.i. 1976. 280 pp.

BONARDI, Bennett P. Fundamentals of cooling water treatment. Calgon Corporation. s.l.i: s.p.i. s.f. 79 pp.

DREW Chemical Corporation. Principle of industrial water treatment. Drew Chemical Plaza. Tercera edición. Estados Unidos: s.p.i. 1979. 310 pp.

GÁLVEZ CAPILLA, Luis Alfredo. Tratamiento de aguas de enfriamiento para sistemas de recirculacion (tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos). Guatemala, 1981, 89 pp.

PELCZAR, Michael J., et. al. Microbiologia. Cuarta edición. México, Editorial McGraw-Hill. México. 1993. 826 pp.

PERRY, Robert, H. y Chilton, Cecil H. Biblioteca del ingeniero quimico, Quinta edición, México: Editorial McGraw-Hill. 1987. 25-55 pp.

PUCKORIUS & Associates, Inc. Cooling water system. Instructivo de Seminario de Tratamiento de Aguas, Estados Unidos: s.p.i. 1994. 1789 pp.

Power, Water Treatment. Volumen 137. Año 110. No.6. Estados Unidos: Junio, 1993. 54 pp.

## IX. ANEXOS

Tabla 1  
Principales tipos de algas

TIPO	Ejemplo	Temperatura	pH
Verde	Chlorella Ulotrix Spirogyra	28.4 a 38.4°C	5.5 a 8.9
Verde-azules	Anacystis Phormidium Oscillatoria	7.4 a 46.5°C	6.0 a 8.9
Diatomeas	Flagilaria Cyclotella Diatoma	6.4 a 38.4°C	5.5 a 8.9

Tabla 2

Principales tipos de mohos

Tipo	Ejemplo	Características	Temperatura °C	pH	Problemas
Moho filamentoso	Aspergillus	Negro, café, azul.	0 a 42.4	2 a 8 óptimo 5.6	Pudre la superficie de madera, produce mucosidad bacteriana
	Penecilium	Amarillo, verde.			
	Mucor	Blanco, gris.			
	Fusarium	Café			
	Alternaria	Rosado, café.			
Levaduras	Torula	Crecimiento elástico	0 a 42.4	2 a 8 óptimo 5.6	Mucosidad bacteriana mancha la madera y el agua.
	Saccharomyces				
Basidiomycetes	Poría Lenzites	Blancas o cafés	0 a 42.4	2 a 8 óptimo 5.6	Deterioro interno de la madera

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN BIOTECNOLOGÍA

Tabla 3

Principales tipos de bacterias

Tipo	Ejemplo	Temperatura (°C)	pH	Problemas
Aeróbica capsulada	Aerobacter Aerogenes Proteus vulgarium Pseudoma aeruginosa Serratia Alcaligenes	10.4 a 46.4	4 a 8 óptimo 7.4	Mucosidad bacteriana
Aeróbicas formadoras de esporas	Bacillus mycoides Bacillus subtilis	10.4 a 46.4	5 a 8	Mucosidad bacteriana, las esporas son difíciles de destruir
Aeróbica sulfúrica	Thiobacillus thiooxidans	10.4 a 46.4	0.6 a 6	Sulfuro y sulfitos se oxidan en ácido sulfúrico.
Anaeróbicas	Desulfovibrio desulfuricans	10.4 a 46.4	4 a 8	Causan corrosión reductoras de sulfatos.
Hierro	Creonothrix Leptothrix Gallionella	10.4 a 46.4	7.4 a 9.5	Precipitan hierro el que se deposita.

Tabla 4

Distintos tipos de microbiocidas y su efectividad ante distintos microorganismos.

Microbiocida	EFECTIVIDAD		
	Bacterias	Hongos	Algas
Cloro	E	M	E
Dióxido de cloro	E	B	B
Bromuro	E	M	E
Organo-bromuro (DBNPA)	E	NA	M
Metilbisthiocianato	E	M	M
Isothiazol	E	B	E
Sal de amonio cuaternario	E	B	E
Organo-tin/cuaternario	E	B	E
Glutaraldehido	E	E	E

E: EXCELENTE; B: BUENO;  
M: MODERADAMENTE; NA: NO APLICA.

---

## X. GLOSARIO

Aerobio: organismo que requiere oxígeno.

Alcalinidad: una expresión del total de aniones (grupos hidroxilo) presentes en la solución.

Anaerobio: organismo que se desarrolla en ausencia de oxígeno molecular.

Anion: un ion cargado negativamente.

Bacteria: organismos procarióticos unicelulares simples.

Biomasa: masa de materia viva que se encuentra en un medio.

Cation: un ion cargado positivamente.

Cloro Residual: la cantidad de cloro presente en el agua en cualquier periodo de tiempo posterior a la adición del cloro.

Contaminación: entrada de microorganismos indeseables en algún objeto o material.

Corrosión: el resultado de una reacción electroquímica entre un metal y su ambiente.

Cultivo: población de microorganismos desarrollados en un medio.

Depósitos biológicos: depósitos acuáticos formados por organismos o productos vivos.

Fungicida: agente que mata o destruye a los hongos.

Hongos: organismos que carecen de clorofila y son de estructura filamentosa.

Inhibición: prevención del desarrollo o multiplicación de microorganismos.

Inmunidad: resistencia natural o adquirida para una enfermedad específica.

Ion: un átomo o grupo de átomos que tiene carga debido a la pérdida o ganancia de uno o más electrones.

Oxidación: proceso de combinarse con el oxígeno, perder electrones o moléculas de hidrógeno.

pH: símbolo usado para denotar el grado de acidez o alcalinidad de una solución; representa la concentración de iones hidrónico.