



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES IZTACALA**

**" REVISION DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE LA  
TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL CENTRO  
ADMINISTRATIVO, TORRE PEMEX "**

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G O**  
**P R E S E N T A :**  
**CLAUDINA DE JESUS PEREZ BALDOVINO**

**LOS REYES IZTACALA**

**1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**EL PRESENTE CONSEJO FUE DESIGNADO EN LAS ELECCIONES  
DE LA CASA DE REQUENA CORRE PLENA DE PETROLEOS BENICENO,  
CON EL APOYO DEL INSTITUTO BENICENO DEL PETROLIO.**

A mi mamá, por la dedicación, comprensión y amor  
que me has brindado siempre. Conchis, no tengo  
palabras de como agradecerte.

A mis hermanos Victor y Mariana, les agradezco  
inmensamente su apoyo y amor.

A mis sobrinos Paola y Embeo, los adoro.

**È Mario, ricordatelo con amor.**

**Al más sincero agradecimiento por su apoyo y colaboración en el desarrollo del presente trabajo a:**

**Ing. Rafael Orozco Chávez, Subgerente de Operación de Centros Administrativos. PSEEX.**

**Ing. Luis Morales Hernández, Jefe del Departamento de Protección de Recursos Acuáticos. IMP.**

**Ing. Eduardo Rodríguez Evelino, Gerencia de Operación de Refinerías. PSEEX.**

**Biol. Juan Manuel Quintero Soto, Gerencia de Coordinación y Control de Protección Ambiental. PSEEX.**

**Ing. José Manuel Olivares Paes, Jefe de División de Protección Ambiental. IMP.**

Por su cariño, amistad y porque con ellos he vivido momentos inolvidables, gracias a los biólogos: Patricia Castro, Pilar Saldaña, Patricia Chinella, Roberto Rava y Esther Pérez.

De una manera especial agradezco la ayuda desinteresada para la elaboración de esta tesis en la computadora a: Gaby, MÓN, Hugo, Carlos y a la Familia González Cevarrubias.

**Gracias por sus sugerencias y comentarios a:**

**J.Q. Sabino Echevede.  
Biol. Enrique Rato.  
Biol. Agustín Ruiz C.  
J.Q. José Pantoja.  
M.C. Pedro Ramírez.  
Q.B.P. Esperanza Valderrama.**

**A mis amigos, maestros y a todos aquellos que de alguna  
manera contribuyeron en la realización de este trabajo.  
Gracias.**

## RESUMEN

La presente investigación, se realizó con la finalidad de evaluar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua utilizada en la torre de enfriamiento, instalada en la Casa de Máquinas Torre Pemex, para establecer la optimización de la operación de este sistema.

Se efectuaron muestreos mensuales durante un ciclo anual, comprendido de enero a diciembre de 1986.

Se establecieron dos puntos de muestreo, que fueron el agua de repuesto y la de recirculación, en los cuales se analizaron los constituyentes que determinan las características del agua, estos fueron: pH, alcalinidad total, dureza total, silice, cloruros, entre otros, la cuenta total bacteriana y las bacterias sulfato-reductoras. Asimismo, se calculó el Índice de Saturación, el Índice de Estabilidad y los Ciclos de Concentración, para delimitar el comportamiento del agua en el sistema de enfriamiento.

La tendencia del agua de repuesto presentó condiciones corrosivas, ya que el índice de estabilidad fue  $\leq 6$ , siendo además el principal aporte de desarrollo orgánico al agua de recirculación, la cual mantuvo generalmente propiedades incrustantes y con los índices más elevados de crecimiento bacteriano, presentándose el mayor, en el mes de mayo.

El análisis estadístico del desarrollo bacteriano en el agua de repuesto reveló que el fierro influyó en forma directa, mientras que el pH, la alcalinidad total y el magnesio inhibieron el crecimiento.

En el agua de recirculación no se encontró influencia de las condiciones fisicoquímicas, con respecto al número de bacterias existentes.

En el agua de recirculación, las limitantes para la formación de incrustaciones, fueron el silice y la dureza.

## INDICE

	PRG.
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS.....	7
ANTECEDENTES.....	8
MATERIAL Y METODOS.....	9
RESULTADOS.....	18
ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION....	25
CONCLUSIONES.....	35
FIGURAS.....	37
TABLAS.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	72

## I N T R O D U C C I O N

El agua conocido como el solvente universal, presenta como unión intermolecular fuerzas de atracción denominadas "puentes de hidrógeno", lo que le da la característica de ser un medio efectivo de transferencia de calor, "alta capacidad calorífica", ya que la energía requerida para liberar una molécula de agua para formar vapor es mucho mayor que la requerida por otros compuestos químicos comunes. A causa de esto, el vapor tiene un alto contenido energético y es un medio propio para transferir energía durante las operaciones de una industria (Kemmer, 1979).

Con algunas excepciones, el agua es el medio preferido para transferir el calor en los procesos industriales (Silverstein, 1971). La enorme expansión industrial que ha tenido lugar en los años recientes, ha impuesto una amplia variedad en las especificaciones de la calidad del agua, necesaria para los diferentes usos, por lo que se han desarrollado métodos perfeccionados de tratamiento (Powell, 1966).

La operación de sistemas de agua de enfriamiento, industrial y comercial, se encuentra influenciada por bioensuciamientos, incrustaciones, corrosiones y otros problemas asociados normalmente con estos sistemas. Estos factores pueden causar mayores pérdidas en la eficiencia de los sistemas de enfriamiento y pueden originar un deterioro rápido de los materiales de construcción utilizados en torres de enfriamiento, bombas, líneas de conducción y equipos asociados.

La calidad del agua depende del uso que se le vaya a dar Powell (1966), menciona que las aguas naturales muestran, en general, las características propias de las fuentes de las cuales provienen. Sin embargo, muchos de los factores determinantes como las condiciones climatológicas, geográficas y geológicas, producen variaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de fuente. Estas variaciones dependen de la facilidad que tiene el agua de incorporar substancias en forma de solución o tenerlas en suspensión.

Es necesario considerar la finalidad del uso del agua en cada uno de los procesos industriales, con el fin de implementar el tratamiento adecuado, el

cual consistirá de un proceso fisicoquímico para remover los iones que causan problemas en los equipos utilizados y/o un proceso biológico, el cual acondicionará microbiológicamente el agua, eliminando los organismos indeseables.

La mayor parte del agua empleada con fines industriales se utiliza para enfriar un proceso o un producto, o en la generación de vapor de agua. La disponibilidad del agua en la mayoría de las áreas industriales y su gran capacidad calorífica han hecho de este compuesto el medio de intercambio de calor favorito en las aplicaciones industriales y de servicios. El uso del agua para enfriamiento se ha puesto bajo la vigilancia creciente tanto desde el punto de vista ambiental como desde el de conservación, y como resultado, los patrones de uso del agua de enfriamiento están cambiando y continuarán haciéndolo. Por ejemplo, en muchos sistemas se pasa el agua de enfriamiento a través de la planta, sólo una vez, y se regresa a la cuenca. Esto crea una tasa elevada de retiro y pérdida de agua, además de añadir calor a la corriente receptora (Powell, 1966).

Por otra parte, las torres de enfriamiento permiten la reutilización del agua, ya que ésta puede recircularse en varias ocasiones, hasta tal punto que en la mayor parte de los sistemas de enfriamiento evaporativo modernos que emplean estos sistemas, reducen las tasas de toma en más de un 90%, disminuyendo en forma importante la entrada de calor a la corriente receptora, pero no al ambiente, puesto que el calor del agua es transferido al aire (Kemmer, 1979).

Como caso particular, se puede señalar el sistema de enfriamiento en donde se realizó el presente trabajo, que es de tipo recirculante abierto, en el cual está por implementarse un sistema de recuperación de agua de purga, la cual inicialmente recibirá un choque de biocida oxidante, con el fin de eliminar el desarrollo orgánico existente, ya que por proceder el agua de un sistema abierto se encuentra expuesta a la contaminación por el viento, lluvia y polvo que incorporan microorganismos al medio; como segundo paso el agua de purga exenta de desarrollo orgánico, será recibida en un tanque decantador, el cual sedimentará los sólidos en suspensión que serán eliminados por la purga de lodos del depósito; subsecuentemente, esta agua

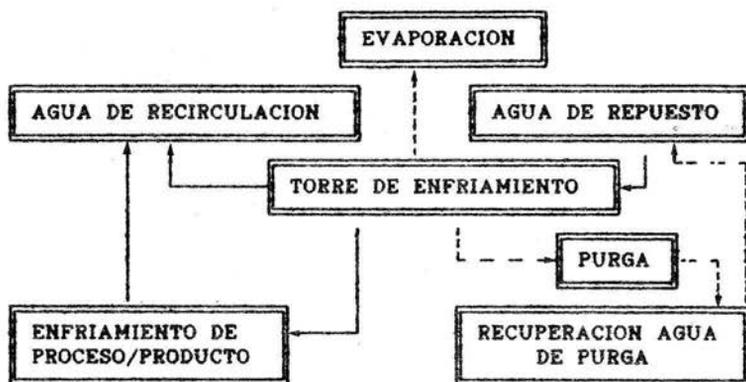
pasará por un equipo de filtración arena/arcilla y carbón activado, para que por acción mecánica clarifique el agua; y como punto final el agua pasará por una lámpara de luz ultravioleta, la cual por la incidencia de rayos U.V. esterilizará el agua que podrá ser enviada a las cisternas de las que se bombea continuamente agua a la torre de enfriamiento.

Se puede sintetizar que una torre de enfriamiento es el sistema utilizado para forzar el aire a moverse y mezclarlo con el agua, con el propósito de enfriarla (Nordel, 1981).

Existen cambios en el diseño y en la operación de sistemas de agua de enfriamiento, lo que tiene un impacto profundo en la química del agua puesto que ésta influye en el potencial de corrosión, incrustación y bioensuciamiento en el sistema, por lo que es conveniente someterla a tratamientos externos e internos, los cuales se describen a continuación:

- a) Tratamiento externo.- este tratamiento se suministra a base de medios físicos o fisicoquímicos, los cuales generalmente son equipos que por medio de clarifloculación, filtración, suavización en caliente o en frío con cal-carbonato, intercambio iónico, etc., eliminan parte de los componentes indeseables antes de entrar al equipo o sistema en donde vaya a ser utilizada (Water Quality Criteria, 1973).
- b) Tratamiento interno.- este tratamiento modifica los componentes que no hayan sido removidos totalmente en el tratamiento externo y que se presentan en la unidad, llevándose a cabo por medios fisicoquímicos y en base a aditivos químicos que alteran la calidad del agua (op cit, 1973), previniendo de esta manera la disminución en la capacidad de trabajo, así como posibles fallas en la operación del sistema.

Con la utilización de un tratamiento químico interno adecuado para el tipo de calidad de agua empleada en un sistema de enfriamiento abierto, se establece un equilibrio dinámico, en el ciclo:



Wolfson (1960), menciona que es necesario considerar tanto las formulaciones químicas como las técnicas de tratamiento utilizadas para el control microbiológico y para proporcionar las características fisicoquímicas adecuadas.

Con el propósito de que los sistemas de acondicionamiento de aire enfriados por agua, operen con la eficiencia de diseño, es conveniente delimitar las condiciones tanto del agua de recirculación como la del agua enfriada. Los problemas que pueden ocurrir en el lado del agua en este tipo de sistemas son, según Kemmer (1979):

1. Formación de incrustaciones, especialmente sobre los tubos de transferencia de calor.
2. Corrosión de los metales usados en el sistema.
3. Ensuciamiento microbiano.
4. Ensuciamiento debido a acumulaciones de lodos y sedimentos.

Como sucede en los cambiadores de calor industriales, las incrustaciones, el bioensuciamiento y la acumulación de lodos y sedimentos, originan una mala transferencia de calor a través de los tubos del cambiador, reduciendo la eficiencia y aumentando los costos de energía.

Este tipo de depósitos puede ser causado por microorganismos aerobios formadores de lama, por la secreción de un cemento que funciona como un agente adherente que forma precipitados o por las bacterias anaerobias, mohos, levaduras y algas.

Las bacterias como Pseudomonas sp. y Aerobacter sp., son algunos de los géneros prevaletentes en aguas de enfriamiento, típicos formadores de lama, que de la misma manera causan una pérdida de eficiencia en la transferencia de calor y en casos severos pueden obstruir completamente el flujo de agua dentro de los tubos (Mc. Coy, 1974).

Las incrustaciones son capas densas en las que predominan los materiales inorgánicos, formadas por la sobresaturación de los componentes solubles en el agua (Kemmer, 1979).

En las partes de la torre de enfriamiento que se encuentran constituidas por madera, se pueden presentar los problemas de lignificación y putrefacción de la madera, originados por un descontrol en el desarrollo microbiano, principalmente hongos (Hurst, 1969).

Por otra parte, la corrosión causa fallas en las instalaciones del sistema, las que resultan en reparaciones caras o en cambios de las partes.

Los microorganismos en el aire, en el agua y en los procesos de flujo contaminan los sistemas de enfriamiento abiertos. Una vez en el sistema, estos organismos encuentran las condiciones ideales para su reproducción, multiplicándose rápidamente (Wolfson, 1960).

Algunas torres de enfriamiento se encuentran localizadas en áreas en donde son transportados por el viento cantidades apreciables de tierra y sedimentos, siendo depositados en el agua que recircula. Estas impurezas quedan suspendidas en el agua y tienden a sedimentarse en áreas de baja velocidad, como en los cambiadores de calor. Además de impedir la transferencia de calor, el lodo sedimentado propicia el problema de corrosión, por fomentar la actividad microbiana bajo estos depósitos (Kemmer, 1979).

Tal es el caso de las bacterias anaeróbicas sulfato-reductoras como *Desulfonibatio* sp., que contiene una enzima hidrogenasa que permite utilizar el hidrógeno elemental generado en el sitio catódico para reducir el sulfato en sulfuro de hidrógeno. Por lo cual, puede actuar como un agente despolarizante catódico, originando corrosión electroquímica anaeróbica, produciendo sulfuro de hidrógeno y sulfuro-ferroso (Mc. Coy, 1974).

Otro tipo de bacterias que causan fuertes problemas de corrosión son las depositadoras de hierro, las cuales causan la oxidación y la deposición subsiguiente del hierro insoluble a partir del hierro soluble. Se presentan en aguas con alto contenido de hierro ferroso, el que convierten en hidróxido férrico insoluble y que se vuelve parte de la cubierta mucilaginosa alrededor de la célula. Estas depositan y aceleran la velocidad de corrosión, la cual produce hierro soluble adicional, aumentando la población de este tipo de bacterias. *Crenothrix* y *Beggiatoa* son algunos ejemplos (OP cit, 1974).

El presente trabajo pretende realizar una caracterización y evaluación de la calidad del agua de la torre de enfriamiento, instalada en la Casa de Máquinas Torre Pemex, la cual provee el servicio de Aire Acondicionado, con el fin de implementar mejoras en el funcionamiento del sistema.

## OBJETIVO GENERAL

Optimización del proceso de tratamiento del agua de la Torre de Enfriamiento Casa de Máquinas Torre Pemex-Centro Administrativo, considerando las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua utilizada en este sistema, en el periodo comprendido de enero a diciembre de 1986.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar la bacteriología a grandes grupos que se desarrolla en este sistema de enfriamiento en:
  - 1.1 Agua de repuesto.
  - 1.2 Agua de recirculación.
2. Determinar las características fisicoquímicas del agua utilizada en la Torre de Enfriamiento, para delimitar la calidad del agua.
3. Relacionar la frecuencia de los grupos de bacterias existentes y los parámetros fisicoquímicos del sistema.
4. Caracterización del agua con relación al tratamiento químico aplicado en este sistema.
5. Proponer modificaciones de acuerdo a la evaluación de los resultados obtenidos, con el fin de mejorar la calidad del agua de recirculación.

## A N T E C E D E N T E S

De los trabajos de investigación de tratamiento de aguas, realizados en forma general en sistemas de enfriamiento, podemos citar a: Pretreatment-the key to effective protection of cooling water systems (Puckorius, 1978). Scale, corrosion and microbiological growth must all be considered in the selection of treatment for cooling waters (Hurst, 1969). Calculating the pH of calcium carbonate saturation (Pisigan & Singley, 1985). Basic water treatment processes (Bureau of the Census, 1971; op cit Water Quality Criteria, 1973), que permiten delimitar los patrones importantes para un correcto acondicionamiento químico del agua de enfriamiento.

Por otra parte, se han efectuado trabajos de investigación con especial enfoque al control y desarrollo microbiológico en estos sistemas de enfriamiento, como es el caso de: Controlling corrosive microorganisms in cooling water systems (Puckorius, 1978). Corrosión microbiológica (Lutey, 1980). Microbiological control in alkaline cooling water systems (Grier & Cristensen, 1975). Biofouling in an industrial cooling water system (Bott et al, 1973). Development of methods for enumeration of sulfate-reducing bacteria and of her sulfide-formers (Moore, 1961).

Debido a la importancia que tiene el control microbiológico existen trabajos encaminados a la utilización de los biocidas, como: Biocides-methods of application (Harris, 1971). Biocides in cooling systems (Mennie, 1971). Steams spraying microbiocides protects cooling-tower wood (Germ & Hindman, 1961). Effective microorganisms control chemical developed for hydrocarbon contaminated cooling water systems (Wolfson et al, 1960).

Los múltiples estudios sobre desarrollo microbiológico en el agua no se han restringido exclusivamente para torres de enfriamiento, sino que también se han enfocado a sistemas de distribución municipal y para el correcto mantenimiento de los equipos utilizados en la industria petrolera, pudiéndose mencionar: A mathematical simulation of microbial fouling in water supply systems (Bryers & Characklis, 1977). Microbiological for oil people ... corrosion in natural water (Kobrin, 1976). Biocide testing against corrosion-causing oil-field bacteria helps control plugging (Ruseska et al, 1982). Controlling corrosion by controlling bacterial growth (Victoreen, 1984).

## M A T E R I A L Y M E T O D O S

Se realizaron muestreos mensuales, en el ciclo anual de enero a diciembre de 1986.

Con el fin de realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de la torre de enfriamiento, se tomaron las muestras en los siguientes puntos representativos:

- a) Agua de repuesto, representada por el agua cruda recibida en una cisterna directamente de la red municipal (Fig. 1).
- b) Agua de recirculación, que es el agua proveniente de la lluvia de las persianas que cae en la pileta de la Torre (Fig. 1).

Los análisis físicos, fisicoquímicos y bacteriológicos se hicieron de acuerdo a las técnicas del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y el American Society for Testing and Materials.

Para los análisis físicos y fisicoquímicos, la recolección de las muestras fue en frascos de polietileno de 1,000 ml de capacidad, siendo trasladados de inmediato al laboratorio para su posterior análisis.

Las determinaciones que se efectuaron fueron de tipo volumétrico, fotocolorimétrico, gravimétricas y por espectrofotometría de absorción atómica, esto con el fin de establecer la calidad del agua y con ello su posible uso para fines industriales, además de poderse evaluar la eficiencia de los tratamientos aplicados, ya que los elementos y compuestos químicos presentes en el agua son determinantes de su calidad, enlistándose de la manera siguiente:

1. pH: debido a que el pH es una medida de la acidez y/o alcalinidad, su determinación en el agua constituye una valiosa ayuda para poder prevenir la formación de incrustaciones o corrosión del equipo que la contenga. El valor del pH se utiliza en los cálculos de carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono, índice de corrosión y el de estabilidad y en el control de los procesos de tratamiento de aguas.

Su determinación fue utilizando un potenciómetro digital Marca HACH o sea electrométicamente.

2. Temperatura: el concepto de temperatura se refiere a la propiedad termodinámica que determina la existencia o inexistencia de equilibrio térmico entre dos o más sistemas. Esta propiedad influye notablemente en las características físicas y bioquímicas de los cuerpos de agua, originando la evaporación, cambios en la solubilidad de los gases, viscosidad del agua, etc. (APHA, 1975).

La determinación de la temperatura se realizó por medio de un termómetro Marca Taylor.

3. Alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$ : es la capacidad del agua para aceptar protones, representando el contenido de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos; la determinación de la alcalinidad es por titulación, como se recomienda en el Standard Methods (Método 102).

La alcalinidad F (Fenolftaleína), se realiza utilizando como indicador fenolftaleína y como titulador solución de ácido sulfúrico 0.02 N, presentando un vire a pH 8.3.

La alcalinidad M (Anaranjado de Metilo), se efectúa con el anaranjado de metilo como indicador y solución de ácido sulfúrico 0.02 N, como titulador, presentando un vire a pH 4.5.

4. Dureza como  $\text{CaCO}_3$ : representada por los iones de Calcio y Magnesio en el agua, siendo directamente proporcional la cantidad de Calcio y Magnesio al grado de dureza del agua.

Son consideradas aguas duras, aquellas que requieren de cantidades considerables de jabón para producir espuma, y que también provocan incrustaciones en las tuberías de agua caliente o fría, calderas, intercambiadores de calor y otras unidades en las cuales la temperatura del agua es incrementada.

La determinación del grado de dureza según el Standard Methods (Método 309-B), es utilizando Eriocromo Negro T como indicador, una solución reguladora de pH y titulando con versenato (1 ml-1 mg  $\text{CaCO}_3$ ). El uso del versenato depende de la

presencia de un indicador para determinar cuando hay versenato en exceso o cuando todos los iones de dureza se han combinado. El colorante EHT sirve para este propósito. Cuando se añade una pequeña cantidad de EHT a un agua dura, con un pH de 10 aproximadamente, se combina con unos cuantos iones de Calcio y Magnesio para formar un complejo débil de color rojo vino.

5. Cloruros: es uno de los principales aniones utilizados en la determinación del grado de concentración de un agua de recirculación, con el fin de evitar problemas de precipitaciones. Es muy importante determinar los cloruros, por ser un ión que en grandes cantidades es altamente corrosivo.

Para la determinación de cloruros de acuerdo al Standard Methods (Método 408-A), es utilizando el cromato de potasio como indicador y el nitrato de plata como titulante, logrando una precipitación cuantitativa del cloruro de plata, formado por el ión cloruro de la muestra y el ión plata del reactivo, en una solución neutra o ligeramente alcalina, antes que el cromato de plata (de color rojo) que se forma en el cromato del indicador.

6. Sulfatos: el sulfato se disuelve en el agua a partir de ciertos minerales. La importancia en su control radica principalmente en que se asocia fácilmente con el calcio, tendiendo a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor.

La determinación (Método 427-C), recomendada en el Standard Methods, es utilizando el método turbidimétrico, basado en la turbidez producida por el precipitado de sulfato de bario que se forma al hacer reaccionar el ión sulfato con el cloruro de bario.

7. Fosfatos totales y ortofosfatos: el fósforo se encuentra en las aguas naturales casi únicamente en forma de diversos tipos de fosfatos: ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y polifosfatos) y fosfatos inorgánicos. Pueden presentarse en forma soluble en partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos. Los fosfatos condensados como

piro-tripolifosfatos y los compuestos de peso molecular elevado (fosfatos comerciales como hexametáfosfatos), no están presentes normalmente en aguas naturales, sino que son frecuentemente agregados durante el tratamiento del agua.

El análisis de fosfatos comprende dos pasos generales, según el Standard Methods (Método 425-C):

- a) Conversión de fosfatos en sus diversas formas de ortofosfatos solubles.
  - b) Determinación colorimétrica del ortofosfato soluble.
8. Silice: el óxido de silicio tiende a formar silicatos de calcio y magnesio, originando problemas serios de formación de incrustaciones en procesos de intercambio de calor y sistemas circulantes de agua de enfriamiento.

La determinación de la concentración de silice en una muestra, se realizó de acuerdo al Standard Methods (Método 426-B), en base a la formación del compuesto ácido silicomolibdico de amonio y su reducción con la solución del ácido 1-amino-2-naftol-sulfónico.

9. Sólidos: la definición de sólidos se refiere a la materia que permanece como residuo después de evaporar y secar de 103 a 105 °C la muestra de agua. Todos los materiales que ejercen una presión de vapor significativa a tales temperaturas, se pierden durante los procesos de evaporación y secado. El residuo remanente representa sólo aquellos materiales de la muestra que tienen una presión de vapor insignificante a 105 °C.

Debido a la amplia variedad de materiales orgánicos e inorgánicos encontrados en los análisis para sólidos, las pruebas son de carácter empírico y relativamente simples para efectuarse.

- a) Sólidos totales: se aplica este término al material que queda en un recipiente previamente tarado, después de la evaporación de un volumen de muestra determinado de agua y del secado subsiguiente a una temperatura definida (Método 208-A) Standard Methods.

b) Sólidos disueltos y suspendidos: la estimación del contenido de sólidos disueltos es considerando al material que pasa a través de un filtro de fibra de vidrio estandar y que permanece después de un adecuado mezclado de la muestra, donde el residuo es secado de 103 a 105 °C, como se recomienda en el Standard Methods (Método 208-C); los sólidos suspendidos son aquellos elementos o compuestos que permanecen en solución con el solvente en condiciones normales y que pueden ser de origen orgánico e inorgánico, Standard Methods (Método 208-B), es considerando el material que pasa a través de un filtro de fibra de vidrio estandar y que permanece después de evaporar y secar a peso constante a 160 °C.

10. Hierro: su importancia principalmente radica en que provoca serios problemas de incrustación cuando se presenta en forma insoluble y en forma soluble, problemas de corrosión.

Su determinación se basa utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, como se recomienda en el Standard Methods (Método 310-B).

11. Sodio: todas las sales de sodio son muy solubles en agua, aunque ciertos complejos en los minerales no lo son.

Su determinación según el Standard Methods (Método 320-A), es utilizando el fotómetro de flama, siendo este análisis más rápido y exacto que el método gravimétrico, pudiéndose ser leído a una longitud de onda de 589 nm.

12. Cobre: este compuesto puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que le contengan, aunque puede ser probable que la existencia se deba como producto de corrosión de las tuberías de cobre.

Su determinación, según el Standard Methods (Método 308-A), se realiza con un espectrofotómetro de absorción atómica.

13. Conductividad eléctrica: la conductividad es una expresión numérica de la habilidad de una muestra de agua, para acarrear una corriente eléctrica.

Este número depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua y la temperatura a la cual es efectuada la medida.

La conductividad eléctrica es realizada utilizando una celda específica y un puente de Wheatstone, según Standard Methods (Método 205).

Para los análisis bacteriológicos, la recolección de las muestras fue en frascos limpios esterilizados de boca ancha, de 150 ml de capacidad y con tapón esmerilado. Los frascos con las muestras fueron transportados al laboratorio en hielo a una temperatura aproximada de 5 °C.

En el momento de tomar las muestras se registró el cloro residual, utilizando ortotolidina como indicador, ya que esta determinación es una referencia importante del grado de contaminación bacteriana en el momento de tomar las muestras.

1. Cuenta Total Bacteriana: se analizaron de acuerdo al Standard Methods (Método 907), trabajando con la muestra original y 6 diluciones.

Se preparan por muestra 6 cajas Petri estériles, pipetas de 1 ml y 6 tubos de dilución estériles (tapa negra). Para 10-12 cajas se prepara el Medio de Cultivo de Agar Nutritivo, 7.0 g en 300 ml en un matraz de Erlenmeyer de 500 ml con tapón de algodón y gasa; se esteriliza cuando uno empieza a hacer las diluciones, durante 15 min. a 15 psig.

Para agregarlo a las cajas Petri se enfría a 45 °C cada matraz por separado en un recipiente con agua fría dándole vueltas al matraz para que no se haga grumos, sin dejarlo asentado en el agua. Se agrega a cada caja Petri de 25 a 30 ml del medio lo más rápidamente posible, dejar que las cajas solidifiquen.

El marcaje de las cajas y tubos de dilución se realizó de la siguiente manera:

No. de muestra	X-0	"Original"
X-1		1:10
X-2		1:100
X-3		1:1000
X-4		1:10000
X-5		1:100000
X-6		1:1000000

- a) En la caja X-0, se pone 1 ml de muestra original.
- b) En el tubo X-1, se pone 1 ml del original, agitar tapado y tomar 1 ml, colocarlo en la caja X-1.
- c) En el tubo X-2, se pone 1 ml del tubo X-1, agitar tapado y tomar 1 ml, colocarlo en la caja X-2.
- d) En forma similar para las demás diluciones, hasta X-6.

Se incuban las cajas sembradas en posición invertida a una temperatura de 35 a 37 °C, por un periodo de tiempo de 24 horas.

Para la interpretación se revisaron las placas para cada muestra y se seleccionó la que tuviera de 30 a 300 colonias. Se hizo la cuenta en el cuentacolonias y el número obtenido se multiplicó por la dilución marcada en la caja, teniendo así el número de colonias/ml de muestra.

2. Bacterias sulfato reductoras: se realizó su determinación considerando la técnica D-993 del American Society for Testing and Materials, modificada por el Instituto Mexicano del Petróleo.

Se esterilizan por muestra, tubos con tapón de rosca; tres de 80 ml, tres de 20 ml y tres de 10 ml. Y pipetas de 10 y 1 ml.

Se prepara el medio de cultivo, sin agregar el lactato de sodio hasta que se va a utilizar, manteniendo el medio en refrigeración; se esterilizan aproximadamente 110 ml por muestra del medio (con lactato de sodio) a 15 psig y 120 °C, durante 15 min.

Una vez que los tubos están fríos, se agregan los volúmenes siguientes:

- a) En los tubos de 80 ml, poner 10 ml de muestra.
- b) En los tubos de 20 ml, poner 1 ml de muestra.
- c) En los tubos de 10 ml, poner 0.1 ml de muestra.

Llenar los tubos hasta el borde superior con el medio (ya esterilizado y frío), para evitar que haya oxígeno en el tubo. Incubar durante 7 días y observar si hay formación de un precipitado negro

en el fondo o en las paredes del tubo, en el caso de ser así la prueba es positiva.

Para realizar la caracterización fisicoquímica y el comportamiento del agua, se efectuaron los siguientes cálculos:

1. Índice de Saturación o Langelier: es la relación entre el carbonato de calcio, el pH, la alcalinidad y la dureza de un agua para determinar su tendencia de formación de incrustación de compuestos de carbonato de calcio.

Las características incrustantes o no incrustantes del agua pueden ser predeterminadas a partir de la familia de las curvas de la Carta del Índice de Langelier (Fig. 2) y utilizando la siguiente fórmula (Langelier, 1936; op cit Powell, 1966).

$$pH_s = pCa + c$$

donde:

$pH_s$  = pH de saturación.

$pCa$  = factor logarítmico de la dureza de calcio expresada en ppm de  $CaCO_3$  equivalente.

$pAlk$  = factor logarítmico de la alcalinidad M, expresado en ppm a la temperatura del agua.

$c$  = factor logarítmico de sólidos totales en ppm a la temperatura del agua.

El Índice de Saturación es la diferencia algebraica entre el pH actual y el pH calculado, es decir:

$$I_s = pH \text{ actual} - pH_s \text{ calculado}$$

Si el pH es igual a  $pH_s$ , entonces  $I_s = 0$ .

Si el pH real del agua está por debajo del nivel calculado, el agua tiene un Índice de Langelier negativo y disolverá el  $CaCO_3$  (corrosión).

Si el pH medido excede el  $pH_s$ , el Índice de Langelier es positivo, y estando saturada con  $CaCO_3$  es probable que el agua forme depósitos (incrustación).

2. Índice de Estabilidad o Ryznar: es la modificación empírica del Índice de Saturación, se utiliza para predecir la tendencia corrosiva o de incrustación en los sistemas de agua, tomando como referencia el pH y el pHS (Kemmer, 1979).

$$IE = 2 \text{ pHS} - \text{pH}$$

Agua corrosiva =  $IE \geq 6.0$   
Agua incrustante =  $IE \leq 6.0$

3. Ciclos de concentración: la evaporación trae como consecuencia la separación de dos corrientes, una de ellas con un contenido reducido de cloruros o sales y la otra con un contenido mayor, ya que el agua de evaporación produce vapor puro de agua, que deja atrás las impurezas provenientes del agua de reemplazo.

La relación de las concentraciones de sales de agua de recirculación ( $C_b$ ) y las de reemplazo ( $C_m$ ), es la relación de concentración o ciclos de concentración (Kemmer, 1979).

$$C.C. = C_b / C_m$$

Esta evaluación significa que a un pequeño grado de concentración se reduce enormemente la demanda de agua, y mientras mayor es la relación de concentración, menor es la demanda, según se va alcanzando la tasa de evaporación como límite.

## RESULTADOS

### 1. CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS.

#### 1.1 Agua de repuesto.

Los resultados de la cuenta total bacteriana (C.T.B.) del agua de repuesto corresponden al de la red municipal, encontrando el valor máximo de desarrollo orgánico en el mes de octubre, que fue de 1 170,000 bact/ml y el valor mínimo en abril, que fue de 1; estando ausentes en el mes de febrero (Fig. 3).

Con relación a las bacterias sulfato-reductoras (B.S.R.) únicamente se presentaron 7/100 ml en el mes de septiembre.

Se determinó ausencia total de cloro residual en todos los muestreos.

#### 1.2 Agua de recirculación.

Para el caso del agua de recirculación el valor máximo de la C.T.B. de 2 160,000 bact/ml corresponde al mes de mayo y el mínimo reportado de 3,000 para el mes de diciembre; con ausencia de este grupo en el mes de febrero (Fig. 4).

Las B.S.R. estuvieron presentes en los meses de abril, mayo y julio, en valores de 9, 1,100 y 4/100 ml respectivamente, encontrándose ausentes en todos los demás meses.

El valor de cloro residual encontrado a lo largo de todo el año, fue de 0.0 ppm.

#### 1.3 Análisis estadístico.

Respecto a los análisis estadísticos, no se pudo aplicar la correlación entre ambos grupos de bacterias, en el agua de repuesto, por carecer de datos representativos (Tabla 1).

Sin embargo, para el agua de recirculación se realizó la correlación combinada entre la C.T.B. y

las B.S.R., obteniendo un coeficiente de regresión (C.R.) de 0.987.

## 2. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS.

### 2.1 Agua de repuesto.

Las características fisicoquímicas del agua de repuesto determinaron una tendencia del agua hacia el lado corrosivo, para todos los muestreos del año. El valor máximo del Índice de Estabilidad (I.E.) se encontró en el mes de octubre, que fue de 10.8 y el mínimo de 8.8 en marzo.

### 2.2 Agua de recirculación.

Se obtuvieron variaciones en el agua de recirculación, ya que presentó una tendencia incrustante al  $\text{CaCO}_3$  en el periodo comprendido de febrero a septiembre, representado por un 66.67% del valor global; en los meses de enero, noviembre y diciembre la tendencia del agua fue corrosiva, con un 25% y se encontró una tendencia del agua adecuada en octubre, representada por un 8.33% (Fig. 5).

Los cálculos del I.E. encontrados en los muestreos que corresponden a la tendencia incrustante, indican un valor máximo de incrustación al  $\text{CaCO}_3$  de 3.44 en febrero y el mínimo de incrustación de 5.76 en el mes de junio. Por otra parte, los meses que presentaron la tendencia corrosiva, dieron como valor mínimo de no incrustación al  $\text{CaCO}_3$  de 7.8 en noviembre, siendo el máximo de 8.1 en enero.

Para el mes de octubre, en donde se encontró agua con tendencia adecuada, el I.E. fue de 7.0 (Fig. 6).

### 2.3 Ciclos de concentración Agua de Recirculación/Agua de repuesto.

Respecto a la concentración del agua utilizada en este sistema de recirculación, el cálculo de los ciclos de concentración (C.C.) en base a cloruros fue determinante en el acondicionamiento químico del agua, encontrando una operación adecuada del sistema, en los meses de junio 3.3 y en agosto 4 C.C., presentándose un decremento en la concentración en enero, mayo, octubre, noviembre y diciembre, siendo de 1.14, 2.06, 2.2, 1 y 1.62, respectivamente; para el caso de los meses restantes

la situación fue contraria, variando de 4.6 a 8.7 C.C. (Fig. 7).

El comportamiento general de la concentración del agua fue considerando los siguientes constituyentes:

**Bicarbonatos.**- la concentración adecuada estuvo presente en los meses de febrero, marzo, abril y septiembre con una fluctuación de 3.09 a 3.95 C.C.; el incremento en la concentración de estas sales fue en los meses restantes, con excepción del cálculo correspondiente a octubre, en donde se encontraron 5.19 C.C. (Fig. 8).

**Dureza Total (como  $\text{CaCO}_3$ ).**- se presentó la concentración adecuada en mayo, junio, julio y agosto, calculándose de 3.23 a 3.82 C.C.; la concentración se elevó en los meses de enero, noviembre y diciembre; sucediendo lo contrario en los demás meses, encentrándose de 4.66 a 7.4 C.C. (Fig. 9).

**Dureza Calcio (como  $\text{CaCO}_3$ ).**- se calcularon en junio y octubre 3.41 y 3.46 C.C. respectivamente, que corresponden a una adecuada concentración; en enero, noviembre y diciembre la concentración aumentó; para febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto y septiembre se calcularon de 4.01 a 7.5 C.C. (Fig. 10).

**Dureza Magnesio (como  $\text{CaCO}_3$ ).**- los C.C. adecuados estuvieron presentes en junio, julio y agosto, en valores de 3.21, 3.13 y 3.48, respectivamente; las concentraciones aumentaron en los meses de enero, mayo, noviembre y diciembre; y disminuyeron en los meses restantes en valores de 4.33 a 7.27 C.C. (Fig. 11).

**Silice.**- la concentración adecuada de esta sal estuvo calculada únicamente en febrero (3.2 C.C.), el incremento en esta concentración sucedió en los meses restantes, exceptuando marzo, abril y junio en donde disminuyeron los ciclos de concentración a 4.23, 4.63 y 5.56 (Fig. 12).

**Sodio.**- en mayo, junio y agosto se determinaron 3.57, 3.63 y 3.99 C.C., respectivamente; existiendo un aumento en la concentración en enero, noviembre y diciembre; para los demás meses los C.C. calculados variaron de 4.11 a 10.0 (Fig. 13).

Calcio.- la concentración adecuada de esta sal estuvo presente en junio (3.33 C.C.) y en octubre (3.46 C.C.); sucediendo un incremento en la concentración de la misma en enero, noviembre y diciembre; en los meses restantes se calcularon de 4.02 a 7.52 C.C. (Fig. 14).

Magnesio.- el cálculo de los C.C. en junio, julio y agosto fue de 3.08, 3.15 y 3.42, respectivamente; se presentó un aumento en la concentración de estas sales en enero, mayo, noviembre y diciembre; para el caso de febrero, marzo, abril, septiembre y octubre se presentó lo contrario, fluctuando los valores de 4.35 a 7.23 C.C. (Fig. 15).

## 2.4 Análisis Estadístico.

### 2.4.1 Correlaciones combinadas.

Las correlaciones se efectuaron combinando las determinaciones analíticas y los cálculos realizados en el tiempo del muestreo (Tablas 2 y 3).

Para el caso del agua de repuesto, el pH y la conductividad eléctrica presentaron un coeficiente de correlación ( $r$ ) lineal inversa de -0.689. La alcalinidad total guarda una relación más cercana con la dureza de magnesio (0.626), el sodio (0.724) y con el magnesio (0.619), presentándose inversamente con el hierro (-0.596).

Las relaciones más importantes se dan entre la dureza de calcio y su constituyente calcio (0.981) y dureza de magnesio y el magnesio (0.999) (Tabla 4).

En el agua de recirculación las relaciones más importantes  $r \geq 0.95$  se dan entre la alcalinidad total con la dureza de calcio (0.986), la dureza de magnesio (0.969), el calcio (0.987), el magnesio (0.968), los sólidos disueltos (0.977) y la conductividad eléctrica (0.977).

En forma similar se encontró que la dureza de calcio presenta una gran relación con el calcio (1.0), magnesio (0.964), la dureza de magnesio (0.967), los sólidos disueltos (0.977) y la conductividad eléctrica (0.959).

Para el caso de la dureza de magnesio, se encontraron los coeficientes de correlación

$r \geq 0.95$ , con el calcio (0.966) y con su constituyente magnesio (1.0).

El sodio se presentó íntimamente relacionado con los sólidos disueltos (0.978) y con la conductividad eléctrica (0.975).

El ión calcio junto con el magnesio (0.963), con los sólidos disueltos (0.978) y con la conductividad eléctrica presentaron un valor de  $r = 0.959$  (Tabla 5).

### 3. ANALISIS ESTADISTICO.

#### 3.1 Correlación simple.

De las correlaciones lineal y no lineal aplicadas al desarrollo bacteriano, que dependen de las características fisicoquímicas, para el caso del agua de repuesto se encontró que el número de bacterias/ml se ajusta al modelo inverso, siendo determinantes el pH con  $r = 0.717$ , la alcalinidad total  $r = 0.647$ , la dureza de magnesio  $r = 0.696$  y el magnesio  $r = 0.704$ ; y en forma potencial el hierro con  $r = 0.63$  (Figs. 16-20).

Los modelos de correlación simple aplicados en el agua de recirculación, indican que las condiciones fisicoquímicas no determinan el desarrollo bacteriano.

### 4. CARACTERIZACION Y ACONDICIONAMIENTO QUIMICO DEL AGUA.

Se consideraron los análisis fisicoquímicos que determinan las características prevaletentes del agua de repuesto y de recirculación, para realizar el acondicionamiento químico, siendo los más importantes:

pH.- el agua de recirculación presentó valores más altos que el agua de repuesto. Para el caso del agua de repuesto el pH máximo se presentó en el mes de marzo con un valor de 8.1 y el mínimo en agosto de 6.7. En el agua recirculante el máximo fue de 9.1 en marzo, y el mínimo 7.7 en enero y diciembre (Fig. 24).

Alcalinidad Total (como  $\text{CaCO}_3$ ).- el comportamiento

de la alcalinidad fue determinado por el pH. En el agua de repuesto, el valor máximo estuvo presente en agosto (145.6 ppm) y el mínimo en octubre (41.6 ppm). En la de recirculación el máximo fue de 581 ppm en febrero y el mínimo de 91.5 en enero (Fig. 25).

Silice.- el  $\text{SiO}_2$  fue considerado el factor limitante de mayor importancia en la caracterización del agua. Para la de repuesto se encontró una fluctuación entre 16 y 100 ppm, correspondiendo el valor mínimo al mes de junio y el máximo a julio. Se presentaron variaciones de 51.9 a 330 ppm en el agua de recirculación, correspondiendo a los meses de enero y abril, respectivamente (Fig. 26).

Fosfatos.- se encontraron valores muy bajos. Para el agua de repuesto el mínimo de 0.02 ppm en julio y el máximo de 1.7 ppm en abril. El agua recirculante presentó valores que fluctúan entre 0.02 y 2.0 ppm, correspondiendo estos valores a diciembre y abril (Fig. 27).

Dureza Total (como  $\text{CaCO}_3$  ).- fue considerado otro factor limitante. En el agua de repuesto el valor máximo se presentó en abril (92 ppm) y el mínimo en octubre (50 ppm). La concentración máxima en el agua de recirculación fue de 490 ppm y la mínima de 60.9 ppm en enero (Fig. 28).

Sólidos Disueltos.- en el agua de repuesto el valor máximo se encontró en julio (322 ppm) y el mínimo en mayo (106 ppm). En la de recirculación, en enero se presentó el valor mínimo de 226 ppm y en febrero el máximo, de 1,423 ppm (Fig. 29).

##### 5.- MODIFICACIONES PROPUESTAS.

Para poder establecer las recomendaciones para un buen control del tratamiento de aguas del sistema recirculante abierto, se debe considerar lo siguiente:

Formación de depósitos de  $\text{CaCO}_3$  en los meses de febrero a septiembre, ya que la tendencia del agua se presenta hacia el lado incrustante al  $\text{CaCO}_3$  y el manejo del pH  $\geq$  8.3 en el mismo periodo, con un rango de variación de 8.5 a 9.1.

Incremento en la concentración de silice en el agua de repuesto a 100 ppm en el mes de julio, que hace

factible la presencia de incrustaciones de sílice en el sistema.

Deficiencia en el tratamiento inhibitor de incrustación en base a polifosfatos en todos los meses, con una fluctuación de 0.02 a 0.85 ppm; excepto en abril, en donde se presentaron 2.0 ppm.

Se observó que el desarrollo bacteriano rebasó ligeramente la Norma de 500,000 bact/ml establecida para agua de recirculación solamente en los meses de junio, julio y octubre, los valores encontrados fueron 570,000, 600,000 y 650,000 respectivamente, a excepción de mayo en donde se registraron 2 160,000 (Tabla 6).

## ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a los resultados bacteriológicos obtenidos del agua de repuesto, se observa una irregularidad en la abundancia de los grupos a lo largo de todo el año, además de determinarse ausencia total de cloro residual, debido principalmente a la inestabilidad del ambiente.

El agua de repuesto antes de ser utilizada en la torre de enfriamiento, proviene de la red municipal, generalmente por Norma de la S.S.A. con 0.4 a 0.9 ppm de cloro residual y con un mínimo o ausencia de desarrollo orgánico. Ya que el ambiente no es estable, la fase latente del crecimiento poblacional bacteriano es corta, aumentando el número de bacterias a una tasa limitada, a causa de esta inestabilidad se origina la reacción en cadena o fase logarítmica, alcanzando la población el mayor desarrollo hasta que el ambiente no puede soportar un crecimiento rápido; cuando las tasas de reproducción y de mortalidad de la microflora son estáticas se presenta la fase estacionaria, hasta que el ambiente cambie de nuevo para proveer el estímulo para una nueva fase logarítmica o simplemente que las condiciones no soporten la tasa de reproducción igual a la de mortandad de la población total, cuando ocurre esto, la población entra en una fase de decadencia, y el número de microorganismos viables disminuye (Walter, *et al* 1980). Esta fase de decadencia no es frecuente en ambientes dinámicos, tales como los sistemas de recirculación abierta.

Debido al dinamismo existente, la población inicial bacteriana en los meses de enero, junio, julio, agosto y octubre no es controlada, por existir un elevado consumo del biocida oxidante, no satisfaciendo la demanda de cloro, de ahí que los meses referidos presenten altos valores de desarrollo bacteriano (Fig. 3).

El cloro causa daños fisiológicos en la membrana celular, ocasionando la muerte bacteriana como resultado de un metabolismo desbalanceado y afectando la síntesis de proteínas y la estructura de los aminoácidos. Sin embargo, algunos estudios reportados, como los de Le Chevalier & Mc Feters (1985), estiman que las bacterias de tipo coliforme

han sido registradas con una eficiencia del 10% en ambientes acuáticos clorados.

La torre de enfriamiento es un sistema de agua de recirculación que contiene las condiciones óptimas para el desarrollo microbiano; la temperatura y el pH se presentan en rangos ideales y generalmente mantienen materia orgánica, sales inorgánicas y luz solar, necesarios para el crecimiento bacteriano, de ahí que en el agua de recirculación se reportaron los valores más altos y los géneros que comúnmente se encuentran son: Bacillus, Desulfosibio, Bacillus y Clostridium.

Estas bacterias son consideradas del tipo sulfato-reductoras, de naturaleza anaeróbica, las cuales se desarrollan en ambientes altamente aerados como las torres de enfriamiento (Hurst, 1955).

Cada grupo bacteriano tiene su ambiente preferido y se desarrolla en áreas específicas de un sistema de agua. De esta manera las bacterias aeróbicas por requerir de oxígeno, se encuentran en aguas aeradas como la pileta de una torre de enfriamiento y las de tipo anaeróbico, que obtienen su energía de distintas reacciones, se les encuentra en áreas con deficiencia de oxígeno (Kemmer, 1979). Sin embargo, debido a la presencia de otros organismos como las bacterias aeróbicas, se forman depósitos que respaldan a las sulfato-reductoras, produciendo las condiciones anaeróbicas para su rápido crecimiento (Silverstein & Curtis, 1971).

Los tipos de microorganismos encontrados en un sistema de enfriamiento son significativos para evaluar los potenciales de corrosión. Empero, la identificación de los mismos con la nomenclatura científica específica, no es tan importante como la clasificación de los organismos en los grupos, considerando su naturaleza o comportamiento en el sistema (op cit, 1955).

Es de interés notar que el elevado número de bact/ml encontrado en mayo, es debido probablemente a que en primavera, el crecimiento microbiano pudo ser severo (Wolfson, 1960), y que tanto el aumento en la temperatura medio ambiental, como en el número de horas de exposición al sol presentes en este mes, influyeron en forma directa en el desarrollo orgánico (Bott, Miller & Patel, 1983).

Kelly & Puckorius (1963), mencionan que las variaciones en el clima aumentan o disminuyen la concentración de materiales de ensuciamiento en el agua del sistema de recirculación.

De acuerdo a la realización de múltiples trabajos (Kemmer, 1979) y a lo establecido por la AWWA, se ha implementado la existencia de problemas de corrosión bacteriana cuando se reportan más de 400 bact/ml en el agua de repuesto y 500,000 bact/ml en la de recirculación.

Haciendo referencia a los trabajos de Lutey (1980), que indican que el uso de procedimientos de "conteo total", se es un instrumento útil para el reconocimiento de la corrosión microbiológica y de que no existe algún acuerdo general, en cuanto a la cifra que constituye un "conteo alto", no se puede inferir que en el mes de mayo se presentase en el sistema de enfriamiento indicios de problemas de corrosión por bacterias.

El fango y el lodo de una torre de enfriamiento proveen un ambiente favorable para el crecimiento de bacterias sulfato-reductoras, pero la alta aereación del agua de recirculación hace difícil para el organismo el llegar a establecerse en este sistema, motivo por el cual se encontró de manera restringida el número de bacterias en el agua recirculante. Algunos organismos formadores de sulfuro se encuentran en aguas de inyección, siendo anaerobios obligados. Existiendo además organismos que necesitan de medios desoxigenados. Aunque algunas investigaciones, por ejemplo, las realizadas por Moore (1961), indican que *Saurothronium* puede crecer solo en condiciones fuertemente reductoras.

La importante relación existente entre ambos grupos de bacterias en el agua de recirculación, está dada definitivamente porque las bacterias sulfato-reductoras forman parte de la cuenta total bacteriana, presentándose el desarrollo de este grupo en un medio de cultivo anaeróbico selectivo, a una temperatura adecuada.

Por otra parte, considerando la calidad del agua en ambos puntos de muestreo, se observa que el agua de repuesto presenta una tendencia corrosiva a lo largo del año, debido principalmente a las características fisicoquímicas existentes, ya que proviene del

abastecimiento municipal al Distrito Federal, a partir del Río Cutzamala, cuya agua presenta las características determinantes hacia el lado corrosivo.

Con respecto al agua de recirculación, se observa una gran variación en el comportamiento de las características fisicoquímicas durante el tiempo de muestreo, presentándose el mayor porcentaje del tiempo global con una tendencia incrustante al  $\text{CaCO}_3$  dada principalmente por el incremento en los valores de alcalinidad, dureza, sólidos disueltos y el pH.

Por lo que el sistema se mantuvo generalmente en el lado alcalino, siendo más difícil establecer un control de no formación de depósitos de sales, en comparación con los sistemas de menor pH; además es importante considerar que el agua de repuesto puede contener materia orgánica y sólidos suspendidos, que contribuyan al ensuciamiento del sistema.

Para el caso de los meses en donde la tendencia del agua de recirculación fue hacia el lado corrosivo, esta situación es debida a la baja concentración de los parámetros que determinan el Índice de Saturación.

El comportamiento adecuado del agua recirculante es porque se mantiene en equilibrio la concentración de sales y los valores de pH, alcalinidad, dureza y sólidos disueltos; lo que indica que no existe posibilidad de incrustación y/o corrosión.

El cálculo de los C.C. sería anormalmente elevado si se basara en un constituyente añadido al sistema. Por ejemplo, el sulfato aumenta cuando se añade ácido sulfúrico para el control del pH o de la alcalinidad, además puede aumentar el sulfato si la atmósfera de la planta contiene  $\text{SO}_2$  de los gases de combustión. La situación contraria estaría presente si se basara en un constituyente que precipita desde el sistema. Por ejemplo, el calcio disminuye si se deposita. Debido a esto, resulta útil calcular los C.C. para cada constituyente (Kemmer, 1979).

En los meses de enero, noviembre y diciembre se observa una marcada disminución en el cálculo de los C.C., por lo que tanto la concentración de sales como la demanda de agua aumentan, ya que la

recirculación del agua está limitada a menos de 2 vueltas. Para los meses restantes se encontró una irregularidad en el comportamiento de las sales a través del tiempo de muestreo, esta variación pudo haber sido por una purga excesiva y/o al uso de aditivos químicos (Haupt, 1978).

A menores ciclos de concentración se requiere de la entrada de más agua al sistema, para disminuir su concentración, o sea hay más gasto de agua y viceversa; aunque es muy importante considerar que desde el punto de vista energético es conveniente disminuir el consumo de agua, por lo que tiene que restringirse la operación del sistema a 4 ciclos de concentración.

El cálculo de los C.C. en base a cloruros es el más exacto, ya que la única fuente que altera el valor de las ppm de cloruros es por el Hipoclorito de Sodio que se suministra, aunque se puede estimar que constantemente se está oxidando, por lo que no se afecta grandemente esta concentración. En comparación con los bicarbonatos, dureza total, sílice, sodio, etc., que por su propia constitución tienden a depositarse, dando valores muy poco confiables.

En general, el control de los C.C. es llevado a cabo por: el análisis del agua de repuesto, para determinar los niveles de las sales que serán introducidas al sistema; decidiendo a que niveles estas sales pueden ser toleradas en el sistema tratado, aumentando esta concentración a un nivel determinado, reduciendo la tasa de purga; y minimizando los requerimientos de la misma, sosteniendo los C.C. en un valor constante (Haupt, 1978).

En relación a las correlaciones combinadas aplicadas a los resultados obtenidos en ambos puntos de muestreo, para el caso de los fisicoquímicos, se observa que en el agua de repuesto los valores de "r" fueron inferiores a 8 y en el agua de recirculación si se presentaron valores iguales o cercanos a 1, presentándose estas relaciones por la composición y características propias del agua. Asimismo, la semimatriz que representa los coeficientes de correlación calculados en el agua de repuesto, indican que no existe gran relación entre las mismas características fisicoquímicas. Caso contrario para el agua recirculante, en donde se denota la íntima relación que existe entre los componentes del agua (Figs. 21 y 22).

Respecto al estudio realizado al crecimiento bacteriano, relacionado con las características fisicoquímicas, se encontró que las variaciones del pH que estuvieron presentes a lo largo del periodo de muestreo, fueron determinantes para el desarrollo de las bacterias. Como lo menciona Dubelcco (1972), quien estableció que la mayoría de los microorganismos toleran cambios de pH de hasta 3 y 4 unidades, pero que todo cambio superior a 1 unidad afecta su crecimiento. A valores menores de pH se observó un incremento en el desarrollo de la cuenta total bacteriana. En forma similar la alcalinidad total, la dureza de magnesio y el magnesio se encontraron relacionados inversamente al crecimiento de las bacterias; y potencialmente este crecimiento se vio influenciado por el hierro Dubelcco (1972), hace referencia de que los microorganismos anaeróbicos requieren el hierro para la formación de ciertas enzimas.

De acuerdo a los resultados se observa que el desarrollo orgánico bacteriano no presenta ninguna relación con las características fisicoquímicas existentes en el agua de recirculación, debido principalmente a que en este punto se realiza la aplicación de los aditivos químicos que acondicionan el agua para evitar problemas de incrustación, corrosión y bioensuciamiento. Como se puede observar en el diagrama de malla, en donde la relación existe entre los mismos parámetros fisicoquímicos y que ambos grupos de bacterias se encuentran completamente aislados de la malla (Fig. 23).

Con respecto a la caracterización y al acondicionamiento químico del agua, se observa que el pH determina el comportamiento del sistema, siendo muy importante su ajuste en el control de depósitos y corrosión.

Kemmer (1979) y Haupt (1976), mencionan que el control de los depósitos es a menudo más difícil en sistemas alcalinos, que en sistemas de menor pH. La efectividad en su control depende de la purga, el manejo del pH  $\leq 8.3$  mantiene a los bicarbonatos de calcio en equilibrio, junto con otros compuestos de calcio más solubles y más estables, dependiendo del tipo de ácido utilizado; la aplicación del ácido es para controlar el Índice de Estabilidad, hasta un valor ligeramente a formar incrustaciones.

Para el caso del agua recirculante los valores

correctos de pH, estuvieren presentes en los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre; proporcionando condiciones propias para evitar problemas de incrustación.

La alcalinidad total es determinada por el pH, a valores  $\leq 8.3$  la alcalinidad a la fenolftaleína es igual a 0, estando representada por bicarbonatos, y a  $\text{pH} \geq 8.3$  se presentan los carbonatos y los hidróxidos; por lo que se recomienda como límite máximo de alcalinidad total en el agua de recirculación de 250 ppm. Este ajuste se realiza aplicando ácido y aumentando la purga del sistema, para asegurar que no se alcance el punto de saturación de compuestos constituidos por carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Cuando la alcalinidad aumenta, la solubilidad del carbonato de calcio disminuye y se deposita; caso contrario para el sulfato de calcio, el cual es menos soluble a "alcalinidades bajas" (HACE, 1971) y (Kelly & Puckorius, 1963).

El silice es el factor limitante y que origina serios problemas de incrustación, uno de los mecanismos para contrarrestar los problemas de depósitos por sales constituidas por silice, es incrementar el pH para mantenerlas solubles, y la otra, es aplicando inhibidores de incrustación en base a poliacrilatos, que mantienen el silice en estado amorfo, situación que no permite la adherencia de los cristales entre ellos mismos, ni en la superficie del sistema (Hurst, 1969).

Este problema es propiciado por aguas con alto contenido de silice, el límite máximo es de 60 ppm en el make-up, por lo que el incremento en la concentración de silice en el agua de repuesto, aumenta la del agua recirculante, debiendo ser necesario purgar mas el sistema.

En los meses de abril, julio y septiembre los valores encontrados rebasan el límite establecido para la operación del sistema a 4 C.C., pudiéndose dar inicio a problemas de incrustación.

La importancia en la evaluación de los fosfatos, radica en que generalmente son utilizados polifosfatos para el control de corrosión y prevención de incrustaciones. La determinación del contenido de polifosfatos en el agua recirculante es

requerido para tener una aproximación del control de las dosis, que como caso particular es de 2.0 ppm. En esta determinación los polifosfatos se convierten en ortofosfatos y de esta manera la estimación del contenido de polifosfatos es obtenida (NACE, 1971).

Tomando en cuenta los resultados de las muestras analizadas en el periodo correspondiente, éstos indican que en el mes de abril se obtuvo la concentración adecuada del aditivo químico; caso contrario para los meses restantes en donde los valores fueron inferiores, quedando el sistema expuesto a problemas de depósitos de  $\text{CaCO}_3$ . Aunque considerando los datos del agua de repuesto, se observa que en el mes de abril también existió un incremento en los fosfatos.

La dureza total se utiliza como una base para la regulación de la purga, el límite máximo establecido para este sistema es de 250 ppm en el agua recirculante, por lo que en los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre se sostuvo un correcto nivel de purga.

El análisis de sólidos disueltos se realiza, debido a que estos electrolitos algunas veces reaccionan o se descomponen formando depósitos, ya que pueden ser atrapados por los productos incrustantes, incrementando el problema. Asimismo, el aumento en la concentración de sólidos disueltos activa grandemente las celdas galvánicas y pueden dar lugar a depósitos sedimentarios, que crean un ambiente favorable para el desarrollo de bacterias. Por ejemplo, *Ballionela* puede afectar la solubilidad de los sólidos disueltos, generando fierro soluble que precipita en el agua del sistema (Kelly & Puckorius, 1963).

El control de los sólidos disueltos se realiza mediante la purga del sistema y el límite máximo en el agua recirculante es de 1,000 ppm, por lo que en los meses de enero, mayo a julio y de octubre a diciembre, se estableció un correcto control en la concentración de los sólidos disueltos.

Con el fin de implementar las modificaciones, para obtener un correcto acondicionamiento químico del agua del sistema, se debe de considerar como primer punto la tendencia del agua a la incrustación del  $\text{CaCO}_3$ , la cual es determinada por el Índice de Estabilidad o de Ryznar, para evitar problemas de

depósitos de  $\text{CaCO}_3$  principalmente. Lo recomendable es operar el sistema hacia el lado ligeramente incrustante, o sea con un I.E. de 6 a 7.

Otra manera de comprobar la tendencia incrustante o corrosiva en varios puntos de la planta, es utilizando pequeñas unidades de prueba que se conocen como "testigos de corrosión", las que se encuentran constituidas por tubos de 2" de diámetro que se conectan con codos, formando una "s", en donde son insertados a contracorriente cupones de cobre y acero al carbón a peso constante, los cuales son retirados con cierta periodicidad. En caso de querer determinar incrustaciones, los cupones son pesados directamente, y para verificar problemas de corrosión, se les da un tratamiento especial para eliminar los residuos de ensuciamiento y se observa la diferencia de peso, por el desgaste del metal. Estas unidades aunque generalmente son utilizadas como pruebas de corrosión, también sirven para checar la presencia de bioensuciamiento microbiano (Atkinson, 1974).

Tomando en cuenta los valores de pH y alcalinidad total obtenidos, se observa que era necesario satisfacer la demanda de ácido para disminuir los valores en los meses referidos.

Debido a que la operación del sistema es del lado incrustante al  $\text{CaCO}_3$ , el acondicionamiento químico del agua mediante polifosfatos, debe de aplicarse en conjunto con agentes humectantes e inhibidores de corrosión. Tales agentes hacen posible efectuar una penetración en la incrustación y en otros materiales que se hayan formado sobre las superficies metálicas y que normalmente previenen el contacto entre el inhibidor disuelto y el metal (Powell, 1966).

Como se puede observar en los resultados, los valores de fosfatos son mínimos por lo que el sistema se encontraba expuesto a problemas de incrustación, siendo necesario la aplicación de agentes humectantes para minimizar los depósitos existentes.

Por otra parte es de suma importancia utilizar el cálculo de los C.C., la concentración de sílice de entrada al sistema, y la alcalinidad total y la dureza total del agua de recirculación, para regular el nivel de purga y en caso necesario incrementarla para desconcentrar el agua del sistema y evitar la

formación de depósitos. Tal es el caso en los meses de febrero a septiembre en donde se debió de sostener una purga mayor, ya que los valores de dureza y alcalinidad total principalmente, estaban fuera de los límites máximos permitidos.

Con respecto al control microbiológico, se hace hincapié en el requerimiento de biocida oxidante en el agua de repuesto, con el fin de mantener un residual de cloro de 0.4 a 0.9 ppm para garantizar la entrada de agua al sistema exenta de desarrollo orgánico.

Para el caso del agua de recirculación, la aplicación del Hipoclorito de Sodio al 13%, puede controlarse a nivel de goteo continuo en concentraciones  $\leq$  2.0 ppm, con el fin de satisfacer la demanda de cloro, ya que se ha observado que la presencia de materia orgánica en grandes cantidades, tanto interfiere en el funcionamiento del inhibidor de incrustación no pudiendo reaccionar con las sales de  $\text{CaCO}_3$ , así como genera sitios en donde se acelera la velocidad de corrosión, que conjuntamente con las bacterias depositadoras de hierro y las sulfato-reductoras se puede originar corrosión localizada o "pitting".

## CONCLUSIONES

Con relación a la bacteriología que se desarrolla en el sistema de enfriamiento, se concluye que la contaminación del agua de recirculación es debido en primera instancia, por el aporte del agua municipal que presenta índices de desarrollo orgánico y ausencia total de residual de cloro protector, y por otra parte porque no se satisfizo la demanda de biocida oxidante en el agua de recirculación, que influye en forma directa en el bioensuciamiento del sistema, ya que en los meses más cálidos el crecimiento bacteriológico incrementó.

En el agua de repuesto, la correlación simple entre la cuenta total bacteriana y las bacterias sulfato-reductoras no se pudo aplicar, por carecer de datos representativos. Para el caso del agua de recirculación, se encontró un coeficiente de regresión alto, porque las bacterias sulfato-reductoras son un grupo específico de la cuenta total bacteriana.

La calidad fisicoquímica en el agua de repuesto fue hacia el lado corrosivo, presentando las características propias de la red de distribución municipal, proveniente del Rio Cutzamala. Para el caso del agua de recirculación, por lo general se mantuvo del lado incrustante al  $\text{CaCO}_3$ .

El cálculo de los ciclos de concentración en base a cloruros es determinante en el acondicionamiento químico del sistema, ya que el considerar los ciclos de concentración en base a los demás constituyentes, nos proporciona datos erróneos, por la dificultad de su manejo y control, tal como sílice y dureza.

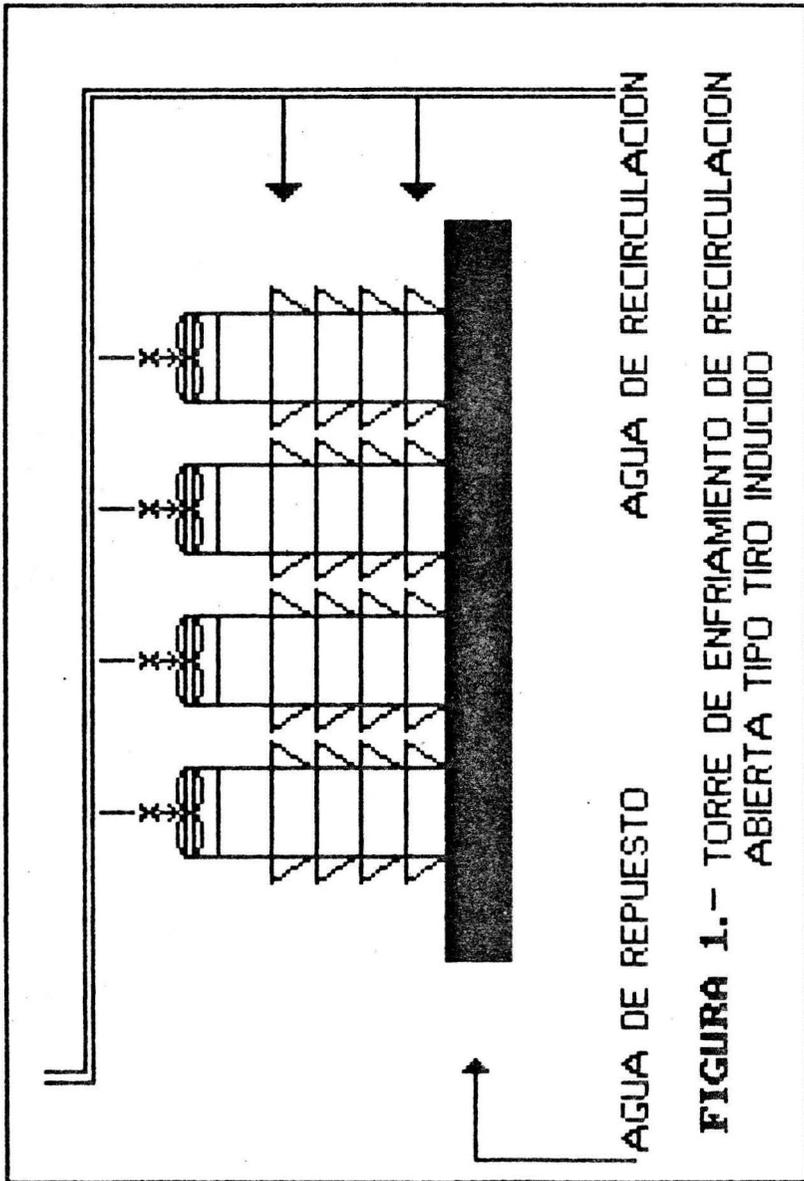
Las correlaciones altas más importantes en este sistema de recirculación, se dieron entre los constituyentes que establecen las características fisicoquímicas del tipo de agua que se está utilizando.

El pH, la alcalinidad total y el magnesio, influyeron inversamente, y el hierro en forma potencial, en el crecimiento bacteriano del agua de repuesto.

Para el caso del agua de recirculación las condiciones fisicoquímicas, no influyen en el desarrollo de las bacterias.

Basándose en que el agua es de tendencia ligeramente incrustante, la operación del sistema generalmente se controló hacia el lado alcalino.

En conclusión las limitantes en la formación de depósitos, son el sílice y la dureza.



**FIGURA 1.- TORRE DE ENFRIAMIENTO DE RECIRCULACION ABIERTA TIPO TIRO INDUCIDO**

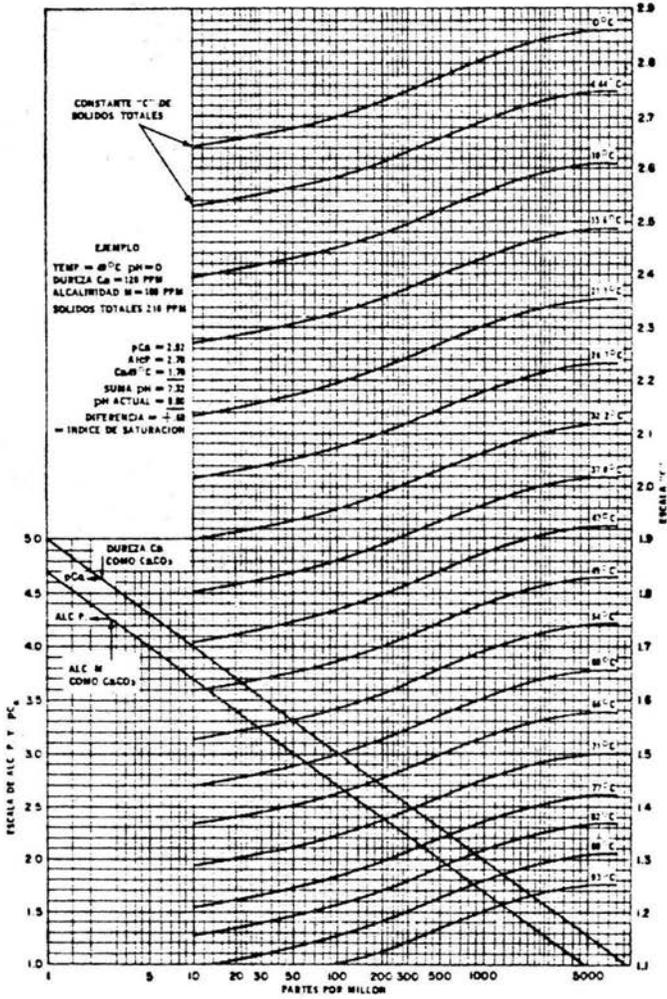


Fig.2 Carta del índice de saturación Langlier.

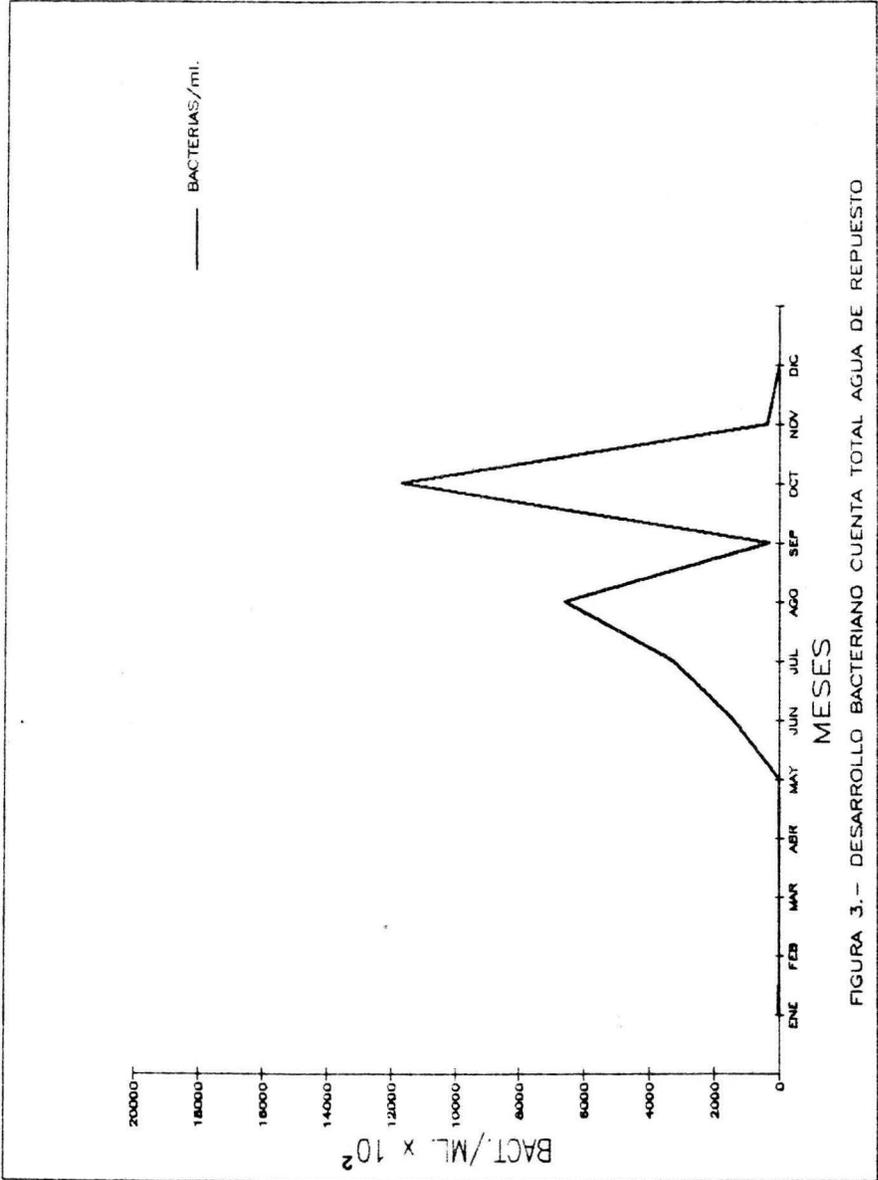
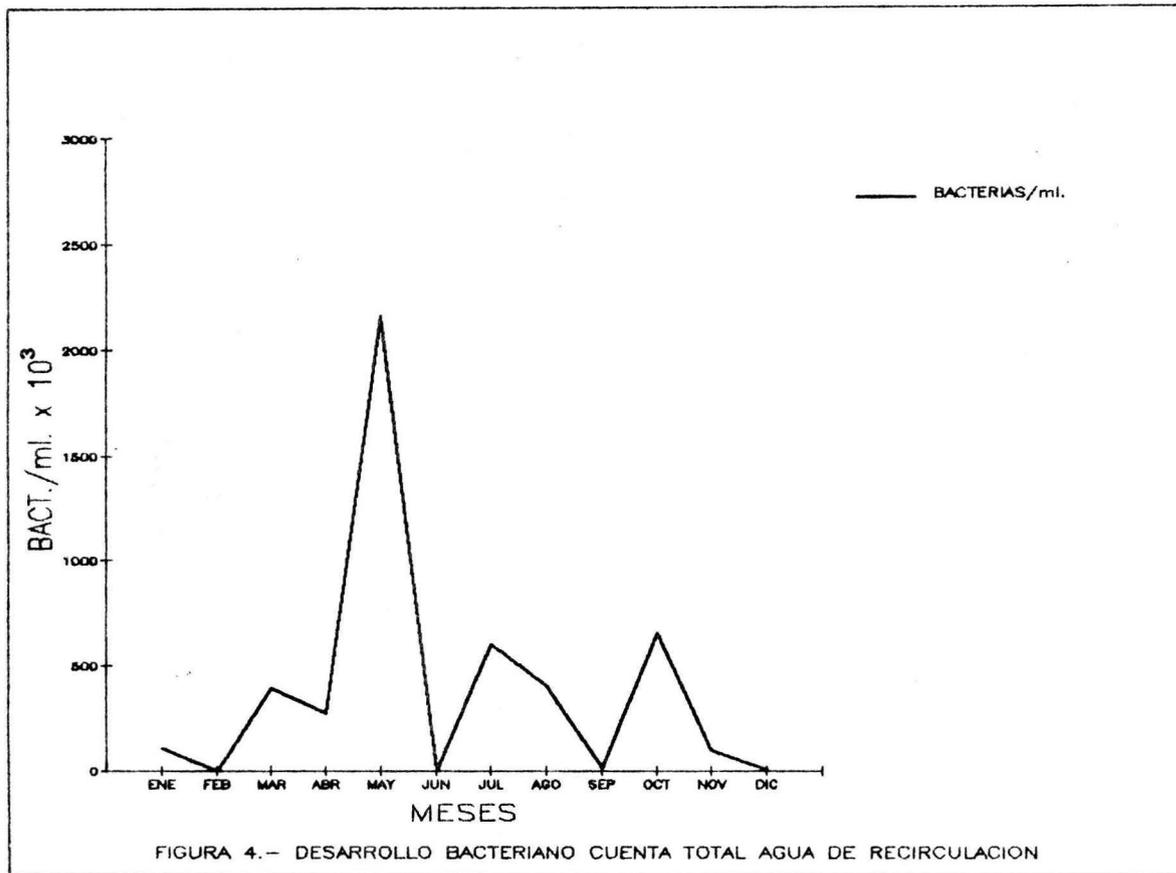
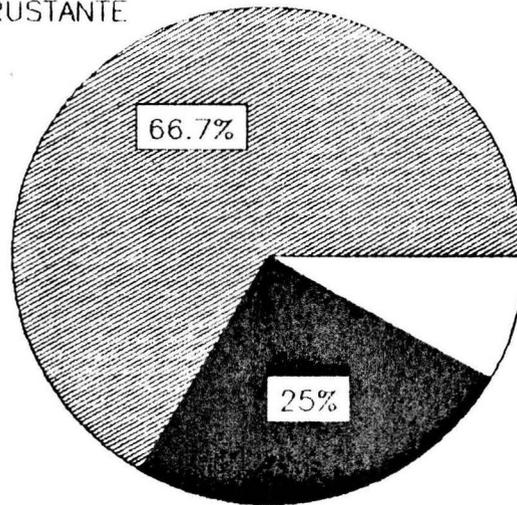


FIGURA 3.- DESARROLLO BACTERIANO CUENTA TOTAL AGUA DE REPUESTO



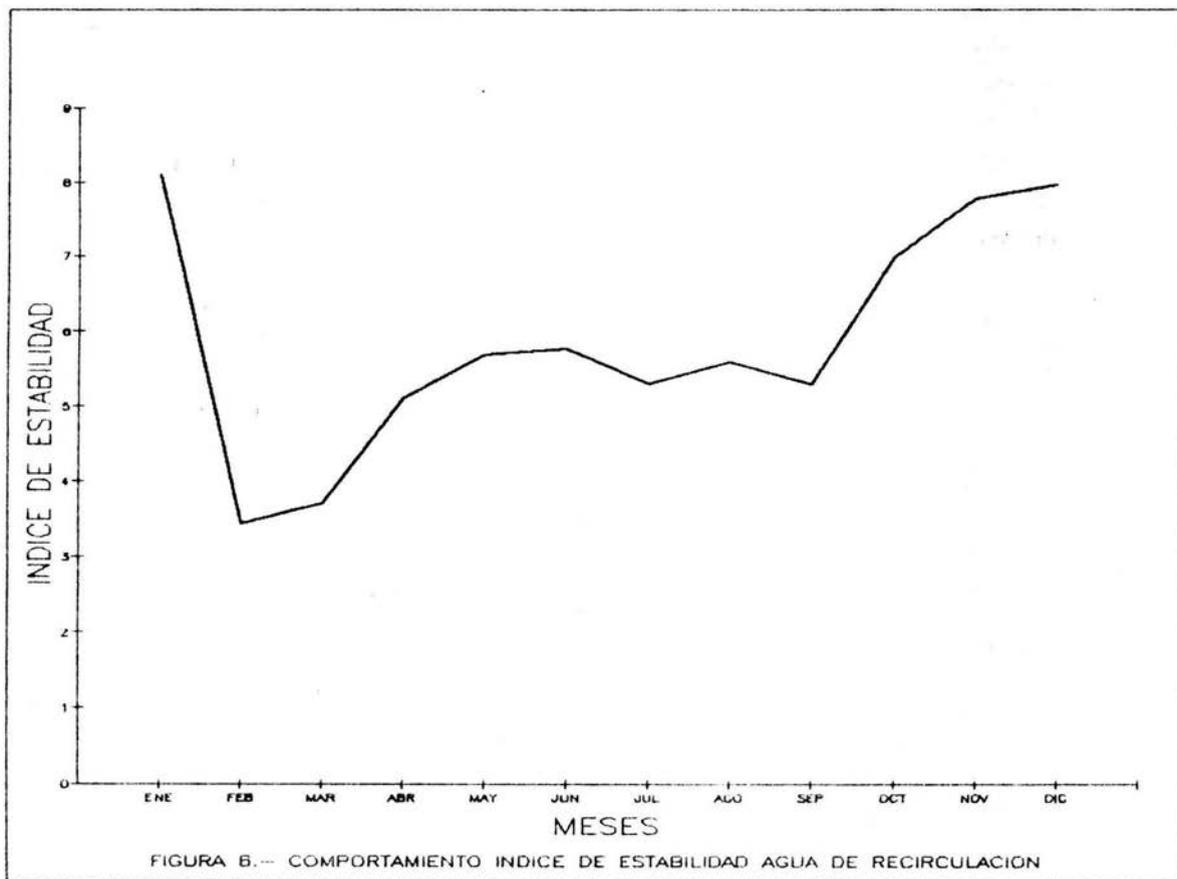
INCRUSTANTE

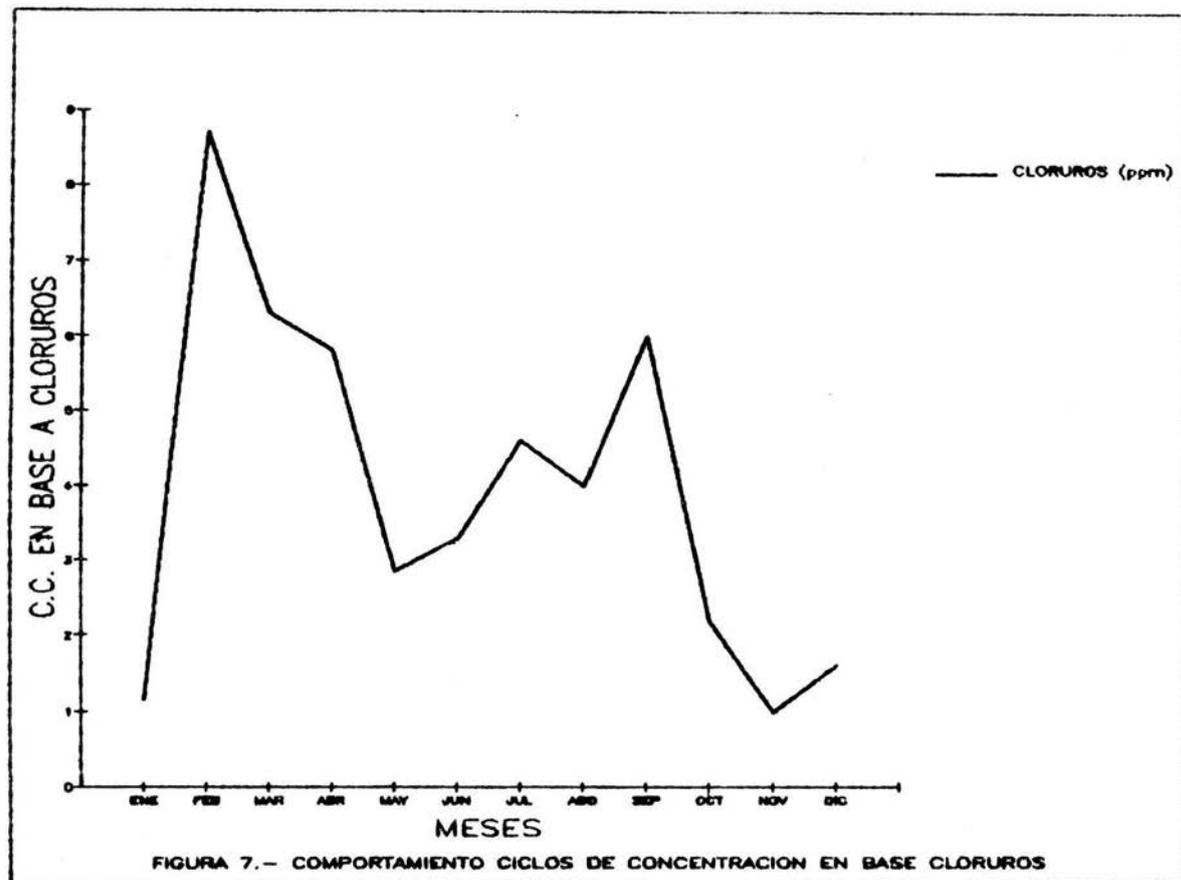


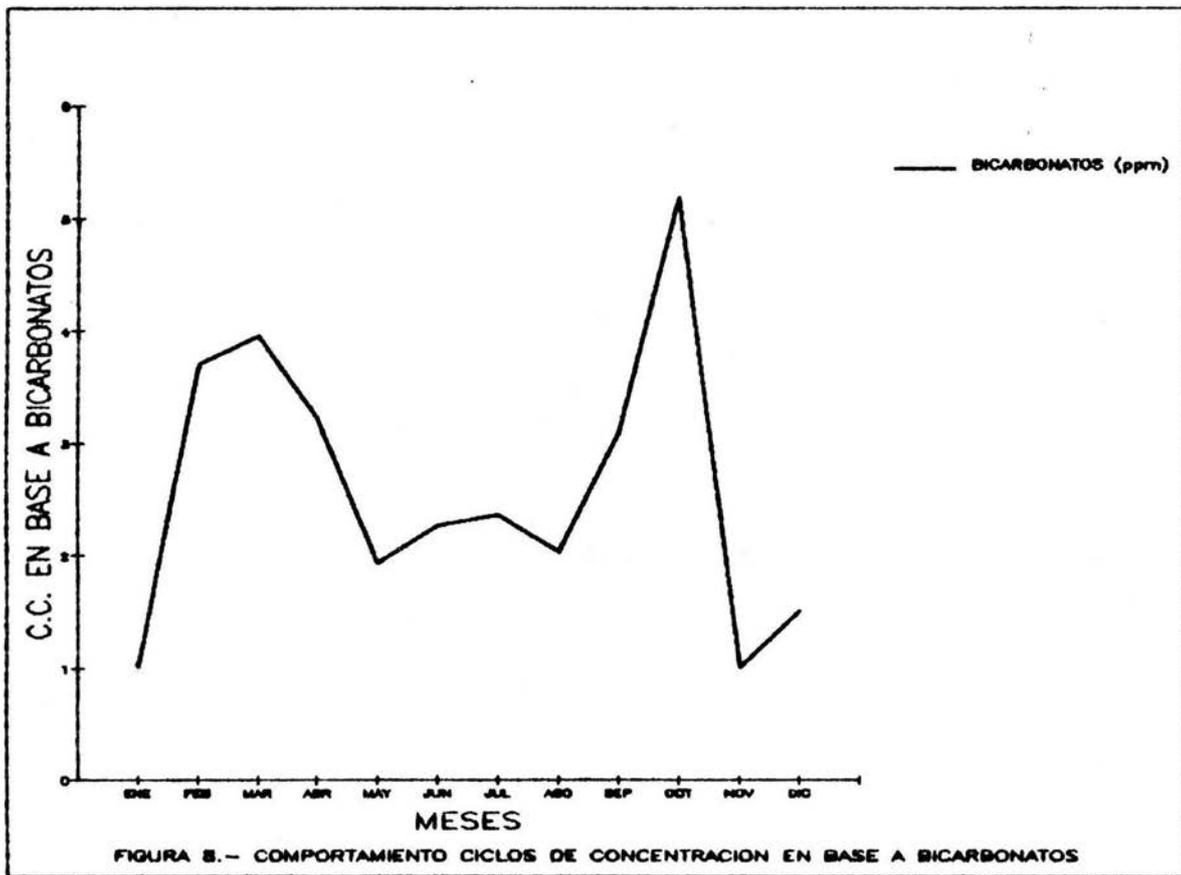
ADECUADA 8.3%

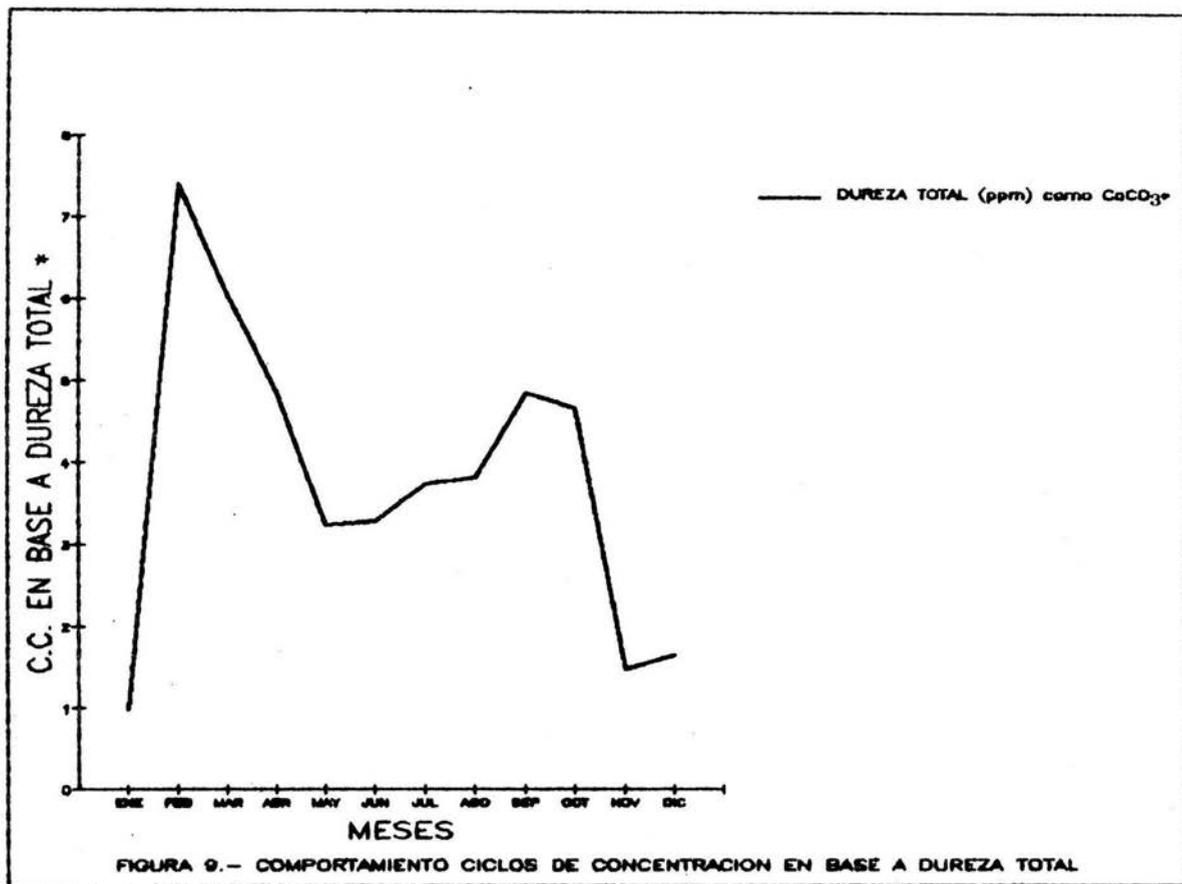
CORROSIVA

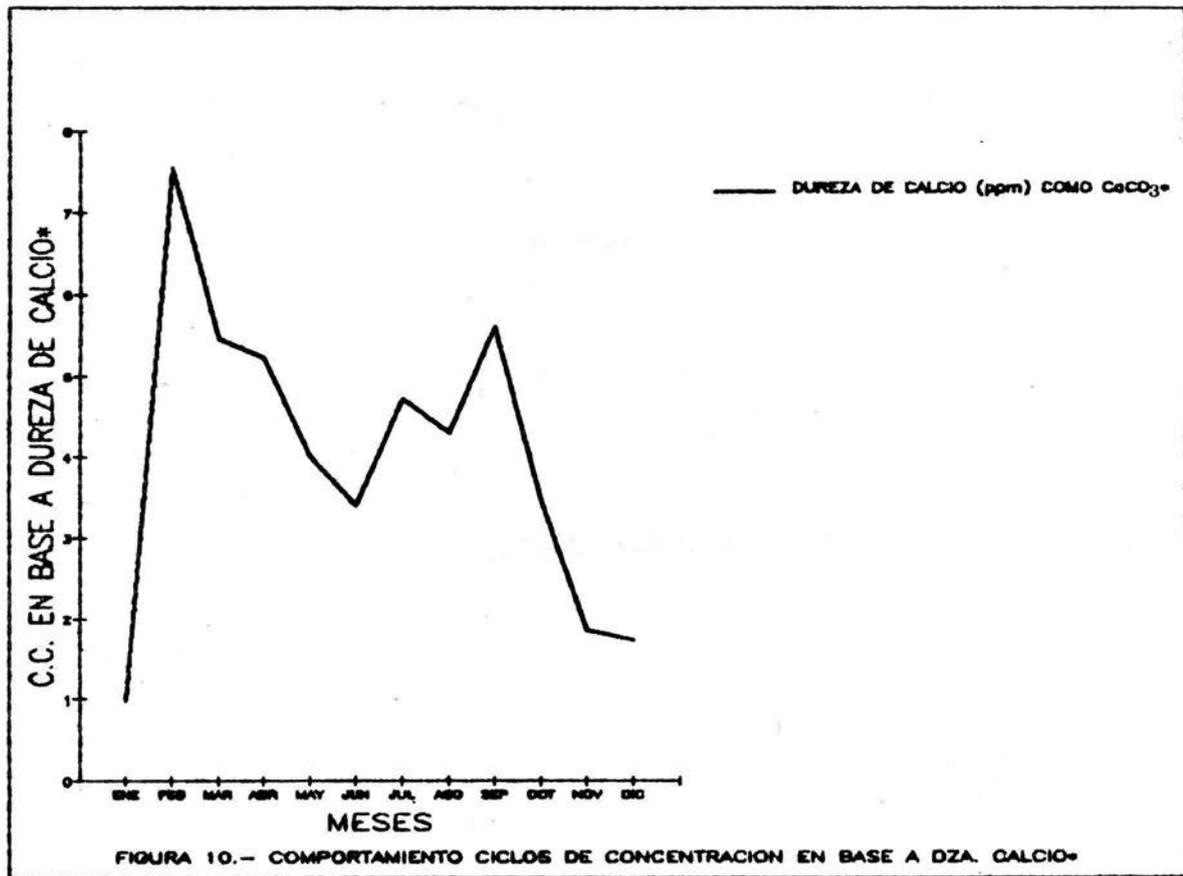
FIGURA 5.- AGUA DE RECIRCULACION TENDENCIA INCRUSTACION AL  $\text{CaCO}_3$

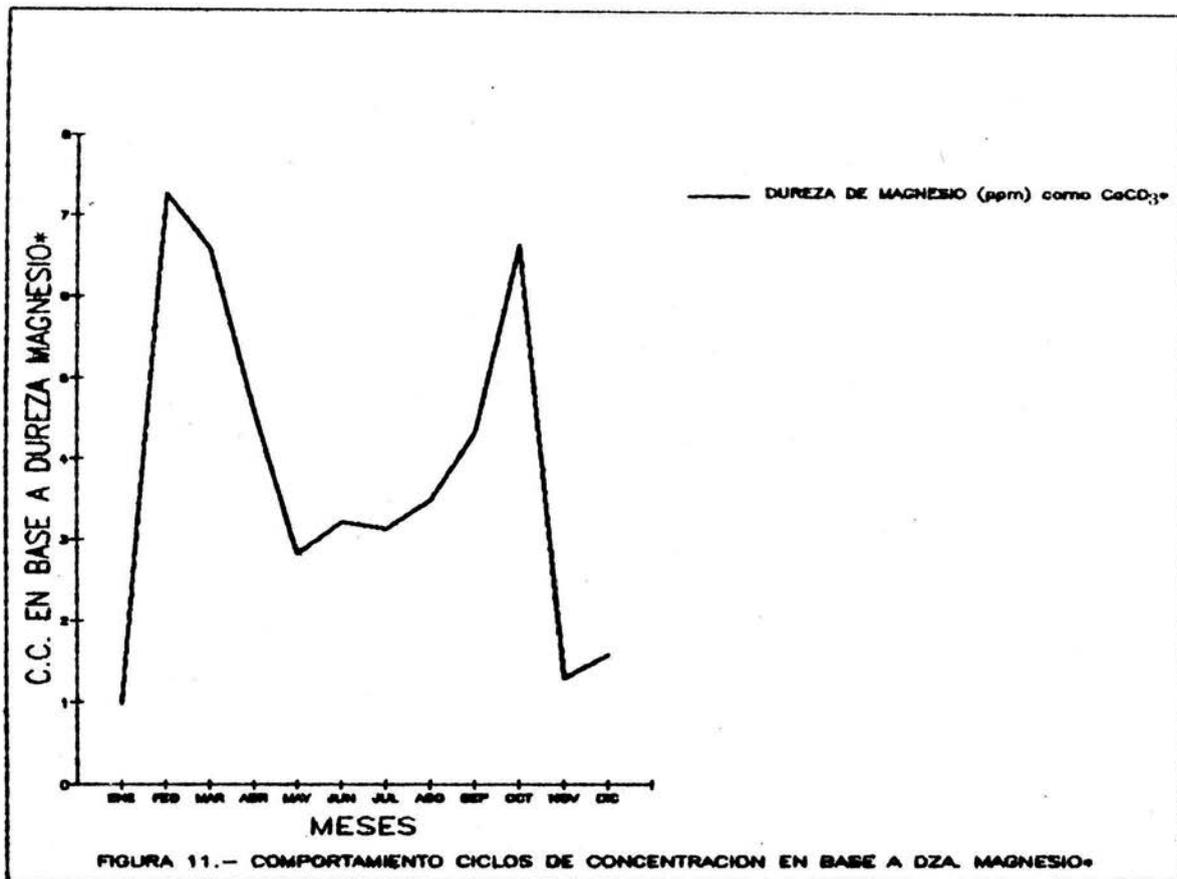


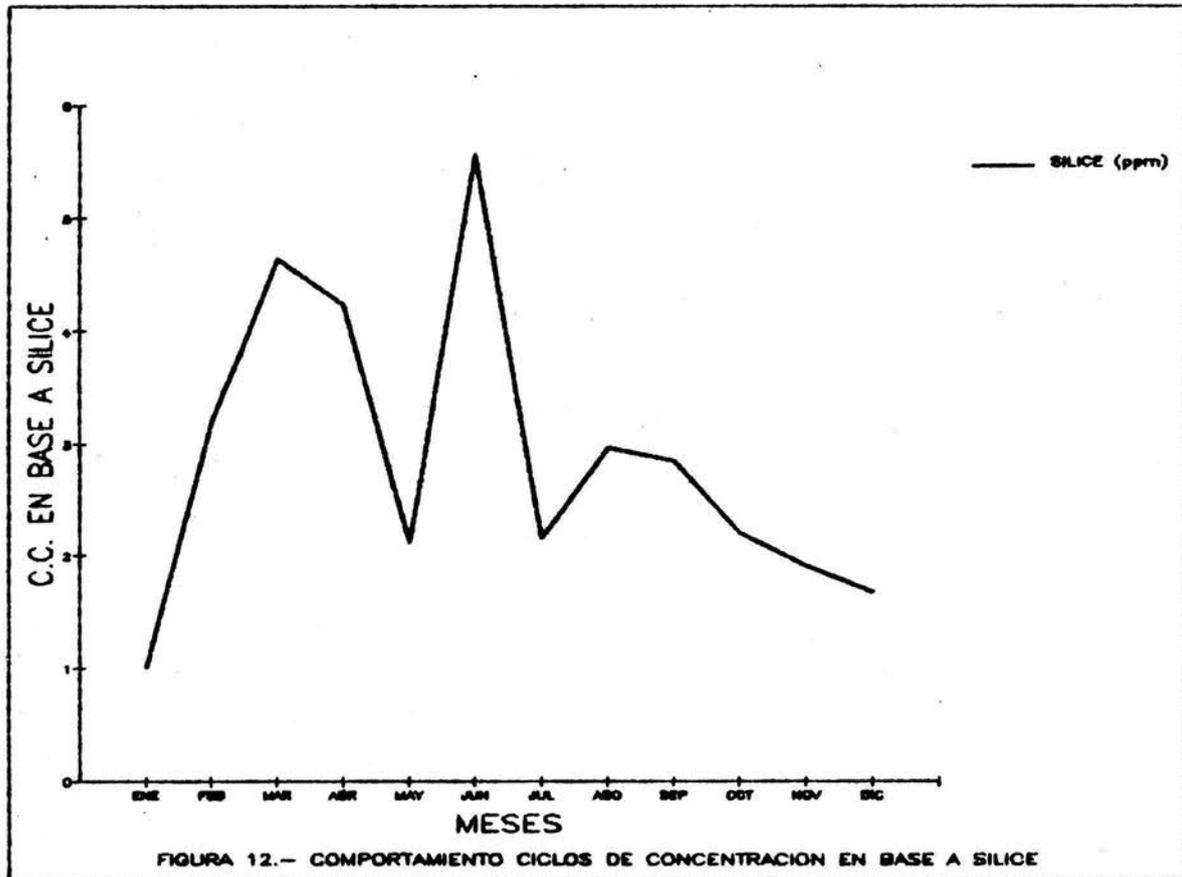


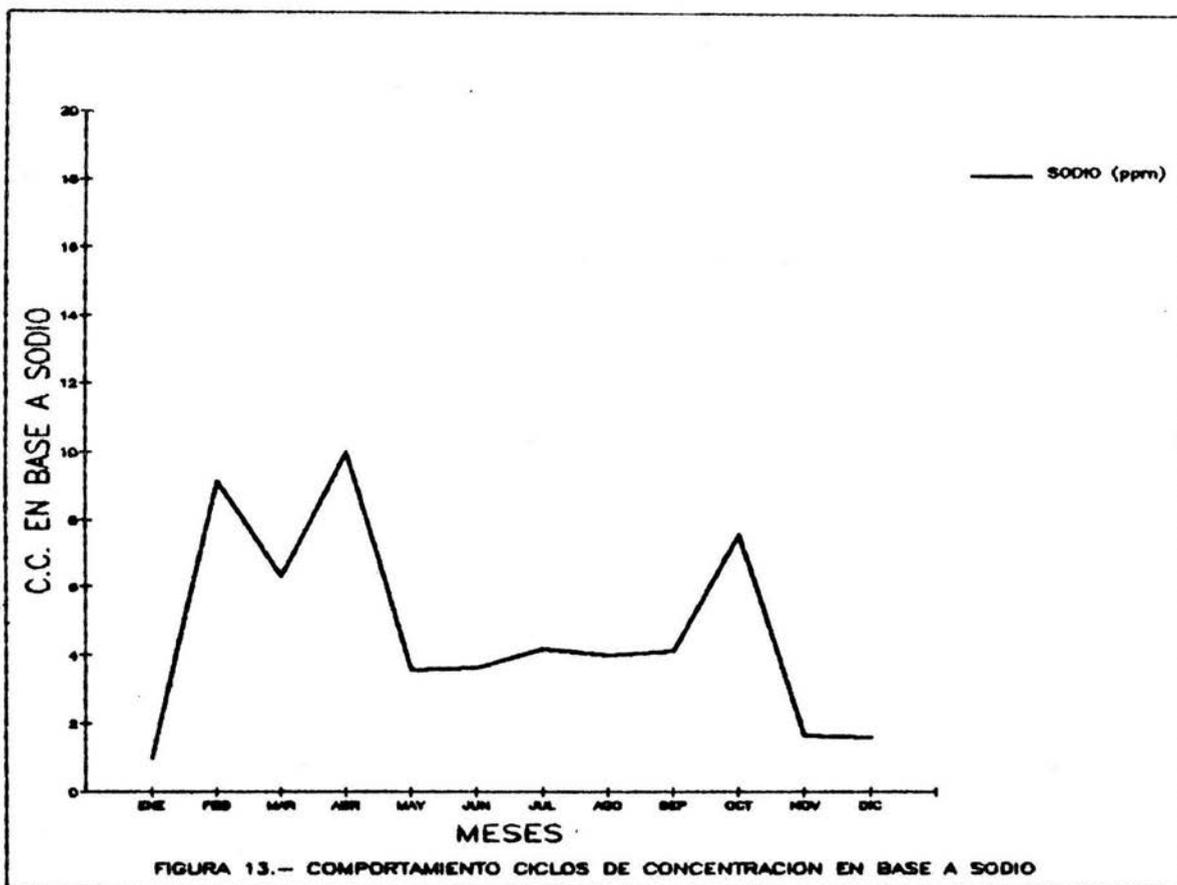


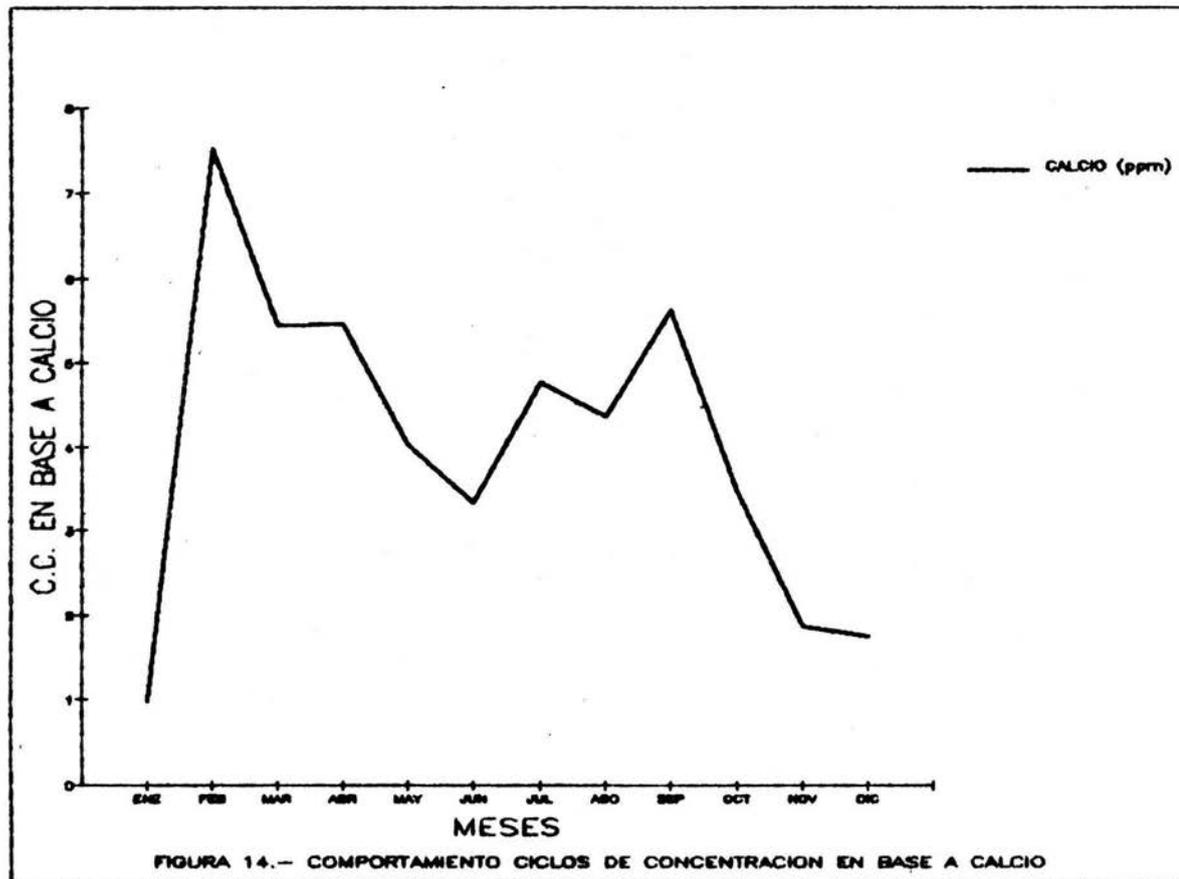


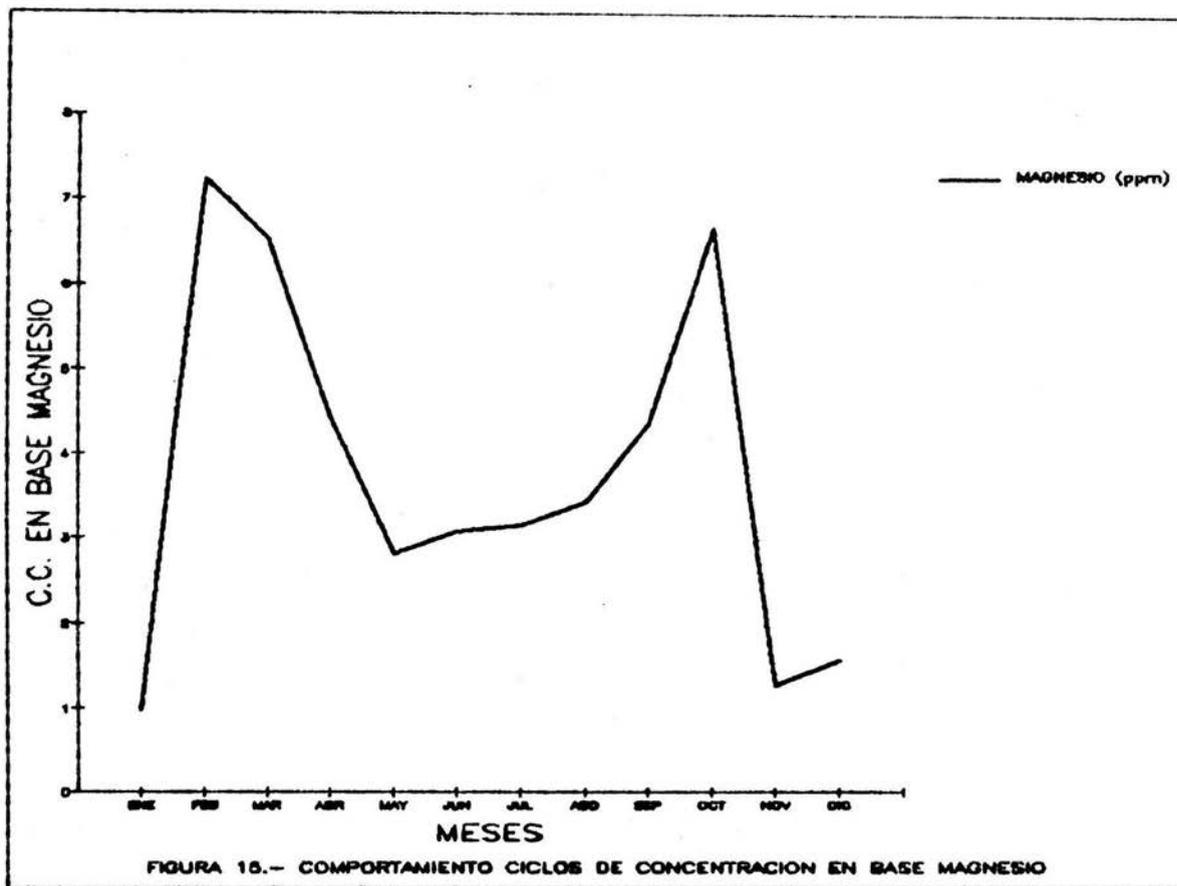


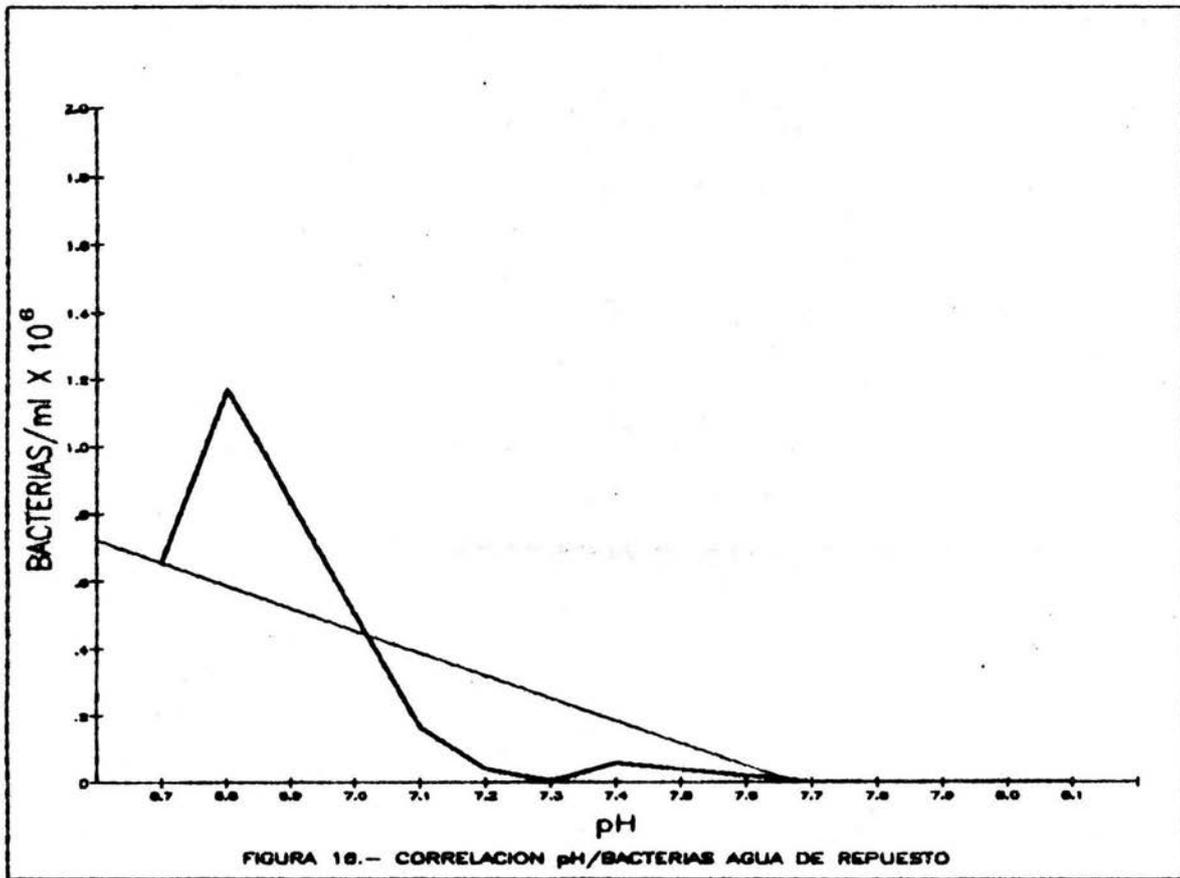


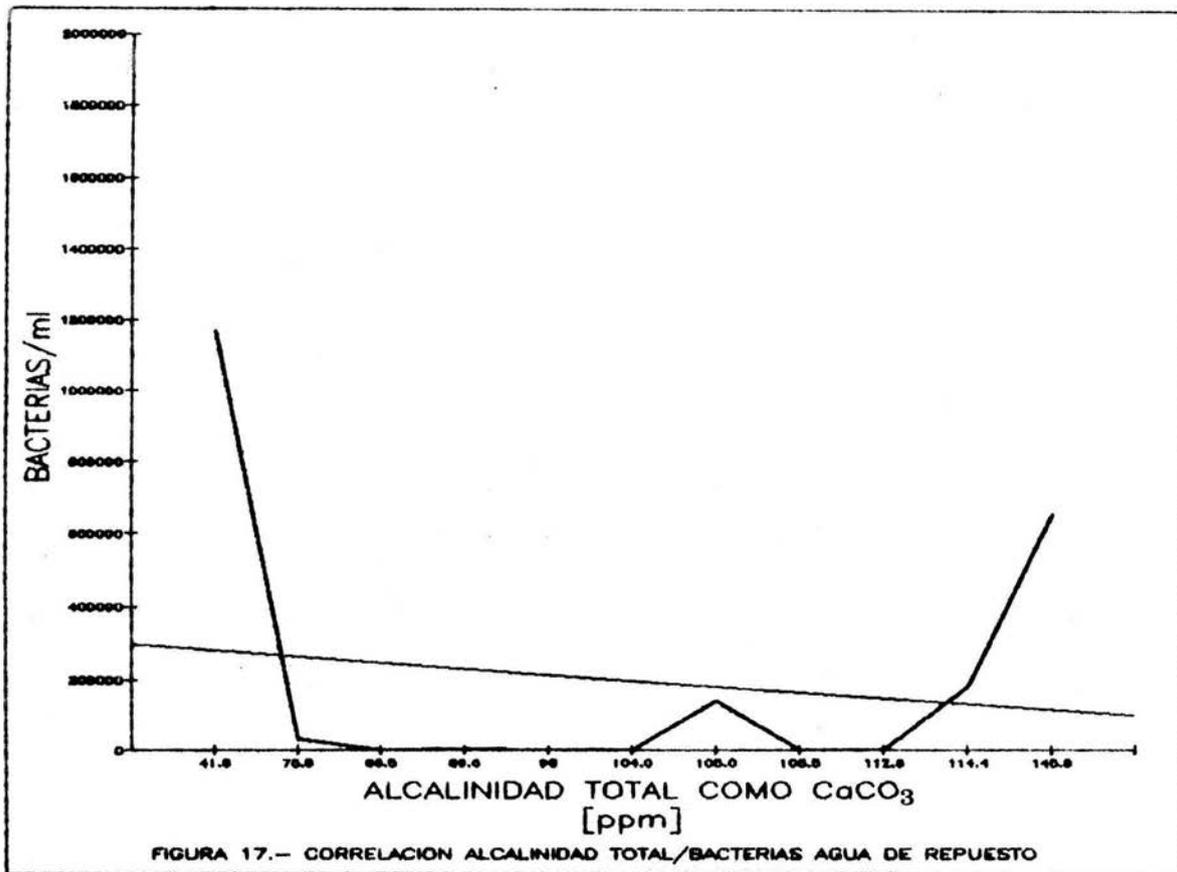


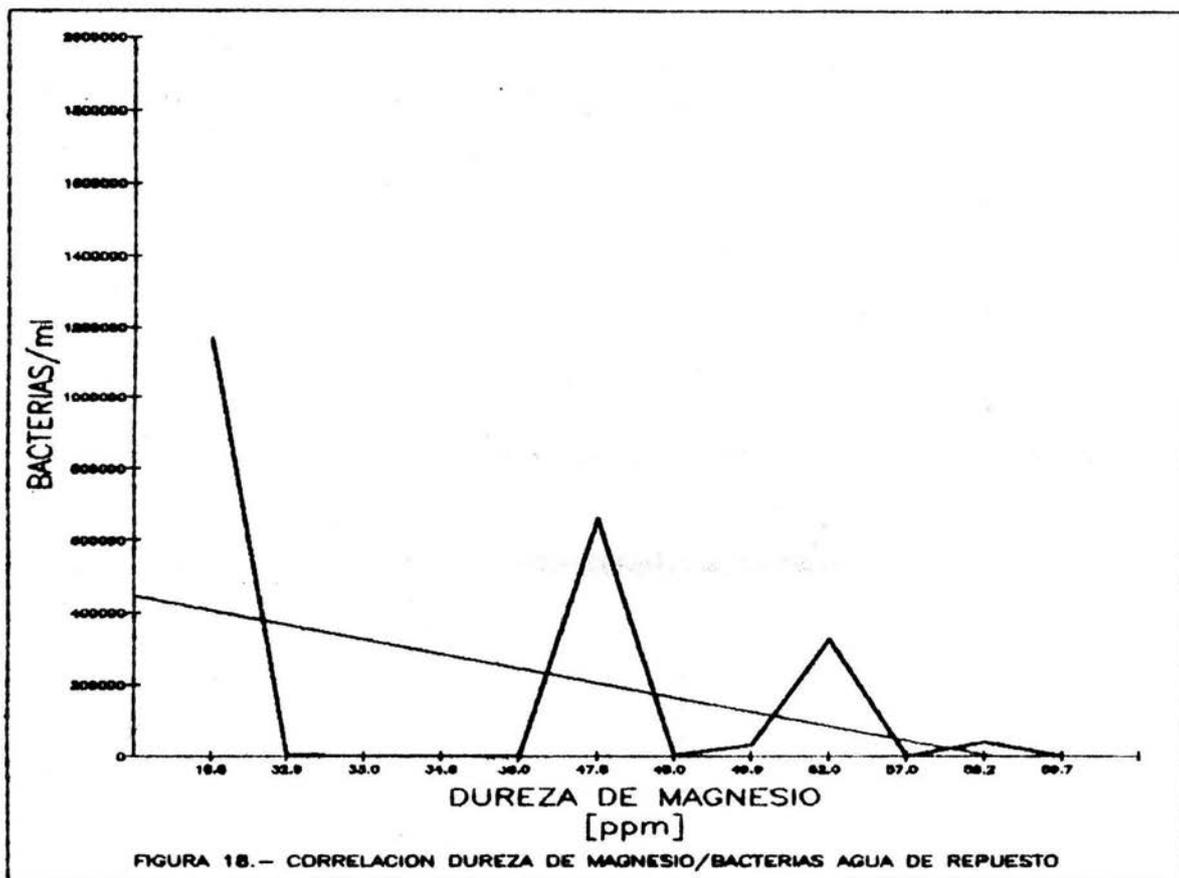


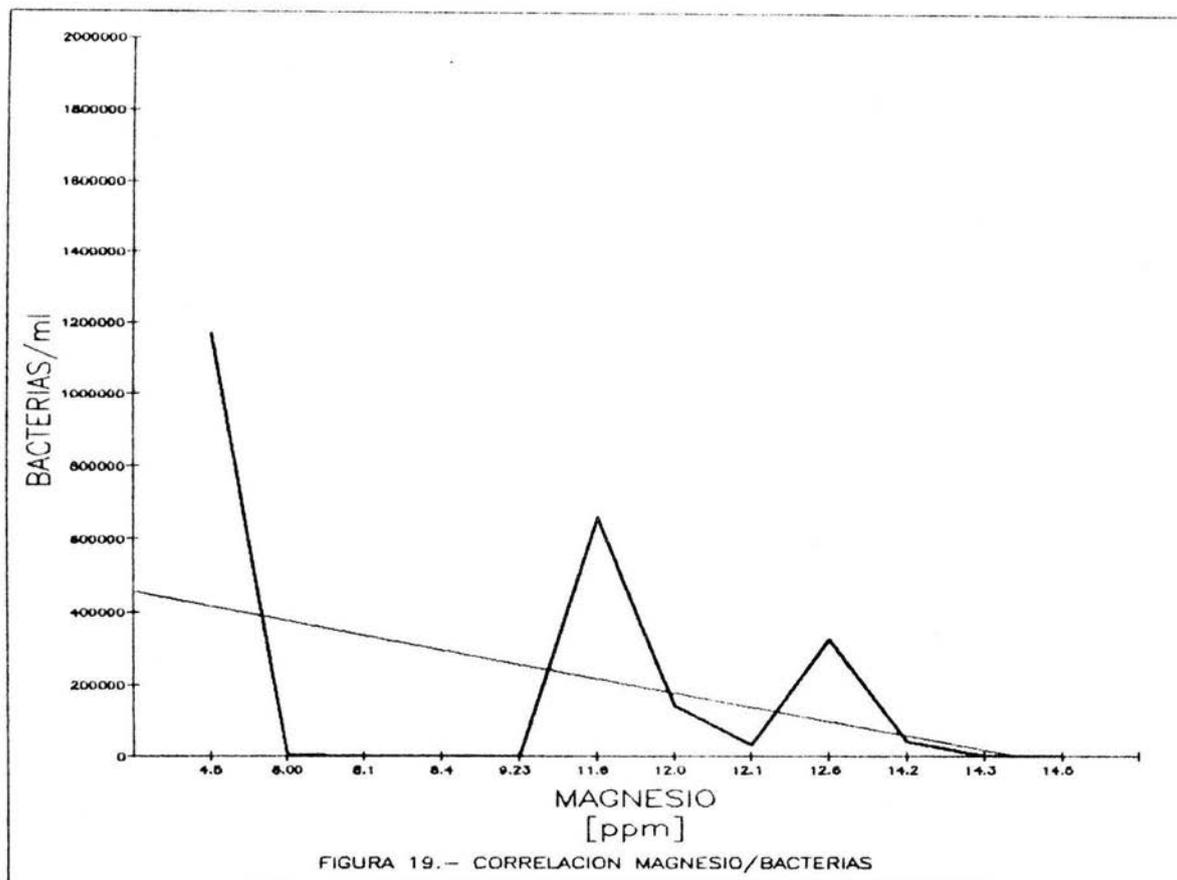


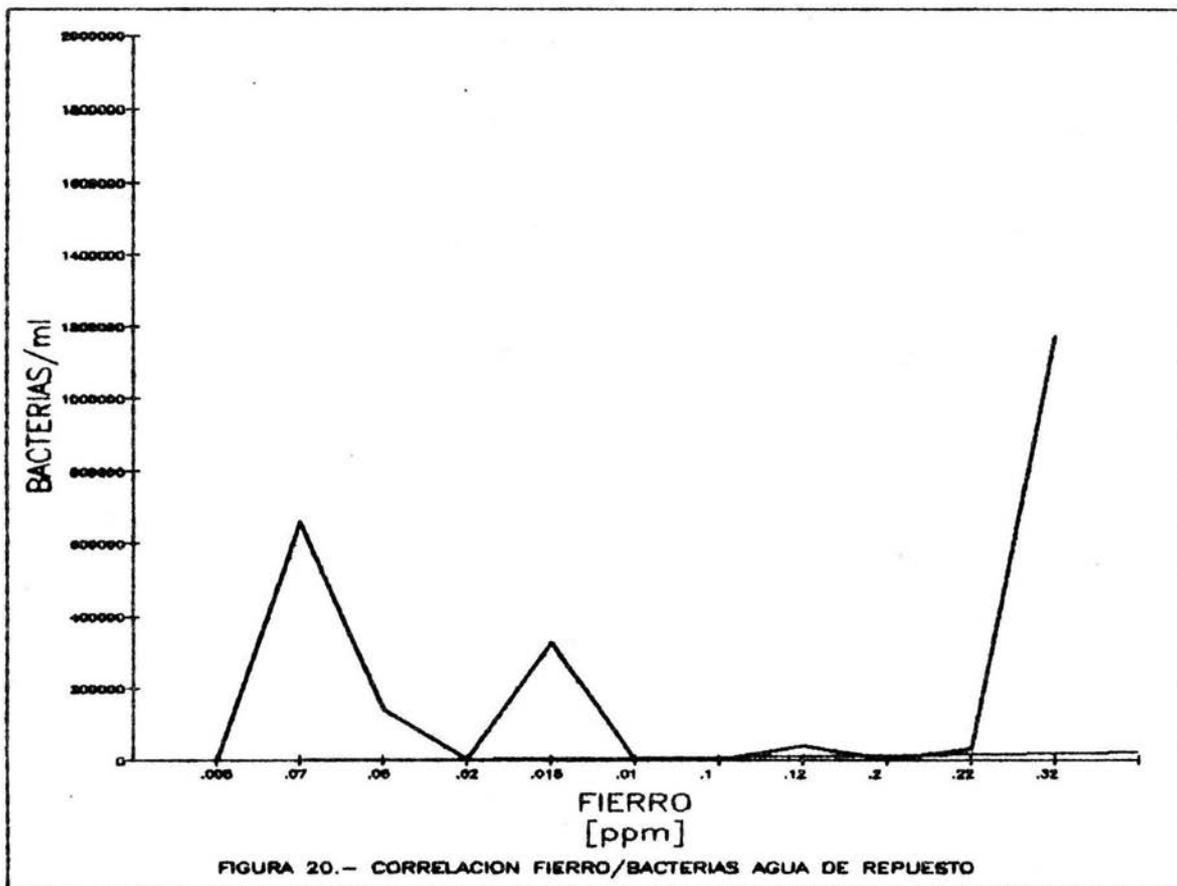












	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	.....	1														
2	.885	.....														
3			.....		1				1							
4				.....										1		
5			0.628		.....									1		
6						.....										
7							.....									
8			0.724					.....								
9			0.596						.....							
10										.....						
11				0.981							.....					
12			0.619		0.999							.....				
13													.....			
14			.885											.....		
15															.....	
16																.....

FIGURA 21.- ABOL EN REPUESTO: COEFICIENTES DE CORRELACION (r) 0.9594 ]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	.....	1																
2	0 947	.....																
3			.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4			0 847	.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5			0 847	0 946	.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6			0 847	0 945	0 947	.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7			0 709	0 764	0 814	0 757	.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8			0 809	0 846	0 856	0 778		.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9			0 809	0 940	0 947	0 902	0 910	0 844	.....	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10			0 847	0 947	1 000	0 946	0 815	0 854	0 944	.....	1	1	1	1	1	1	1	1
11			0 877	0 948	0 964	1 000	0 744	0 778	0 877	0 963	.....	1	1	1	1	1	1	1
12			0 854	0 977	0 977	0 920	0 810	0 830	0 947	0 978	0 918	.....	1	1	1	1	1	1
13			0 758	0 977	0 959	0 926	0 739	0 739	0 975	0 963	0 923	0 959	.....	1	1	1	1	1
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		

FIGURA 22 - AREA DE RECIPROCALACION COEFICIENTES DE CORRELACION ( P > 0.0004 )

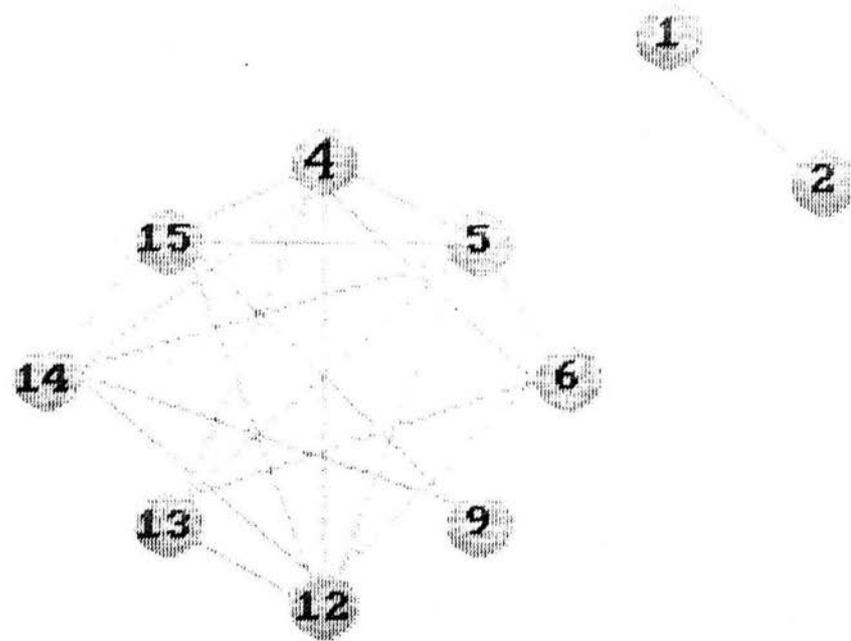
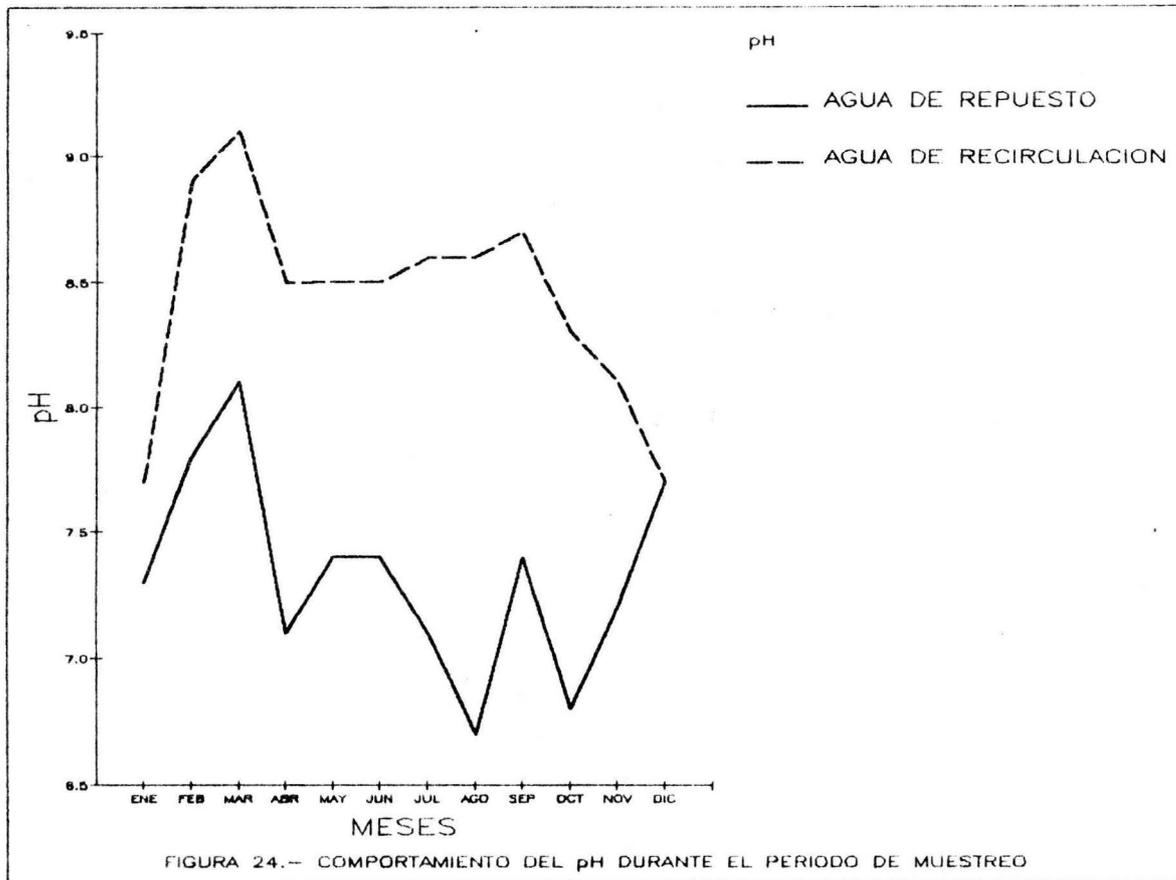
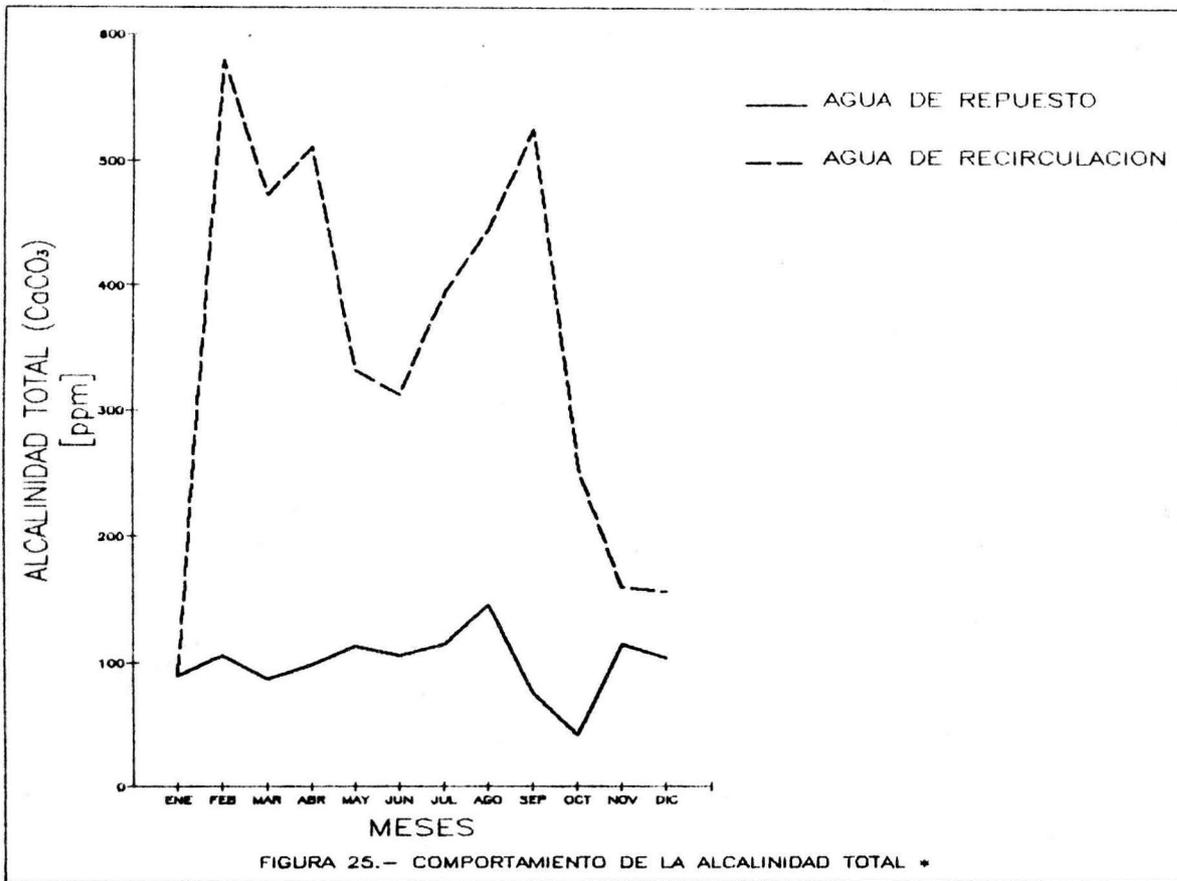
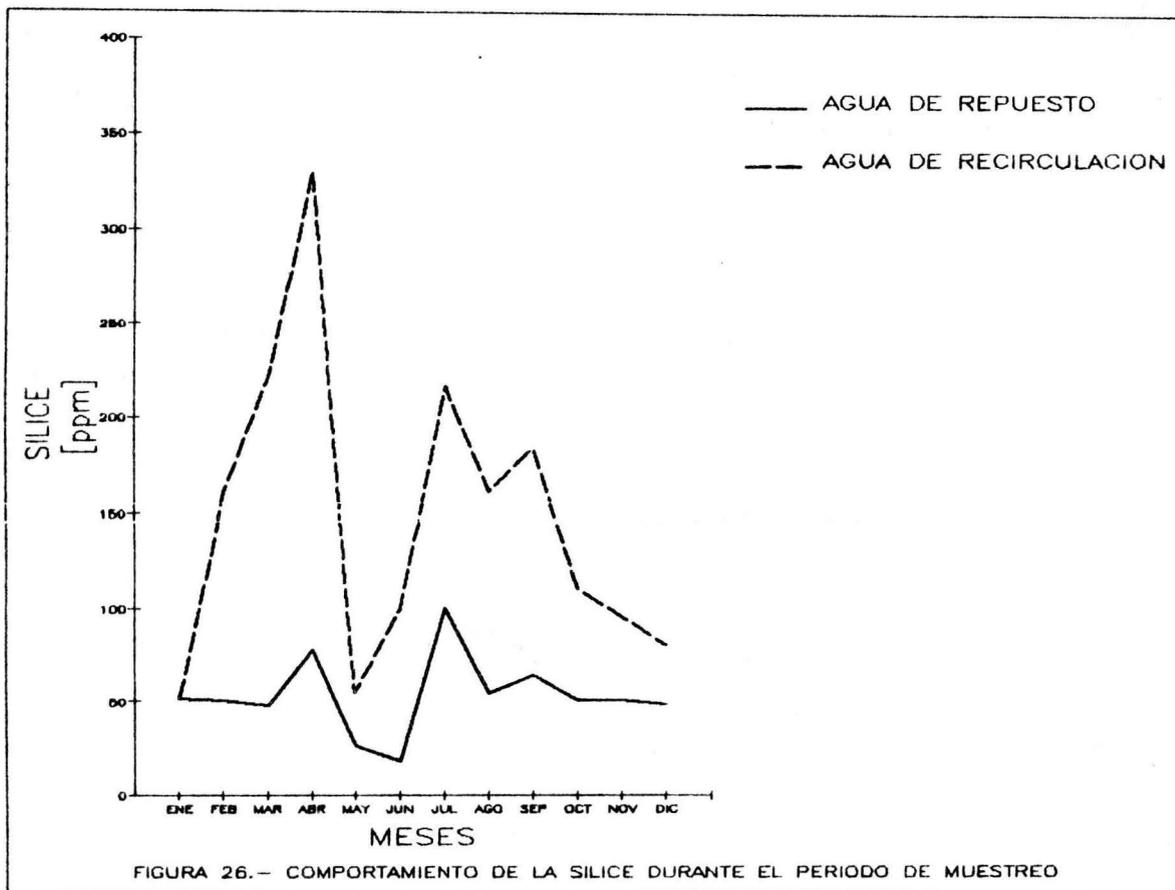
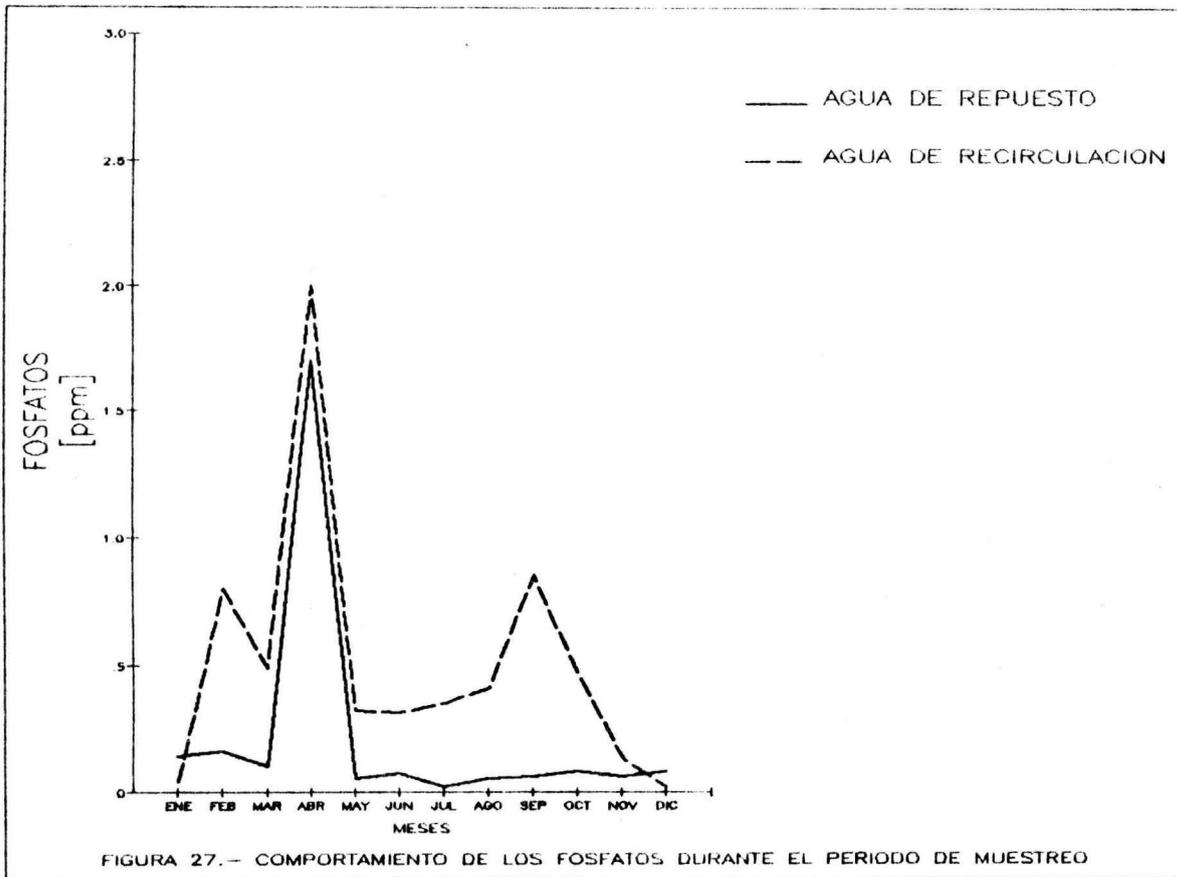


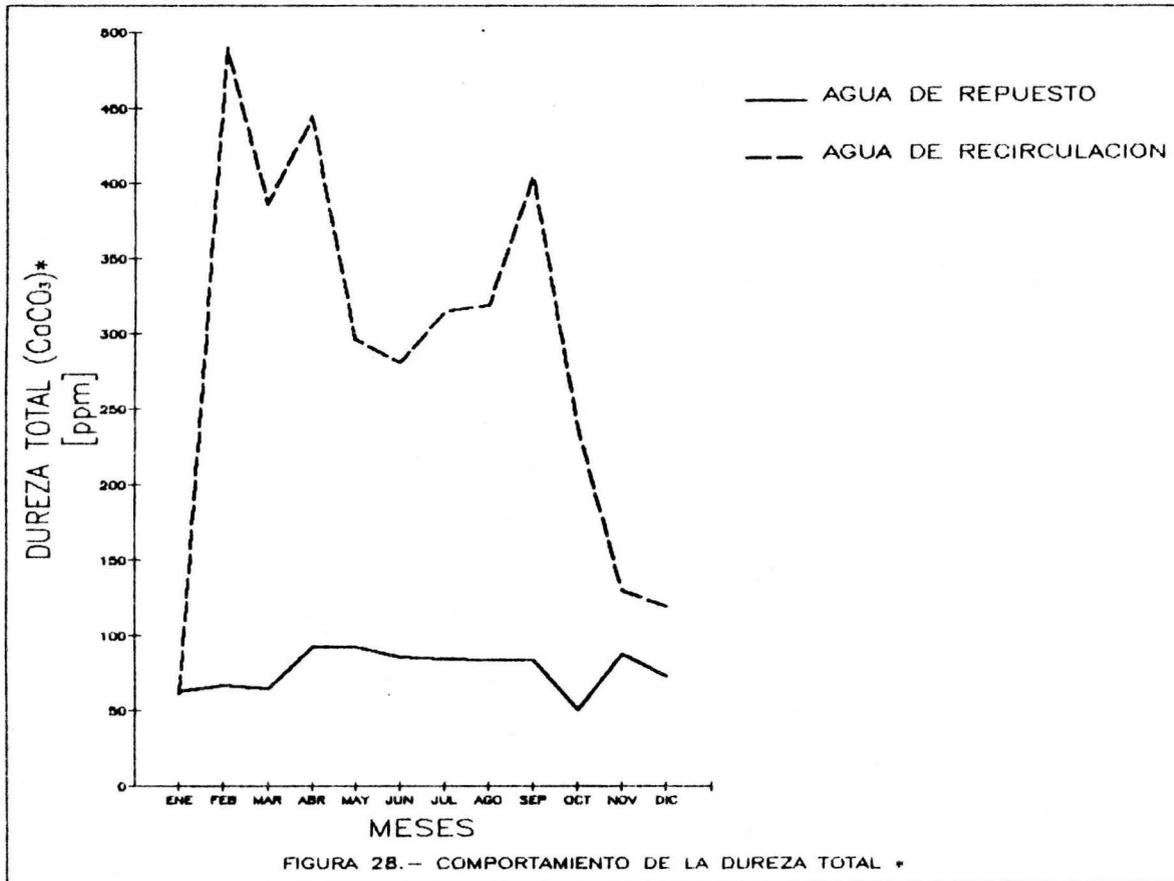
FIGURA 23.- DIAGRAMA DE MALLA, AGUA DE RECIRCULACION  
PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS











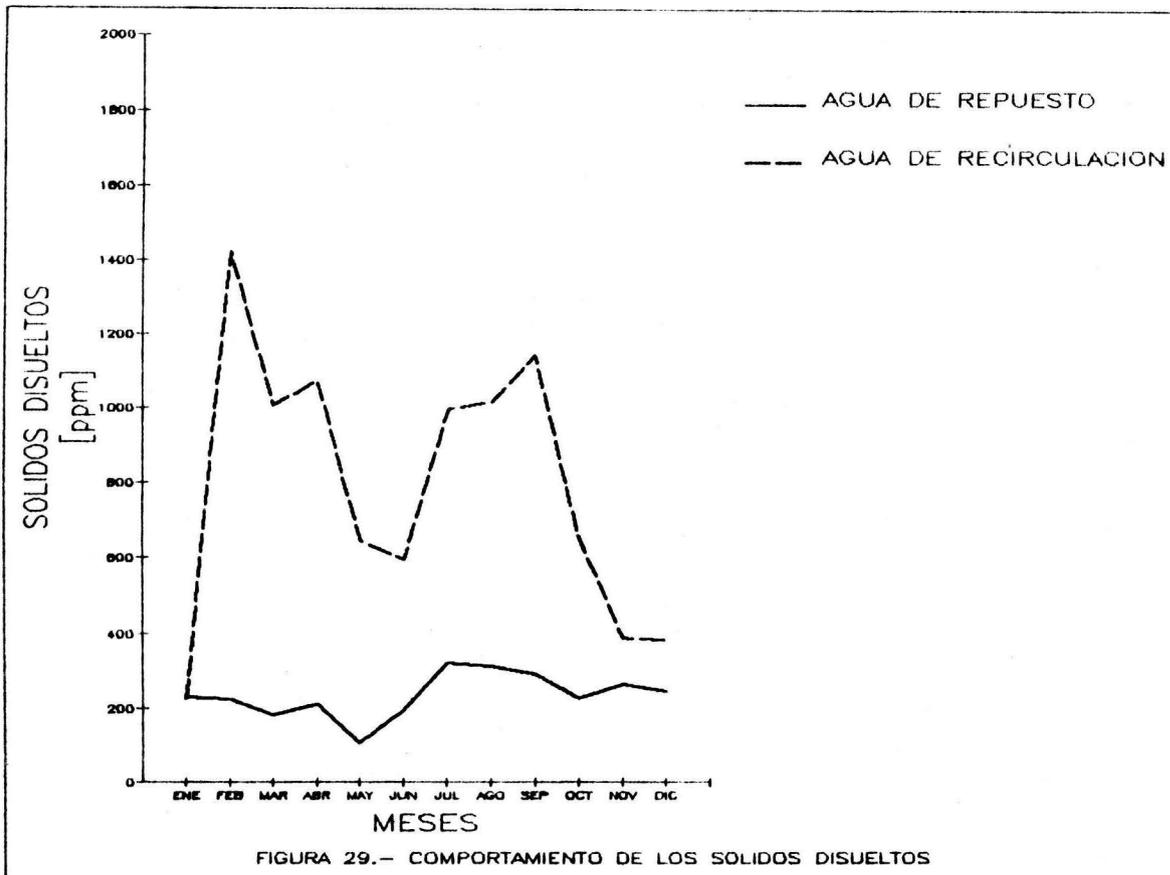


TABLA 1.- RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS

M E S	AGUA DE REPUESTO		AGUA DE RECIRCULACION	
	C.T.B. (BACT/ml)	B.S.R./100 ml	C.T.B. (BACT/ml)	B.S.R./100 ml
ENERO	2,400	0	105,000	0
FEBRERO	0	0	0	0
MARZO	85	0	387,000	0
ABRIL	1	0	270,000	9
MAYO	4	0	2'160,000	1,100
JUNIO	140,000	0	570,000	0
JULIO	325,000	0	600,000	4
AGOSTO	660,000	0	400,000	0
SEPTIEMBRE	30,000	7	13,600	0
OCTUBRE	1'170,000	0	650,000	0
NOVIEMBRE	39,000	0	95,000	0
DICIEMBRE	520	0	3,000	0

TABLA 2.- RESULTADOS ANALITICOS AGUA DE REPUESTO.

M E S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M E S	BACT/ ml	pH	Alk M	Dza. Ca	Dza. Mg	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Na	Fe	Cu	Ca	Mg	SOLID. DISUOL.	CONDUCC. TIVIDAD.	T °C
ENERO	0.00240	7.3	.895	2.92	3.29	0.4	0.14	2.38	.020	0.015	1.17	.8	2.3	0	2.3
FEBRERO	0.00000	7.8	1.055	3.14	3.43	0.56	0.16	2.57	.005	0.015	1.26	0.84	2.25	0.0	2.3
MARZO	.000035	8.1	.865	3.10	3.30	1.36	0.1	2.32	.010	0.01	1.24	0.81	1.82	2.5	2.3
ABRIL	.000001	7.1	0.98	3.5	5.7	0.4	1.7	1.7	.170	0.09	1.34	1.43	2.1	3.0	2.5
MAYO	.000004	7.4	1.123	3.18	5.97	0.8	0.05	2.46	.100	0.035	1.27	1.45	1.06	2.8	2.5
JUNIO	.140000	7.4	1.05	3.7	4.8	0.6	0.07	1.9	.050	0.02	1.50	1.20	1.93	2.8	2.5
JULIO	.325000	7.1	1.14	3.2	5.2	1.1	0.02	3.0	.015	0.00	1.37	1.36	3.22	3.0	2.5
AGOSTO	.660000	6.7	1.453	3.53	4.73	0.75	0.05	3.33	.070	0.10	1.41	1.16	3.14	4.03	2.3
SEPTIEMBRE	.030000	7.4	0.756	3.33	4.99	0.93	0.06	3.09	.220	0.13	1.33	1.21	2.923	3.0	2.1
OCTUBRE	1.1700	6.8	0.416	3.12	1.83	1.4	0.08	1.07	.320	0.24	1.25	0.45	2.266	2.9	2.1
NOVIEMBRE	.0390	7.2	1.14	2.91	5.82	1.05	0.06	2.6	.120	0.12	1.16	1.42	2.65	3.8	2.1
DICIEMBRE	.000052	7.7	1.04	3.4	3.8	1.05	0.00	2.64	.200	0.70	1.36	0.923	2.46	2.5	2.5
	x 10 <sup>8</sup>		x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>1</sup>	x 10 <sup>1</sup>	x 10 <sup>1</sup>		x 10 <sup>1</sup>			x 10 <sup>1</sup>	x 10 <sup>1</sup>	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>1</sup>

TABLA 3.- RESULTADOS ANALITICOS AGUA DE RECIPULACION

M E S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	RACT/ ml	BSR/ 100ml	pH	Alk M	Dza. Ca	Dza. Mg	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Na	Fe	Cu	Ca	Mg	SOLID. DISUEL	CONDUC. TIVID.	T C
ENERO	0.105	0.00	7.7	0.915	0.287	0.322	0.04	0.04	0.224	0.02	0.015	1.15	0.78	0.226	0.00	3.4
FEBRERO	0.000	0.00	8.9	5.81	2.37	2.53	2.64	0.80	2.35	0.005	0.015	9.48	6.07	1.423	0.00	3.4
MARZO	0.387	0.00	9.1	4.72	1.69	2.17	1.376	0.49	1.46	0.43	0.40	6.76	5.29	1.005	1.200	3.4
ABRIL	0.270	0.009	8.5	5.11	1.83	2.61	1.36	2.00	1.70	0.18	0.14	7.32	6.34	1.070	1.500	3.6
MAYO	2.16	1.10	8.5	3.309	1.274	1.681	0.84	0.32	0.879	0.1	0.053	5.10	4.08	0.642	0.850	3.35
JUNIO	0.570	0.075	8.5	3.12	1.26	1.54	0.60	0.31	0.69	0.07	0.02	5.0	3.70	0.594	0.780	3.05
JULIO	0.600	0.004	8.6	3.94	1.51	1.63	0.74	0.35	1.25	0.015	0.00	6.05	3.97	0.995	1.025	3.1
AGOSTO	0.400	0.00	8.6	4.452	1.518	1.664	1.435	0.41	1.55	0.08	0.03	6.15	3.97	1.012	1.315	2.3
SEPTIEMBRE	0.0136	0.00	8.7	5.254	1.872	2.163	0.540	0.85	1.270	0.17	0.15	7.49	5.26	1.138	1.300	2.3
OCTUBRE	0.650	0.00	8.3	2.53	1.08	1.25	1.108	0.47	0.808	0.28	0.5	4.33	3.00	0.651	0.750	2.3
NOVIEMBRE	0.095	0.00	8.1	1.596	.541	.749	0.320	0.13	0.424	0.20	0.08	2.16	1.82	0.389	0.400	2.4
DICIEMBRE	0.003	0.00	7.7	1.56	.59	.60	0.288	0.02	0.416	0.05	0.03	2.36	1.46	0.382	0.390	2.2

X 10<sup>8</sup>

X 10<sup>3</sup>

X 10<sup>2</sup>

X 10<sup>2</sup>

X 10<sup>2</sup>

X 10<sup>2</sup>

X 10<sup>2</sup>

X 10<sup>1</sup>

X 10<sup>1</sup>

X 10<sup>3</sup>

X 10<sup>3</sup>

X 10<sup>1</sup>

TABLA 4.- CORRELACIONES COMBINADAS AGUA DE REPUESTO.

VARIABLE y	VARIABLE x	t (SIGNIFICATIVA)	t (TABLAS)	COEF.REG.
Bact./ ml.	pH	2.818	2.282	-0.685
pH	CONDUC.ELEC.	2.686	2.327	-0.689
ALK.TOT.(M)	DZA.MAGNESIO	2.553	2.246	0.628
ALK.TOT.(M)	SODIO	3.321	2.246	0.724
ALK.TOT.(M)	FIERRO	2.349	2.246	-0.596
ALK.TOT.(M)	MAGNESIO	2.495	2.246	0.619
DZA.CALCIO	CALCIO	16.096	2.246	0.981
DZA.MAGNESIO	MAGNESIO	65.525	2.246	0.999

TABLA 5.- CORRELACIONES COMBINADAS AGUA DE RECIRCULACION  $r > 0.95$ 

VARIABLE y	VARIABLE x	t (SIGNIFICATIVA)	t (TABLAS)	COEF.REG.
Bact./ ml.	SULFATO RED.	8.593	3.536	0.987
ALK.TOT.(M)	DZA.CALCIO	18.406	2.246	0.986
ALK.TOT.(M)	DZA.MAGNESIO	12.371	2.246	0.969
ALK.TOT.(M)	CALCIO	19.182	2.246	0.987
ALK.TOT.(M)	SOL.DIS.	14.44	2.246	0.977
ALK.TOT.(M)	MAGNESIO	12.111	2.246	0.968
ALK.TOT.(M)	CONDUC.ELEC.	13.1	2.327	0.977
DZA.MAGNESIO	CALCIO	11.762	2.246	0.966
DZA.MAGNESIO	MAGNESIO	178.126	2.246	1.000
DZA.CALCIO	DZA.MAGNESIO	11.928	2.246	0.967
DZA.CALCIO	CALCIO	226.626	2.246	1.000
DZA.CALCIO	MAGNESIO	11.452	2.246	0.964
DZA.CALCIO	SOL.DIS.	14.425	2.246	0.977
DZA.CALCIO	CONDUC.ELEC.	9.6	2.327	0.959
SODIO	SOL.DIS.	12.032	2.246	0.967
SODIO	CONDUC.ELEC.	12.343	2.327	0.975
CALCIO	MAGNESIO	11.291	2.246	0.963
CALCIO	SOL.DIS.	14.979	2.246	0.978
CALCIO	CONDUC.ELEC.	10.096	2.327	0.963
SOL.DIS.	CONDUC.ELEC.	9.579	2.327	0.959

TABLA 6.-RESULTADOS DEL ACONDICIONAMIENTO QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

M E S	TENDENCIA DEL AGUA <sup>1</sup>	INDICE DE ESTABILIDAD <sup>2</sup>	FOSFATOS <sup>1</sup>	p H <sup>1</sup>	ALCALINIDAD TOTAL <sup>1</sup>	DUREZA TOTAL <sup>1</sup>	SILICE <sup>1</sup>	FIERRO <sup>1</sup>	CTA.TOT. BACT. <sup>2</sup>	CTA.TOT. BACT. <sup>1</sup>	BACTERIAS SULFATOREDUCTORAS <sup>1</sup>	CICLOS DE CONC. <sup>2</sup>
ENERO	C	8.1	0.04	7.7	91.5	60.9	51.5	0.02	2400	105000	0	1.14
FEBRERO	I	3.44	0.80	8.9	561.0	490.0	50.0	0.005	0	0	0	8.370
MARZO	I	3.7	0.49	9.1	472.0	386.0	47.5	0.43	85	387000	0	6.30
ABRIL	I	5.1	2.00	8.5	511.0	444.0	76.0	0.18	1	270000	9	5.8
MAYO	I	5.7	0.32	8.5	330.9	295.5	26.0	0.10	4	2160000	1100	2.86
JUNIO	I	5.78	0.31	8.5	312.0	280.0	16.0	0.07	140000	570000	75	3.30
JULIO	I	5.3	0.35	8.6	394.0	314.0	100.0	0.015	325000	600000	4	4.60
AGOSTO	I	5.6	0.41	8.6	495.2	318.2	54.0	0.08	660000	400000	0	4.00
SEPTIEMBRE	I	5.3	0.85	8.7	525.4	403.5	64.0	0.17	30000	13600	0	6.00
OCTUBRE	A	7.0	0.47	8.3	253.0	233.0	50.0	0.28	1170000	650000	0	2.20
NOVIEMBRE	C	7.8	0.13	8.1	159.6	129.0	50.0	0.20	39000	950000	0	1.00
DICIEMBRE	C	7.98	0.02	7.7	156.0	119.0	48.0	0.05	520	3000	0	1.62

<sup>1</sup> AGUA DE RECIRCULACION

<sup>2</sup> AGUA DE RECIRCULACION/AGUA DE REPUESTO

<sup>3</sup> AGUA DE REPUESTO

**B I B L I O G R A F I A**

**APHA, AWWA y WPCF, 1975. Standard methods for the examination of waste and wastewater. Ed. Am. Pub. Health Assoc. 14 ed. pp 1193. USA.**

**ASTM, 1970. Standard Methods of test evaluating acute toxicity of water to fresh water fishes.**

**ATKINSON, A., 1974. Biocides in cooling systems. Process Biochemistry. October. pp 31.**

**AWWA, 1968. Agua su calidad y tratamiento. Ed. Hispano Americana, México. pp 564.**

**BOTT, T. B., MILLER, P.C. & PATEL, T.D., 1973. Biofouling in an industrial cooling water system. Process Biochemistry, January/February: 10-13 y 18.**

**BRAUNGARTNER, A.W., 1962. Microbiological corrosion-what causes it and how it can be controlled. Jour. of petroleum technology. October: 1074-1078.**

**DRYERS, J. B. & CHARACKLIS, 1977. A mathematical simulation of microbial fouling in water supply systems. Department of Environmental Science and Engineering. Rice University. pp 20.**

**C.I.E.C.C.A., S.R.H., 1962. Manual del curso de análisis de aguas y aguas de desecho. México, Vols. I y II.**

**C.I.E.C.C.A., S.R.H., 1963. Microbiología y aplicaciones en los procesos biológicos de tratamiento de aguas. México.**

**DANIEL, V.W., 1977. Biostatística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa, México, pp. 485.**

**DE LA GARZA, A., 1976. Los microorganismos en aguas de proceso. Memorias VIII Convención de Ingenieros Químicos de la C.F.E. México 8, 9 y 10 Junio.**

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1964. Manual de tratamiento de aguas. Limusa, Mexico, pp. 205.

DREILER, R.C., 1971. Cooling tower water treatment. June: Ia -IXc.

DUBELCCO, D., 1972. Tratado de Microbiología. Ed. Omega, 2a. ed. Barcelona, España. pp.

EDDY, R.E., 1960. Programming results in microbial control. Walco Chemical Co., December. Chicago, Illinois. 43 (12): 1-3.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY ES.72.033. 1973. Water Quality Criteria, 1972. Ecological Research Series N.A.S., Washington, D.C.

GEEM, J. A. & HINDMAN, J. M., 1961. Steam spraying microbiocides protects cooling-tower wood. Oil & Gas Jour., Chicago, August, Bulletin 110: 1-4.

GRIER, J.C. & CHRISTENSEN, R.J., 1976. Microbiological control in alkaline cooling water systems. In: Memoria National Association of corrosion engineering. Ontario, Canada. April 16:1-6.

HARRIS, C., 1971. Biocides-methods of application. Process Biochemistry, November: 15-18 y 26.

HAUPT, T. 1978. Cycle control cuts cooling-tower costs. Logic Control Systems. September: 489-491.

HURST, E. H., 1955. Factors other than mineral content which influence the corrosive of cooling water. National Association of Corrosion. Texas. October: 16-21.

HURST, E.H., 1969. Scale, corrosion and microbiological growth must all be considered in the selection of treatment for cooling waters. Actual Specifying Engineer. 2 (2): 1-6.

JAY, J.M., 1970. Modern Food Microbiology. Van Nostrand Reinhold Co, New York, pp. 328.

- KELLY, B.J. & PUCKORIUS, P. R., 1963. Waterside fouling and scaling of heat exchange equipment. National Association of Corrosion Engineers. Kansas, City. October. pp 9.
- KEMNER, F.N. & Mc CALLION, J., 1979. Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Mc Graw-Hill, México, pp. 43-20.
- KLEME, D.E. & HEIHOF, B.A., 1976. An evaluation in large-scale test systems of biocides for control of sulfate-reducing bacteria in shipboard fuel tanks. Naval Research Laboratory, Washington, D.C. January: 1-15.
- KOBBIN, G. 1976. Microbiological for oil people ... corrosion in natural water. du Pont de Nemours and Co., Inc. Beaumont, Texas: 1-2.
- Le CHEVALLIER & Mc FETERS, G.A. 1965. Enumerating injured coliforms in drinking water AWWA. Research & Technology. June: 81-87.
- LEE, J.W. & FREYMARK, S. G., 1978. Microbial control in process contaminated cooling systems. Oiling Water Services. October 31, November 1 y 2, Bulletin IWC-78-13: 1-15.
- LEHNINGER, A.L., 1979. Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular. Omega, 2a. ed, Barcelona, pp. 1117.
- LUTEY, R., 1960. Corrosión microbiológica. Buckman Laboratories, Inc. Illinois, Bulletin 37: 1-11.
- MASKEW, G. F., et al. 1968. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. Limusa-Wiley, México.
- Mc COY, J.W., 1974. The chemical treatment of cooling water. Chemical Publishing Co., New York, pp. 237.
- MEHNIE, A., 1971. Biocides in cooling systems. Process Biochemistry, November: 21-22 y 36.

- MOORE, B.H., 1961. Development of methods for enumerating of sulfate-reducing bacteria and of her sulfide-formers. Microbiology group Leader, Research Division, Petrolite Corporation. 26(12):16-20.
- NALCO CHEMICAL COMPANY. Introducción al tratamiento de agua para enfriamiento. Chicago, Illinois. Boletín 34: 1-16.
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS, 1971. Cooling water treatment manual. Technical Practices Committee, Houston, Texas. pp 35.
- NORDEL, E., 1981. Tratamiento de agua para la industria y otros usos. C.E.C.S.A., México, pp. 641.
- OPPERMAN, R.A. & WOLFSON, L.L., 1961. Mechanisms of slime formation. Oil & Gas Jour., Chicago, December, Bulletin 116:1-5.
- PETREY, E.G., 1973. The role of cooling water systems and water treatment in achieving zero discharge. Petrolite Corp. pp 12.
- PISIGAN, R.A. & SINGLEY, J.E., 1985. Calculating the pH of calcium carbonate saturation. Jour. AWWA. October: 83-91.
- POWELL, S.T., 1966. Acondicionamiento de aguas para la industria. Limusa, México, pp. 631.
- PUCKORIUS, P. R., 1978. Controlling corrosive microorganisms in cooling water systems. P.R. Puckorius & Associates, Inc. Cleveland. October: 486-489.
- PUCKORIUS, P. R., 1978. Pretreatment-the key of effective protection of cooling water systems. Halco Chemical Co. Chicago, Illinois. Bulletin 98: 1-8.
- RUSEKA, I., ROBBINS, J. & COSTERTON, J.W., 1982. Biocide testing against corrosion-causing oil-field bacteria helps control plugging. Oil & Gas Jour., Chicago, March: 106.
- SILVERSTEIN, R.M. & CURTIS, S.D., 1971. Cooling. Chemical Engineering. August: 84-94.

- STEEL, E.W., 1981. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Gustavo Gill, S.A., 5a. ed, Barcelona, pp. 430.
- VICTOREEN, H.T., 1984. Controlling corrosion by controlling bacterial growth. Research and Technology, Jour. AWWA, March: 87-89.
- WALTER, W.G., MC. BEE, E.H. & TEMPLE, K.L., 1980. Introducción a la microbiología. Editorial Continental, S.A. México. p.p. 409.
- WARD, W.J., LEE, J.W. & FREYMARK, S.G., Chlorine versus, chlorine dioxide for ammonia plant bio-control. Oiling Water Services, Kansas, City: 1-18.
- WETEGROVE, R.L. & POCIUS, F.C., 1983. Controlling microorganisms in cooling-water systems. Chemical Engineering. October: 75-78.
- WILLIAMS, O.B., 1958. A comparison of the susceptibility of various strains of sulfate-reducing bacteria to the action of bactericides. Producers Monthly, 22 (10): 12-14.
- WOLFSON, L.L., SONG, P. & NELSON, J.P., 1960. Effective microorganisms control chemical developed for hydrocarbon contaminated cooling water systems. J.P. TAPPI, 43 (10): 161-162A.
- WOLFSON, L.L. & SONG P., 1964. A path to effective microbial control. Naico Chemical Company. Chicago. March, Bulletin 138: 1-4.