

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



FACTORES CORRELACIONADOS CON SABOR Y OLOR DEL  
SISTEMA DE AGUA POTABLE DE WACO, TEXAS  
DURANTE LOS AÑOS 1991-1993

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

PRESENTA

JORGE LUIS SALINAS GOMEZ

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1995

T

TD224

.W3

S2

c.1



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



FACTORES CORRELACIONADOS CON SABOR Y OLOR DEL  
SISTEMA DE AGUA POTABLE DE WACO, TEXAS  
DURANTE LOS AÑOS 1991-1993

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO PARASITOLOGO

PRESENTA

JORGE LUIS SALINAS GOMEZ

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1995

BIBLIOTECA Agronomía U. A. N. L.

12006

ε

T  
TD 224  
.W3



040.628  
FA1  
1995  
C.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

FACTORES CORRELACIONADOS CON SABOR Y OLOR  
DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE WACO, TEXAS  
DURANTE LOS AÑOS 1991-1993.

Tesis presentada por:

JORGE LUIS SALINAS GOMEZ

Revisada por:

  
Ing. CARLOS S. LONGORIA GARZA

Asesor

  
PhD. EMILIO OLIVARES SAENZ

Asesor

  
Ing. RAUL ZAMBRANO BELLOC

Asesor

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1995

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

A la Memoria de mi Padre

## RESUMEN

El Lago Waco suministra de agua potable a la ciudad de Waco, Texas a través de la planta potabilizadora Mount Carmel. En los estudios de la calidad del agua se han detectado períodos de sabor y olor desagradable durante algunos meses del año. Por lo que el abjetivo del presente trabajo fue determinar los factores químicos y físicos que estuvieron asociados con estos eventos en los años 1991, 1992 y 1993. Los factores estudiados fueron: turbidéz, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto, temperatura, % de saturación, cloruros, sólidos totales disueltos, dureza, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, amonia, nitratos y sólidos totales suspendidos.

Para los análisis estadísticos se utilizó la información obtenida para cada año y se dividió en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. Estos períodos fueron comparados en cada una de las variables mediante el uso de análisis de varianza, utilizando el diseño experimental completamente al azar. La relación entre las variables estudiadas se realizó por medio de correlaciones simples, utilizando en ambos análisis estadísticos un nivel de significancia de 0.05.



Los análisis de varianza mostraron que cinco variables fueron determinantes y mostraron correlación con el evento de sabor y olor desagradable en el agua de suministro; las que en orden de importancia son: el oxígeno disuelto, alcalinidad, % de saturación, cloruros y temperatura. Además, se encontró que las variables pH, dureza, amonía, nitratos y demanda bioquímica de oxígeno tuvieron un efecto significativo sólo en alguno de los años bajo estudio. El resto de las variables, de acuerdo a los resultados de los análisis estadísticos, no manifestaron ninguna correlación que explique los eventos de sabor y olor desagradable. Estas fueron: conductividad, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos y la turbidez.

En el estudio se concluyó que las variables con mayor efecto en los eventos de sabor y olor desagradables fueron: oxígeno disuelto y % de saturación. Por lo que se recomendó incrementar el número de aereadores cuando, de acuerdo con los análisis químicos, se espera un evento de sabor y olor desagradable.

## SUMMARY

Lake Waco supplies potable water to the City of Waco, Texas through the Mount Carmel treatment plant. Studies of water quality have shown that there are several months during the year of disagreeable taste and odor in the water. Therefore, the objective of this study was to determine the chemical and physical factors that could be associated with these events during the years 1991, 1992 and 1993. The factors under study were: turbidity, alkalinity, pH, dissolved oxygen, temperature, % of saturation, chlorides, total dissolved solids, hardness, conductivity, biochemical oxygen demand, ammonia, nitrates and total suspended solids.

Information obtained for each year was divided into two periods: absence and presence of disagreeable taste and odor. These periods were compared for each variable using an ANOVA table, under the completely random design. The relation among the variables under study were made by simple correlations using in both statistical analysis a significance level of 0.05.

Analysis of variance showed that five variables were correlated with the events of disagreeable taste and odor in the source water, given in order of

importance these are: dissolved oxygen, alkalinity, % of saturation, chlorides and temperature. Furthermore, it was found that the variables pH, hardness, ammonia, nitrates and biochemical oxygen demand had a significant effect on the water only in some of the years under study. Based on the results of the statistical analysis, the other variables (conductivity, total dissolved solids, total suspended solids and turbidity), did not manifest any correlation that explains the event of disagreeable taste and odor.

The results of this study lead to conclude that the variables with the highest effect on the events of disagreeable taste and odor were dissolved oxygen and % of saturation. Therefore, it was recommend to increase the number of aerators in the Lake when an event of disagreeable taste and odor were expected in base of chemical and phisical analysis.

# INDICE

	Página
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
SUMMARY.....	v
LISTA DE CUADROS DEL TEXTO.....	x
LISTA DE FIGURAS DEL TEXTO.....	xii
LISTA DE FIGURAS DEL APENDICE.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. La calidad del agua potable.....	5
2.2. Estandares de la calidad del agua.....	6
2.3. Causas de sabor y olor.....	6
2.3.1. Causas de sabor y olor en el suministro de agua potable.....	7
2.3.2. Causas de sabor y olor generados en el proceso de potabilización.....	8
2.3.3. Causas de sabor y olor en el sistema de distribución.....	10
2.4. Historia del tratamiento para sabores y olores en el agua potable.....	10
2.5. Compuestos específicos causantes de sabor y olor.....	12
2.5.1. Geosmin.....	12
2.5.2. Methylisoborneol.....	12
2.6. Fuentes de sabor y olor en el agua potable.....	13
2.6.1. Constituyentes inorgánicos.....	13
2.6.2. Constituyentes orgánicos.....	14
2.7. Fuentes biológicas de sabor y olor en agua potable.....	14
2.7.1. Algas.....	15

2.7.2. Actinomyces.....	16
2.7.3. Otros microorganismos.....	17
2.8. Tratamiento de sabores y olores.....	17
2.8.1. Aereación.....	19
2.8.2. Oxidación química.....	21
2.8.2.1. Cloro.....	21
2.8.2.2. Dióxido de cloro.....	21
2.8.2.3. Permanganato de potasio.....	22
2.8.2.4. Ozonización.....	23
2.8.3. Adsorción.....	23
2.8.4. Sistemas de monitoreo biológico.....	24
2.9. Análisis de laboratorio para determinar el sabor y olor del agua.....	25
2.9.1. Número total de olor (Threshold Odor Number).....	26
2.9.2. Perfil sensorial del sabor (Flavor Profile Analysis).....	27
2.9.3. Goteo en cámara cerrada (Close-Loop Stripping Analysis).....	27
MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1. Descripción del lugar.....	29
3.1.1. Ubicación del condado.....	29
3.1.2. Sistema de reserva.....	30
3.1.2.1. Períodos máximos y mínimos de captación de agua del lago.....	33
3.1.3. Área de escurrimiento.....	33
3.1.4. Sistema de admisión y transmisión.....	34
3.2. Estación de bombeo.....	34
3.3. Planta potabilizadora.....	35
3.3.1. Mezcladoras rápidas.....	36
3.3.2. Mezcladoras lentas.....	38
3.3.3. Sedimentación.....	39
3.3.3.1. Sedimentación primaria.....	39
3.3.3.2. Sedimentación secundaria.....	40
3.3.4. Filtración.....	40
3.3.5. Almacenamiento y bombeo.....	41
3.3.6. Químicos utilizados en el proceso de potabilización.....	42
3.3.7. Dimensiones y volúmenes de las pilas.....	43

3.4. Metodología de muestreo y análisis.....	47
3.4.1. Sabor y olor.....	47
3.4.2. Turbidéz.....	48
3.4.3. Alcalinidad.....	49
3.4.4. pH.....	49
3.4.5. Oxígeno disuelto (O.D.).....	50
3.4.6. Temperatura.....	50
3.4.7. % de saturación.....	51
3.4.8. Cloruros.....	51
3.4.9. Sólidos totales disueltos (S.T.D.).....	52
3.4.10. Dureza.....	52
3.4.11. Conductividad.....	53
3.4.12. Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.).....	53
3.4.13. Amonia.....	54
3.4.14. Nitratos.....	54
3.4.15. Sólidos totales suspendidos (S.T.S.).....	55
3.5. Herramientas de microcomputación estadística.....	56
 RESULTADOS Y DISCUSION.....	 57
4.1. Resultados de análisis químicos.....	57
4.1.1. Comparación de medias.....	57
4.1.2. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1991.....	66
4.1.3. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1992.....	68
4.1.4. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1993.....	70
 CONCLUSIONES.....	 72
 RECOMENDACIONES.....	 74
 BIBLIOGRAFIA.....	 77
 APENDICE -FIGURAS.....	 81

## LISTA DE CUADROS DEL TEXTO

	Página
CUADROS	
Cuadro 1. Características morfológicas del lago Waco.....	32
Cuadro 2. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la - planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1991.....	58
Cuadro 3. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la - planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1992.....	59
Cuadro 4. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la - planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1993.....	60
Cuadro 5. Medias de características químicas del agua en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta - potabilizadora Mount Carmel del año 1991.....	61
Cuadro 6. Medias de características químicas del agua en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta - potabilizadora Mount Carmel del año 1992.....	62
Cuadro 7. Medias de características químicas del agua en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta - potabilizadora Mount Carmel del año 1993.....	63
Cuadro 8. Coeficiente de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1991.....	67

Cuadro 9. Coeficiente de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1991.....	68
Cuadro 10. Coeficiente de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1992.....	69
Cuadro 11. Coeficiente de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1992.....	70
Cuadro 12. Coeficiente de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1993.....	71
Cuadro 13. Coeficiente de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1993.....	71



## LISTA DE FIGURAS DEL TEXTO

	Página
FIGURAS	
Figura 1. Mapa hidrográfico del lago Waco, indicando los principales tributarios y sus estaciones de muestreo. Bosque Norte (N.B.), Admisión (I.N.), Autopista 6 (H.W.6), Landon Branch (L.B.), Estación de Bombeo (E.B.).....	31
Figura 2. Sistema esquemático de la planta tratadora de agua Mount Carmel.....	37
Figura 3. Diagrama descriptivo del proceso de potabilización, desde la fuente de suministro, hasta que el agua sale de la planta potabilizadora hacia el sistema de distribución.....	46

**BIBLIOTECA Agronomía U. A. N. L.**

## LISTA DE FIGURAS DEL APENDICE

	Página
FIGURAS	
Figura 1. Oxígeno disuelto registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	82
Figura 2. Alcalinidad registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	83
Figura 3. % de saturación registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	84
Figura 4. Cloruros registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	85
Figura 5. Temperatura registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	86
Figura 6. pH registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	87
Figura 7. Dureza registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	88
Figura 8. Amonia registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	89

Figura 9. Nitratos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	90
Figura 10. Demanda bioquímica de oxígeno registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	91
Figura 11. Conductividad registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	92
Figura 12. Sólidos totales disueltos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	93
Figura 13. Sólidos totales suspendidos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	94
Figura 14. Turbidéz registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.....	95

## INTRODUCCION

Aun cuando el agua sea química, física y bacteriológicamente segura para el consumo humano, si presenta algún sabor u olor desagradable, es suficiente motivo para que el público usuario la rechace y dude de su calidad.

Este es un problema muy común cuando el agua proviene de sistemas de almacenamiento naturales o artificiales, los que utiliza el hombre como reservorios del vital líquido. Los factores químicos, físicos, biológicos e incluso geológicos, son la causa principal del sabor y olor del agua, tanto en los lagos, presas de almacenamiento como en los sistemas de potabilización y en la misma red de distribución de las ciudades; por este motivo, es muy importante identificar él o los agentes que provocan el problema y buscar mediante los diferentes métodos de control de calidad, la potabilización integral del agua de abasto.

Reportes de mal sabor y olor ocurren de forma continua o esporádica en todos los sistemas de suministro de agua potable. Esto es un hecho inequívoco y globalizante aún cuando en algunos casos puede ser más o menos acentuado.

El sabor y olor del agua ha sido el estandar promedio de la población para

evaluar la calidad del agua potable de las ciudades o pueblos que tienen este tipo de sistemas y cuando se presentan estos eventos, buscan bebidas alternantes aparentemente más confiables, aunque aguas palatables no son siempre potables y viceversa.

Desde tiempos muy remotos, los Romanos construyeron acueductos para transportar desde lugares muy distantes, el agua para todas las ciudades de su imperio; procurando que fuese segura para su uso y de un placentero sabor y olor.

En nuestros tiempos, grandes metrópolis como Nueva York, Los Angeles y San Francisco en los Estados Unidos y las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey en la Republica Mexicana, todavía siguen transportando el agua desde acuíferos y vasos de almacenamiento situados en áreas lejanas para satisfacer sus demandas locales. Desafortunadamente muy pocas fuentes de suministro de agua ofrecen la deseada característica de sabor y olor.

El sistema de agua potable Waco, abastece a 130,000 vecinos de la ciudad de Waco, Texas; así como, eventualmente a 50,000 personas más, que integran 7 municipios circunvecinos, de acuerdo a demandas periódicas.

El lago Waco y sus afluentes son monitoreados semanalmente; tomándose muestras del agua para determinar, mediante análisis pertinentes los niveles de los diferentes factores físico-químicos y biológicos que inciden en la calidad del agua previa a la estación de bombeo para llevar el líquido a la planta potabilizadora; así mismo, un monitoreo diario de rutina se realiza en la estación de bombeo como en la planta potabilizadora y red de distribución. Los datos de un sistema de monitoreo en cada punto de muestreo son vitales para la decisión de las medidas de control que se tomaran según los niveles de los factores que presuntamente inciden en algún grado, en el sabor y olor del agua aún después de haber sido tratada en la planta potabilizadora de Waco.

En un sistema de monitoreo sistemático, es necesario realizar los análisis de los factores físico-químicos a efecto de identificar cuantitativamente cual o cuales de ellos están involucrados con el sabor y olor del agua.

Los objetivos del presente estudio que involucra los catorce factores resultantes de los monitoreos diarios en la estación de bombeo durante los años 1991, 1992 y 1993 son los siguientes:

- 1.- Comparación entre los periodos donde se presenta mal sabor y olor del agua

y los períodos normales, en cuanto a características físicas y químicas del agua en el lago.

2.- Evaluar la relación entre las características físicas y químicas del agua en el lago.

La hipótesis de trabajo que se plantea es, que existe correlación entre al menos uno de los factores físicos-químicos con la presencia del sabor y olor desagradables en el agua de abasto de la ciudad de Waco, Texas. U.S.A.

# REVISION DE LITERATURA

## 2.1. La calidad del agua potable

Por muchos años, fue muy común que el suministro de agua en las redes de distribución el sabor y olor estuvieran presentes. Estos sabores y olores eran tolerables por los consumidores, además de la turbidez y bacterias que acompañaban a estos. El acondicionamiento del agua para que ésta tuviera mejor apariencia ante los consumidores, se manifestó primero en la remoción de la turbidez a través de la filtración. Posteriormente vino la adición de cloro o compuestos clorinados para la desinfección del agua como una medida de salud.

Una vez que las prácticas en la remoción de turbidez , y desinfección fueron comunes, después se tornó la atención a la producción de agua que fuera palatable, además de segura (A.W.W.A., 1990).

El olor al igual que el sabor, depende del contacto de la substancia estimulante con el organo receptor apropiado, los estímulos son químicos en naturaleza, el termino "sensores químicos" son comunmente aplicados al sabor y al olor. El agua en su forma pura, no produce sensaciones de sabor u olor; el hombre, al igual que los animales puede evadir muchas comidas y aguas



potencialmente tóxicas a través de la respuesta adversa sensorial (Standard Methods, 1992).

## **2.2. Estándares de la calidad del agua**

La importancia de las propiedades organolépticas del agua (su apariencia, su sabor y su olor) es reconocida mundialmente, muchos países tienen algún tipo de estándar en la calidad del agua.

Las regulaciones nacionales secundarias para la calidad del agua potable, promulgadas por el Departamento de Salud e Higiene de los Estados Unidos en 1977, fueron adoptadas por el departamento de salud del Estado de Texas en Junio 4 de 1977. Las cuales estipulan un número total de olor máximo de 3, para que el agua sea aceptable para el consumidor, cuantificaron el estándar del olor mediante la utilización del método "Número Total de Olor", (número de veces que el agua debe ser diluida con agua libre de olor, hasta que el olor de la muestra no sea percivable), (TWUA, 1988).

## **2.3. Causas de sabor y olor**

La principal causa de sabores y olores desagradables en la potabilización

son químicos usados en la desinfección, tratamiento inadecuado del agua no potable y la degradación del agua en el sistema de distribución.

### **2.3.1. Causas de sabor y olor en el suministro de agua potable**

Los problemas de sabor y olor pueden ocurrir, ya sea de forma inducida natural o provocada por el hombre. Los que ocurren de forma natural son producidos por microorganismos microscópicos, algas, bacterias, o materia orgánica en descomposición, estos pueden ocurrir en ambos sistemas de suministro, ya sean superficiales o profundos, o en tanques de almacenamiento con agua potable y en las tuberías del sistema de distribución (Silvey, 1953). Los sabores y olores producidos por el hombre incluye aquellos causados por contaminación del suministro de agua por químicos provenientes de desechos industriales y domésticos; además de compuestos generados en el proceso de potabilización, o por sustancias que se forman dentro de las tuberías de las redes de distribución y tanques de almacenamiento (Bartels, Burlingame, 1986).

Problemas de sabor y olor que ocurren de forma natural, en fuentes de suministro superficial, generalmente son más difíciles de tratar que los que provienen de pozos profundos. Los problemas tienden a empeorar en ríos o

reservorios que tienen un movimiento hidráulico muy lento, y debido a esto hay más tiempo para que organismos causantes de sabores y olores desagradables crezcan. Nutrientes, producto de fertilizantes (Wood, 1983); al igual que desechos domésticos e industriales han sido una seria fuente de contaminación al encontrar de una u otra forma su camino hacia los lugares de almacenamiento, creando graves problemas de sabor y olor.

Los más ofensivos sabores y olores en el agua potable, son los causados por desechos industriales, debidos ya sea a sustancias orgánicas en solución y suspensión o causados por organismos microscópicos. Las descargas naturales contienen varias cantidades de nutrientes, dependiendo de la fuente, estas concentraciones se ven alteradas a través del multiuso que el hombre hace del suelo (Gaufin, 1964).

### **2.3.2. Causas de sabor y olor generados en el proceso de potabilización**

Los compuestos presentes en el agua que llegan a la planta potabilizadora son modificados por los procesos de Coagulación, Oxidación, Adhesión, Sedimentación y Filtración.

Problemas de sabor y olor generados en la planta de tratamiento pueden ser de varios tipos, debido al proceso o al uso del equipo. Los problemas de procesos, pueden ser numerosos, ya sea por la mala aplicación de químicos, o por el crecimiento de algas en la planta (Mackenthun, 1970).

La aplicación de cloro produce sabores y olores al reaccionar con compuestos orgánicos que están en forma natural en el agua, y estos sabores u olores disminuyen si se aumenta el residuo de cloro presente en el agua, tal como ocurrió en el sistema de distribución de Perth, Australia, al no satisfacerse la demanda de cloro requerida por los compuestos orgánicos, olores pantanosos se desarrollaron en el sistema de distribución; los cuales fueron eliminados mediante la aplicación de una dosis extra de 2-5 mg/l de cloro libre, en diferentes puntos del sistema de distribución de agua de la ciudad (Wajon, 1988).

Otra fuente de sabor y olor muy común, es también la formación de gases disueltos, Acido Sulfídrico ( $H_2S$ ), Metano ( $CH_4$ ), (Thurman, 1985), producida por la descomposición anaeróbica de los sedimentos en el fondo de las pilas de sedimentación, al dejar que los sedimentos se acumulen por mucho tiempo, así como el reciclado del agua, producto de lavado de filtros o de las pilas de

sedimentación.

### **2.3.3. Causas de sabor y olor en el sistema de distribución**

La calidad del agua también sufre cambios en el sistema de distribución, comunmente estos cambios son en pH y alcalinidad. Los cuatro parámetros con los cuales los consumidores juzgan la calidad del agua son: color, turbidez, sabor, olor, y temperatura.

Crecimientos biológicos y de microorganismos en el sistema de distribución también causan problemas de sabor y olor (Chang, 1960). Conecciones invertidas son otro serio problema, debido a una conexión física, directa o indirecta, la cual permite que agua no potable o sustancias contaminantes entren al sistema de distribución. Sabores metálicos son problemas comunes en la deterioración de las tuberías galvanizadas de las líneas de servicio doméstico, al igual que compuestos químicos utilizados en las reparaciones de las tuberías.

### **2.4. Historia del tratamiento para sabores y olores en el agua potable**

En una publicación hecha por la AWWA (American Water Works

Association), *The Quest for pure water* (Baker, 1981), presenta un excelente resumen de la historia de la purificación del agua. En la cual dice que Paxamus al inicio del primer siglo, propuso que coral pulverizado o malta pulverizada en una bolsa sumergidas en un depósito conteniendo agua de mal sabor, era ideal para curar sabores debido a sales minerales. También menciona la eficacia del carbón activado en polvo para la prevención y remoción del mal sabor y olor del agua, la cual fue establecida en forma experimental por Johann Tobias Lowitz en 1789-90 y detallada por la Sociedad de Economistas de St. Petesburg en 1790.

Un trabajo de investigación hecho por Triberius Cavallo en 1807, mencionó que el agua más impura podría ser purificada a través de la filtración, y que agua putrefacta conteniendo material vegetal o animal podría ser purificada mediante la agitación con carbón en polvo, y posteriormente filtrada. El carbón mezclado con arena (en filtros), purificaba agua lodosa y fétida, pero que el carbón en polvo debería ser renovado frecuentemente (Baker, 1981).

Hassler (1941), también menciona que dos factores contribuyeron al incremento del interés en la intensidad del control del sabor y olor; primero, la adopción de clorinación, y segundo, el rápido desenvolvimiento de las industrias

químicas durante la primera guerra mundial, las cuales contaminaron ampliamente los sistemas de suministro.

## 2.5. **Compuestos específicos causantes de sabor y olor**

El desarrollo del control del sabor y olor desde 1941 han sido la continuación de investigaciones previas hacia oxidantes y carbón activado. Se ha dado más atención en descubrir las causas de sabor y olor en el suministro de agua.

### 2.5.1. Geosmin

Fue hasta 1965 que Gerber identificó geosmin como la fuente de olor presente en el agua (TWUA, 1988). Geosmin del griego "*geos*" que significa tierra y "*osme*" que significa olor, éste es el nombre que se le ha dado a la sustancia responsable del olor característico "tierroso" del agua, y que es producido por numerosos géneros de actinomicetos y algunas algas verde-azules (Gerber, 1974).

### 2.5.2. Methylisoborneol

Entre 1969 y 1977 Gerber aisló e identificó otro compuesto responsable

de olor a tierra y moho; el cual resultó ser el químico 2-methylisoborneol (MIB), (TWUA, 1988).

En 1985 un alto nivel de geosmin fue encontrado en las redes del suministro de agua potable en Filadelfia, EUA; el cual causó muchas quejas de sabor y olor desagradables, mediante el uso de análisis del perfil del sabor pudo ser posible identificar éste compuesto y tomar las medidas de control necesarias (Burlingame, 1986).

## **2.6. Fuentes de sabor y olor en el agua potable**

Una gran variedad de compuestos olorosos han sido encontrados en el agua potable, estas sustancias pueden estar presentes en el agua de suministro, formadas durante el tratamiento de potabilización, particularmente por oxidación, o pueden ser inducidos a través del sistema de distribución.

### **2.6.1. Constituyentes inorgánicos**

Substancias en el agua potable que son percibidas por el sentido del gusto son generalmente compuestos inorgánicos, los cuales están presentes en concentraciones más altas que los contaminantes orgánicos.



En el manual de operaciones del agua potable del Estado de Texas (1988), se presenta una amplia descripción de los contaminantes inorgánicos más comunes así como su método de tratamiento.

### 2.6.2. Constituyentes orgánicos

Substancias en agua potable que son percibidas como causantes de efectos organolépticos son compuestos orgánicos.

En aguas naturales existen muchos tipos de compuestos orgánicos, los cuales pueden ser clasificados por abundancia en seis grandes grupos: sustancias humicas, ácidos hidrofílicos, ácidos carboxílicos, aminoácidos, carbohidratos, e hidrocarburos (Thurman, 1985).

### 2.7. Fuentes biológicas de sabor y olor en agua potable

Los primeros registros de sabores en los suministros de agua ocurrieron en 1850. Durante el siglo XX, los organismos que han estado más frecuentemente ligados a los problemas de sabor y olor han sido los actinomicetos, varios tipos de algas, además de algunos protozoarios, hongos y nematodos, que han sido implicados eventualmente de vez en cuándo.

### 2.7.1. Algas

Este ha sido el grupo de organismos que han recibido mayor atención en conexión con el sabor y olor del agua. Estas, están presentes en el agua en dos habitats comunes, las que se encuentran flotando y las adheridas (TWUA, 1988).

Existen muchas diferentes divisiones dentro del reino de las algas, pero solamente tres grupos son los más comunes; Chlorophyta (Algas verdes), Cyanophyta (Algas verde-azules) y Chrysophyta (Pardo-dorada o Diatomeas) (Prescott, 1978).

Las algas son productoras de numerosas sustancias, orgánicas volátiles y no volátiles, que son ya sea productos simples de la fotosíntesis, o compuestos más complejos que el alga puede sintetizar de compuestos más simples. Compuestos que no pueden ser utilizados inmediatamente o almacenados son excretados, y se convierten en alimento para organismos heterotróficos como bacterias y hongos.

Muchos de estos productos extracelulares son los que causan sabores y olores desagradables en suministros de agua. Las algas muertas pueden causar

sabores y olores en dos formas: primero, cuando el alga muere y se va descomponiendo, compuestos olorosos son liberados; segundo, la biomasa muerta proporciona el crecimiento de bacterias, y actinomicetos. Estas también son la causa principal de problemas en la restricción del flujo de los filtros en la planta potabilizadora (Mackenthun, 1970).

Durante un proceso de rutina en un cultivo de algas, un olor a tierra fue percibido, este olor era idéntico al producido por cultivos de actinomicetos estudiados anteriormente; la sustancia olorosa fue aislada y demostró ser idéntica a la de geosmin producida por actinomicetos, aparentemente es el primer ejemplo de éste compuesto en algas (Shafferman, 1967).

La descomposición de algas verde-azul pueden generar una variedad de compuestos de sulfato muy olorosos que incluyen: Methylmercaptan, dimethylsulfuro, isobuthylmercaptan, n-buthylmercaptan (Jerkins, 1967).

### 2.7.2. Actinomicetos

Los actinomicetos son bacterias filamentosas, que se encuentran en diferentes habitats, incluyendo agua y sedimentos de ríos y lagos; sin embargo,

parece que el lugar más propicio para el desarrollo de su actividad microbial sucede en el reservorio, donde el agua esta sujeta a condiciones ambientales no controlables, se ha observado que la temperatura óptima de crecimiento es alrededor de 25°C (TWUA, 1988).

Según estudios de laboratorio efectuados con anterioridad han demostrado que los actinomicetos son responsables de olores desagradables a tierra y cieno, además de ser productores de sustancias contaminantes como geosmin y 2-methylisoborneol (Medsker, 1969; Wood, 1983; Silvey, 1953).

### 2.7.3. Otros microorganismos

Ocasionalmente, problemas de sabor y olor en el suministro de agua han sido atribuidos a bacterias, hongos, zooplanton y nematodos. Wajon en 1985, atribuyó el olor pantanoso en el sistema de distribución a diferentes microorganismos. Nematodos también pueden secretar compuestos olorosos, que producen olores a tierra y cieno (Chang, 1960).

## 2.8. Tratamiento de sabores y olores

El tratamiento de sabores y olores indeseables en cualquier suministro de

agua, puede ser ya sea muy sofisticado o muy simple, dependiendo en la variedad de factores, al igual que el uso de sistemas de monitoreo muy sofisticados y tecnologías de tratamiento, o se pueden utilizar prácticas estratégicas muy simples.

Al trabajar con problemas de sabor y olor desagradables se deben seguir los siguientes pasos:

- Examinar la información estadística, para determinar las épocas u otras fuentes involucradas.
- Usar diferentes técnicas de monitoreo para identificar la fuente de contaminación.
- Determinar si es posible en donde, el sabor y olor han sido generados y donde han sido removidos completamente.
- Seguir una secuencia de pasos en la planta de tratamiento y laboratorio para determinar la forma más efectiva de acción.
- Determinar la relación que existe entre, fuente de suministro, tratamiento, sistema de distribución.
- Establecer un programa de relaciones públicas para explicar las técnicas y calidad del tratamiento del agua a los consumidores.

Varios procesos han sido utilizados para tratar problemas de sabor y olor, tanto en el reservorio como en el proceso de potabilización o el sistema de distribución, variando el grado de éxito de cada uno.

### 2.8.1. Aereación

El control del sabor y olor mediante la utilización de aire comprimido para inducir la desestratificación del reservorio ha sido el método más económico y simple. Regularmente cuando problemas de mal sabor y olor son percibidos en el agua proveniente del reservorio, decimos que el lago se ha estratificado y se ha volteado; cuándo esto sucede, condiciones prevaecientes en el fondo del lago se toman hacia la superficie, creando condiciones nutricionales para que ocurra un crecimiento de algas, además de la liberación de ácido sulfídrico y gas mercaptan, formados por condiciones anaeróbicas del fondo, contribuyendo a problemas de sabor y olor (TWUA, 1988).

En 1962 mediante la utilización de un sistema de aereación artificial en el pequeño lago de Arbor al oeste de Chicago Illinois, se observaron dos beneficios inesperados; el oxígeno se encontró en todos los niveles del reservorio, prosperando la cantidad de peces. Además, en la temporada de invierno el lago

no se ha vuelto a congelar y ha propiciado el aumento de aves migratorias que llegan a anidar año con año durante el invierno (Hinde Engineering, 1971).

Otro ejemplo de esto se puede observar en el lago Waco donde en mayo de 1966 ocurrieron eventos de mal sabor y olor en el agua proveniente del reservorio debido a la estratificación del agua en el lago, los cuales desaparecieron mediante la instalación de un compresor de aire; el cual inyectaba burbujas de aire al fondo del reservorio, oxigenandolo, además de mezclar los diferentes estratos.

En la ciudad de Eureka Illinois en 1942, fue creado un lago para suministrar agua a la ciudad pero debido a las quejas permanentes de mal sabor y olor, en 1979 fue abandonado el sistema, cambiando la fuente de suministro al uso de agua subterránea; mediante la instalación de un aereador mecánico, induciendo la aplicación de aire comprimido al centro del lago; para 1981 se logró eliminar la estratificación del agua, obteniendose niveles adecuados de oxígeno en todos los estratos, la ciudad a vuelto a usar nuevamente el lago (Raman, 1989).

## 2.8.2. Oxidación química

La oxidación química en aguas superficiales está directamente dirigida a la reducción o eliminación de sabores desagradables producto de compuestos orgánicos e inorgánicos, los más comunmente utilizados son: cloro ( $\text{Cl}_2$ ), dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ).

### 2.8.2.1. Cloro

El uso del cloro en el proceso de potabilización ha sido para la desinfección, la habilidad de la desinfección está en relación con la dosis residual sobrante, producto de la oxidación de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, ya que una aplicación de cloro en la estación de bombeo y el tratar de obtener residuos entre 0.1 a 2.0 mg/l en el agua que llega a la planta son suficientes para controlar problemas de sabores y olores desagradables (Krasner, 1989; Lalezary, 1986).

### 2.8.2.2. Dióxido de cloro

Este es un oxidante muy efectivo, formado mediante la reacción de clorito de sodio y gas cloro, que es utilizado en las plantas de tratamiento para el control de olores, desinfección y oxidación de metales solubles. Estudios realizados



recientemente en eventos esporádicos de sabor y olor ocurridos en el sistema de distribución han sido descritos como olores clorinados, encontrándose que en muchos casos estos olores fueron producto de la fase gaseosa de la reacción del dióxido de cloro (presente en las llaves de alimentación en las casas de los consumidores) con químicos orgánicos en el aire dentro de la casa; particularmente esos emitidos por las alfombras nuevas (Dietrich, 1992; TWUA, 1988).

En un estudio realizado por Lalizary en 1986, tratando de observar el efecto comparativo de cuatro oxidantes ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{O}_3$ ) sobre cinco compuestos que producen olores a tierra y moho, los resultados indicaron que el dióxido de cloro fue el oxidante más efectivo para la eliminación de los cinco compuestos seleccionados; además, se ha encontrado que es muy efectivo en destruir olores a moho, pescado, actinomycetos y algas.

#### 2.8.2.3. Permanganato de potasio

Este es un oxidante muy versátil y está empezando a usarse en el proceso de potabilización, para contrarrestar malos sabores y olores producidos especialmente por algas y desechos industriales; sólo se ha aplicado como un

pre-tratamiento en la estación de bombeo, ya que deja un residuo que hace que el agua se torne de color morado (TWUA, 1988).

#### 2.8.2.4. Ozonización

En un estudio realizado por Anselme (1988), encontró que la ozonización fue eficaz para eliminar olores y sabores de moho, tierra, pescado y lodo, haciendolos desaparecer del agua previamente clorinada, coagulada y filtrada con arena; además, se determinó que el proceso de ozonización desarrolla intensos olores frutales.

#### 2.8.3. Adsorción

Diferentes estudios se han realizado para la remoción de compuestos orgánicos del agua en el proceso de potabilización, cuándo todos los métodos fallan, se aplica carbón activado en polvo o granulado; los cuales, han dado muy buenos resultados, aun y cuando en los procesos normales de floculación y clorinización no demuestran ser capaces de remover las sustancias tóxicas (Falconer, 1989).

El proceso de adsorción, mediante el uso de carbón activado en polvo,

usado inmediatamente a la detección de mal sabor y olor creado por geosmin en un sistema de distribución en Filadelfia EUA., demostró ser más efectivo que el cloro y dióxido de cloro para la remoción de este compuesto oloroso (Burlingame, 1986).

Otro estudio realizado por investigadores de la Universidad del Sur de California en la efectividad del carbón activado para remover geosmin y 2-methyl isoborneol (MIB), compuestos que causan sabor y olor; se observó que una dosis tan baja como 5 mg/l podría reducir a niveles aceptables concentraciones normales de estos compuestos orgánicos en el agua (Lalezary, 1988).

#### 2.8.4. Sistemas de monitoreo biológico

En los Angeles California donde se transporta el agua desde un sistema de almacenamiento artificial hasta la planta potabilizadora y posteriormente se suministra a la ciudad, se llevó a cabo un monitoreo biológico. En este sistema siempre se supuso que el sabor y el olor desagradable del agua se debía principalmente a condiciones plantónicas de algas, por lo que se estableció un sistema de monitoreo a través de un instrumento prototipo de sensor remoto electro-óptico, que proporcione vigilancia automatizada del crecimiento de algas.

Los datos suministrados por dichos sensores, los cuales eran de alta resolución, facilitó detectar el crecimiento de algas antes de que la calidad del agua se deteriorara estéticamente; además dichos sensores suministraron información para la retroalimentación inmediata en la efectividad de los tratamientos de alguicidas en el reservorio (White, 1991).

## **2.9. Análisis de laboratorio para determinar el sabor y olor del agua**

Una descripción del sabor y olor de muestras de agua, sólo puede ser obtenida mediante análisis sensoriales; pero ya que humanos realizan estos análisis, ésta prueba organoléptica sólo a sido considerada como una medida objetiva.

Análisis químicos de una muestra pueden proporcionar información de la presencia de contaminantes orgánicos, pero actualmente muy poco se conoce acerca de las características organolépticas de la mayoría de los compuestos. Si se pudiera establecer la relación entre la concentración de un contaminante orgánico en el agua y la intensidad del sabor y olor determinado mediante análisis sensoriales uno podría definir la causa del sabor y olor.

Según Bartels (1986), fuentes de problemas organolépticos pueden ser divididos en cuatro grupos:

- El primero incluye compuestos naturales de sabor y olor, los cuales son a menudo causados por algas y metabolitos microbiales como; geosmin, 2-methylisoborneol (MIB).
- El segundo incluye una variedad de químicos industriales como; clorobenzenos, benzaldehydos y benzotiasoles.
- El tercer grupo incluye compuestos producidos durante el proceso de potabilización, especialmente clorinación, el cual al mezclarse con compuestos orgánicos produce compuestos de sabor y olor desagradables.
- El cuarto grupo incluye compuestos que pueden formarse durante el almacenamiento y distribución del agua.

Existen varias pruebas de laboratorio para determinar el sabor y olor del agua, aunque el sentido del olfato ha sido la herramienta más valiosa para determinar sabores y olores en el agua.

#### 2.9.1. Número total de olor (Threshold Odor Number)

Históricamente éste ha sido el método más utilizado para cuantificar la

intensidad del olor en muestras de agua. Este método es aplicable para la determinación del número total de olor en la muestra de agua, ya sea superficial, potable, proveniente de desechos domésticos o industriales. Muestras con una alta intensidad de olor son reducidas proporcionalmente antes de ser analizadas utilizando agua libre de olor, hasta que la dilución sea imperceptible de olor, a la relación de dilución a la que se diluyó la muestra se le llama "Número Total de Olor" (USEPA, 1974).

#### 2.9.2. Perfil sensorial del sabor (Flavor Profile Analysis)

Este es un método estandar que se usa para describir el sabor y aroma real de una muestra de agua, en una forma que sea cualitativa, además de proporcionar una estimación cuantitativa de las intensidades de las sensaciones organolépticas, ésta técnica ha sido utilizada durante los últimos treinta años para el análisis del sabor y aroma por la industria alimentaria, y desde 1981 ha sido adaptada al proceso de potabilización para la identificación y descripción cualitativa del agua (Bartels, 1986).

#### 2.9.3. Goteo en cámara cerrada (Close-Loop Stripping Analysis)

Este método involucra un procedimiento más sensitivo, el cual detecta un

amplio rango de compuestos orgánicos a muy bajas concentraciones (Lalezary, 1986). Esta técnica ha demostrado ser efectiva para los análisis de compuestos tales como geosmin y MIB (AWWA Water quality & análisis, 1989).

Las muestras son concentradas mediante el uso de tubos de colección de carbón para absorber los compuestos orgánicos volátiles, los cuales son extraídos utilizando un solvente orgánico y los extractos son identificados mediante el método de cromatografía de gases (AWWA Proceedings, 1993).

# MATERIALES Y METODOS

## 3.1. Descripción del lugar

### 3.1.1. Ubicación del condado

Waco pertenece al Condado McLennan, se localiza en la Latitud  $31^{\circ} 34' 46''$  Norte, Longitud  $97^{\circ} 11' 51''$  Oeste. El Condado tiene una superficie de 3,093 Km<sup>2</sup>. y esta ubicado en el centro del Estado de Texas; su forma territorial es irregular y longitudinalmente corre desde el Noreste hasta el Suroeste; tiene una elevación que va desde 190 m.s.n.m. en el Oeste descendiendo gradualmente hasta 107 m.s.n.m. en el Sur.

Al municipio lo atraviesan dos ríos importantes; el río Brazos y el río Bosque , siendo el principal el río Brazos, el cual cruza el condado desde el Noroeste hacia el Sureste, y en dirección a su curso los dos lados del condado son inclinados gradualmente, esta inclinación gradual forma un drenaje natural excelente.

Muchos arroyuelos y ríos tienen su origen o pasan através del condado en su curso hacia el Sur, en dirección al río Brazos. El río Bosque , en el cual



descargan los ríos Bosque Medio y Bosque Sur, es el segundo en tamaño después del río Brazos.

### 3.1.2. Sistema de reserva

El Lago Waco fue construido en los años 1929-1930, mediante la construcción de un bordo de retención sobre el curso del río Bosque. Pero debido a los altos porcentajes de sedimentación se redujo la capacidad de almacenaje en un 44 % para el año 1947, por lo que, para 1960 fue necesario la construcción de un nuevo sistema de almacenamiento; construyéndose otro bordo de contención de 7.5 km de longitud al sur del originalmente construido y fue hasta mayo de 1965 cuando el nuevo sistema de almacenamiento fue puesto en operación.

El principal objetivo para el que fue construido el lago es el control de inundaciones a las comunidades circunvecinas; además de conservación de agua para el suministro a la ciudad de Waco, también es usado para propósitos recreativos.

El lago Waco (figura 1) cuenta con una área de 29.4 km<sup>2</sup>, es relativamente estrecho, con profundidades que varían desde 26 m hasta 7 m, tiene poca

protección en sus alrededores, en lo que a montañas y arboles se refiere y consecuentemente está sujeto a vientos dominantes del Noroeste y Sureste.

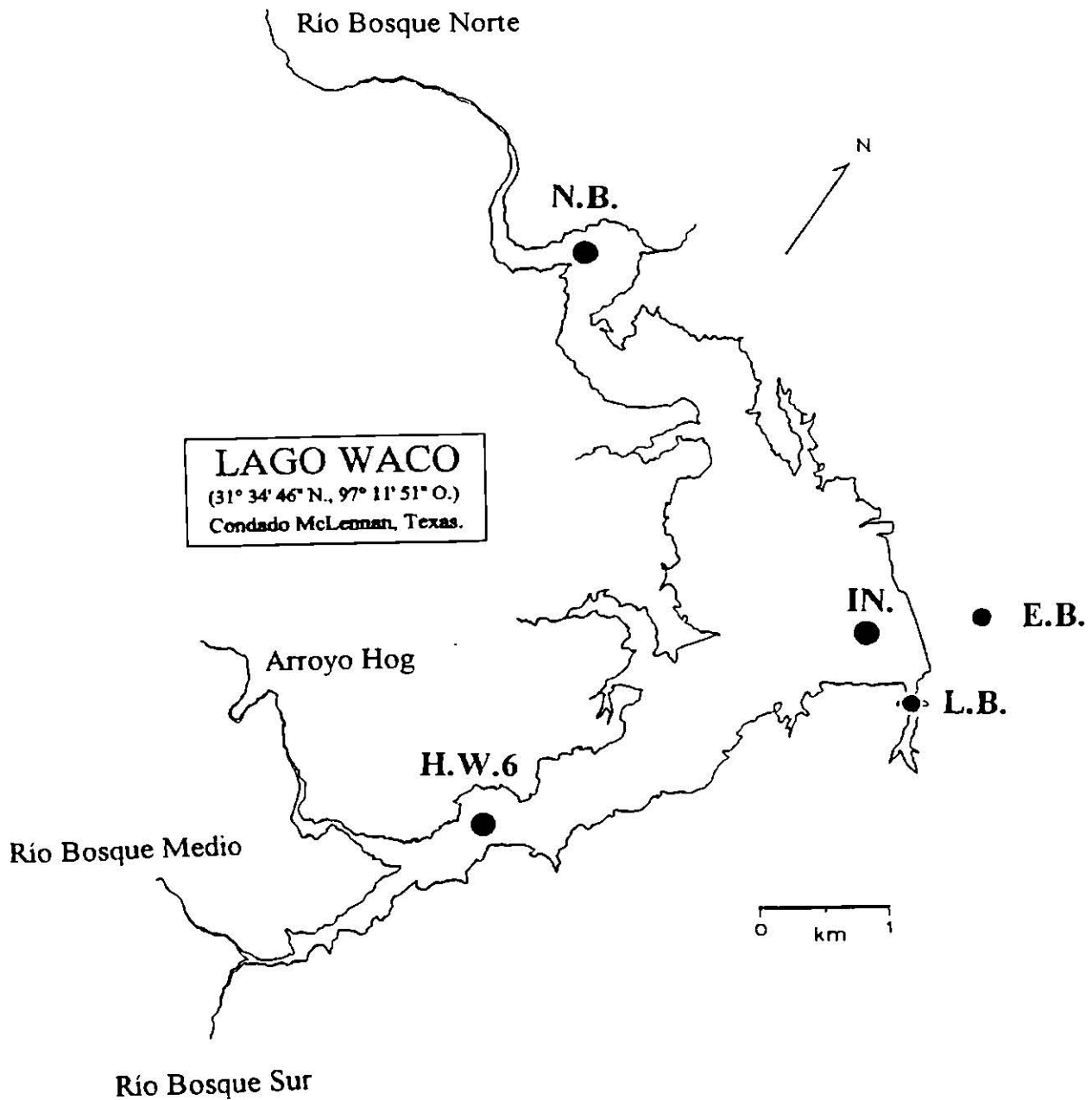


Figura 1.- Mapa hidrográfico del lago Waco, indicando los principales tributarios y sus estaciones de muestreo. Bosque Norte (N.B.), Admisión (IN.), Autopista 6 (H.W.6), Landon Branch (L.B.), Estación de Bombeo (E.B.).

El extremo norte del reservorio sólo recibe descargas del río Bosque Norte; el extremo sur recibe descargas de los ríos Bosque Medio, Bosque Sur y arroyo Hog; en el extremo sur lo cruza una importante supercarretera, que es de importante flujo vehicular-comercial, ésta situación puede ser un foco de contaminación importante debido a derrames de sustancias o materiales tóxicos accidentales. Las cortinas de desagüe, al igual que la estructura de admisión de la cual se abastecen las plantas potabilizadoras están localizadas en la parte este del lago, sobre el bordo de retención. Una vez que sus aguas descargan através de sus cortinas, siguen su curso hacia el sur, uniendose más adelante con el río Brazos, aproximadamente a 5 km aguas abajo. Las características morfológicas del lago Waco se pueden observar en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Características morfológicas del lago Waco

Elevación del nivel de conservación	139	m
Volúmen al nivel de conservación	128 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Elevación del nivel del control de inundaciones	152	m
Volúmen del control de inundaciones	683 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Area del lago	29.4	Km <sup>2</sup>
Area de escurrimiento	427.5	Km <sup>2</sup>
Profundidad máxima	26	m
Profundidad mínima	7	m
Tiempo teórico de recuperación del volúmen	46	días

Fuente.- U.S. Corps of Engineers (Departamento del Gobierno Estadounidense, encargado de controlar los niveles de conservación del lago Waco)

### 3.1.2.1. Períodos máximos y mínimos de captación de agua del lago

- Máximo.- 24 de Diciembre de 1991; elevación 149 m, volúmen  $643 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- Mínimo.- 8 de Octubre de 1984; elevación 135 m, volúmen  $106 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

### 3.1.3. Area de escurrimiento

A excepción del este y sureste del lago, que es densamente poblada, virtualmente toda el área de escurrimiento consiste en tierras de uso agrícola; además de granjas lecheras, existiendo algunas residencias y pequeños establecimientos comerciales.

Sólo una pequeña porción de la ciudad está en el área de escurrimiento, consistente en unidades multifamiliares y residencias individuales, toda el área está urbanizada; además cuenta con servicios de drenaje sanitario en su totalidad, cuyos deshechos son enviados através de diferentes estaciones de bombeo hacia la planta tratadora del drenaje sanitario.

La mayor parte al oeste del lago es propiedad de la ciudad de Waco; consiste de áreas públicas recreacionales y sólo una pequeña área es residencial, debido a condiciones de inundaciones registradas con anterioridad.

#### 3.1.4. Sistema de admisión y transmisión

El agua no potable es obtenida a través de la estructura de admisión, localizada en la parte este del lago, frente al bordo de retención, la cual cuenta con cuatro diferentes tomas, localizadas a diferentes profundidades, de donde el agua es enviada a las dos plantas potabilizadoras, la planta Mount Carmel y Riverside.

#### 3.2. Estación de bombeo

La estación de bombeo, mediante la cual se suministra agua a la planta Mount Carmel, está localizada en la base del lago Waco, al otro lado del bordo de retención, y obtiene su agua a través de una línea de 1.8 m de diámetro. Cloro en forma de gas es inyectado a la línea de transmisión antes del punto en que se divide el flujo para cada una de las plantas, para así poder minimizar el crecimiento biológico en las líneas de transmisión y ayudar al control de eventos de mal sabor y olor producidos por compuestos orgánicos, tratando de mantener un residuo libre entre 2 y 5 mg/l al llegar a la planta potabilizadora, éste inyector es controlado desde la planta potabilizadora Mount Carmel.

La estación de bombeo cuenta con 4 bombas centrifugas horizontales:

- Una con capacidad de 438 l/seg
- Dos con capacidad de 657 l/seg %u.
- Una con capacidad de 876 l/seg

Las bombas envían el agua a la planta mediante dos líneas paralelas , una línea de 91 cm de diámetro, y la otra de 1.22 cm Existen en la estación de bombeo las instalaciones necesarias para la inyección de amonia ( $\text{NH}_3$ ) y permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), estos químicos nunca han sido agregados. Amonia y cloro en forma de gas son inyectados a la línea de transmisión de agua no potable que llega a la planta potabilizadora, para la formación de cloraminas, en una proporción de 5 a 1 ( 5 partes de cloro y 1 parte de amonia).

### 3.3. Planta potabilizadora

La planta tratadora de agua potable Mount Carmel, utiliza métodos convencionales de tratamiento para la potabilización del agua (coagulación, floculación, sedimentación y filtración). Originalmente fue construida en dos diferentes fases, la primera en 1963, y la segunda en 1980, duplicando su capacidad de potabilización y filtración; siendo actualmente de 2,067 l/seg.

El proceso de potabilización consiste, en cuatro pilas idénticas y separadas que corren longitudinalmente, cada una tiene; un regulador de flujo, mezcladora rápida (coagulación), mezcladoras lentas (floculación), etapa de sedimentación primaria, separadores y reguladores de flujo intermedio, etapa de sedimentación secundaria, filtros de arena rápida y depósito de almacenamiento de agua potable. La figura 2 presenta el sistema esquemático de la planta tratadora de agua Mount Carmel.

### 3.3.1. Mezcladoras rápidas

Las aguas provenientes de reservorios superficiales, contienen diferentes cantidades de materiales disueltos y suspendidos. Estos materiales incluyen; turbidez, color, sabor, olor, y microorganismos. El material puede ser; orgánico o inorgánico, suspendido o disuelto, inerte o biológicamente activo y puede variar en tamaño.

Debido a que la mayoría de los materiales orgánicos e inorgánicos son de tamaño coloidal, estos no se van a sedimentar, a través del agua, mediante gravedad, en un tiempo límite. Estas impurezas deben ser removidas antes que el agua sea aceptable para el consumo humano. Consecuentemente, un químico

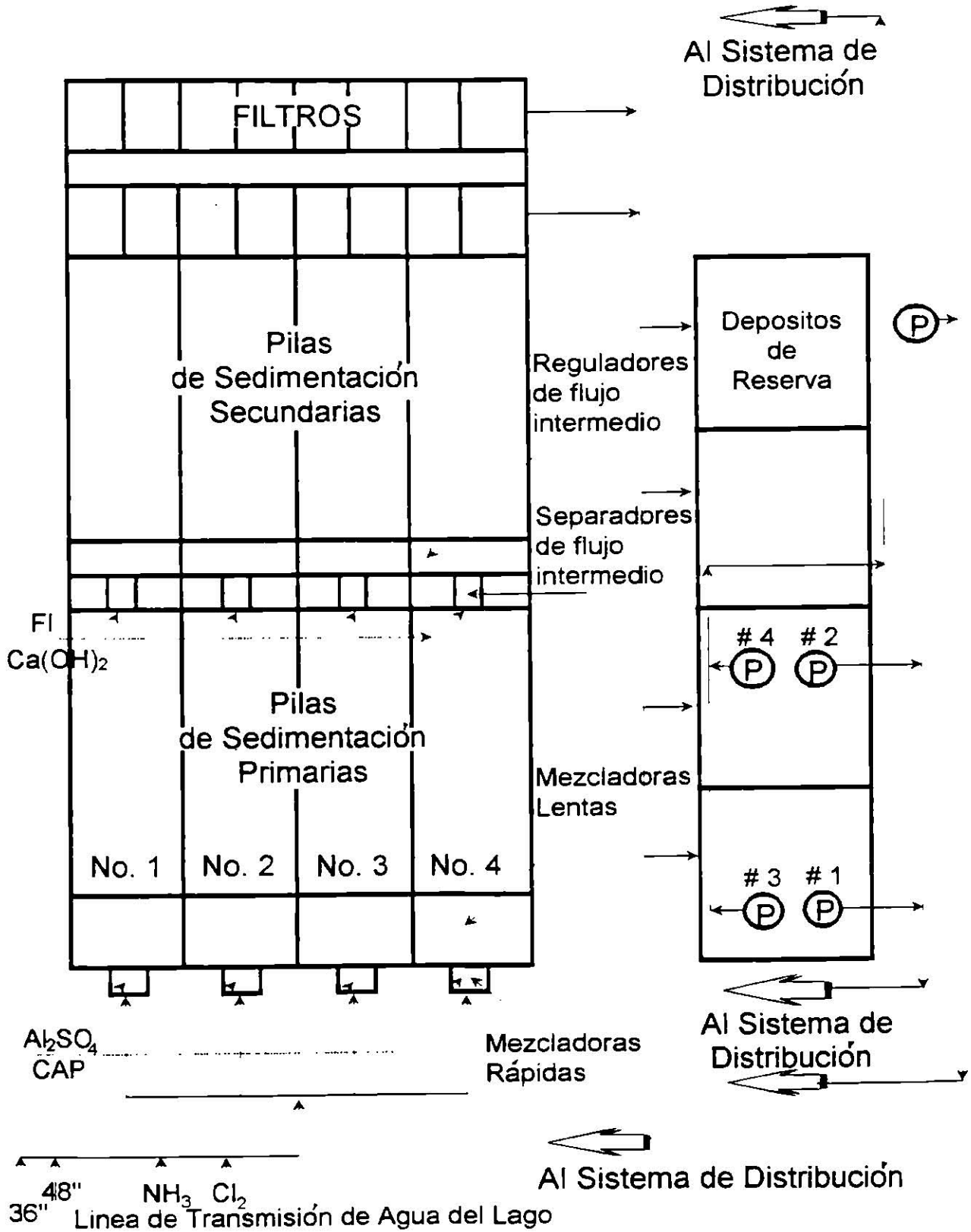


Figura 2. Sistema esquemático de la planta tratadora de agua " Mount Carmel".



(coagulante) debe ser agregado al agua para que provoque, a estas finas y suspendidas partículas la adhesión y que forme una hojuela, la cual, será separada mediante el proceso de sedimentación.

Existen cuatro mezcladoras rápidas; cada una cuenta con una mezcladora de turbina vertical, que provee una enérgica dispersión del coagulante (sulfato de aluminio,  $\text{Al}_2\text{SO}_4$ ). El tiempo de retención en esta pila de mezclado, a la máxima capacidad de filtración es de 1.51 min.. Cada mezcladora rápida es operada por un motor de velocidad constante (56 rpm), la velocidad puede ser cambiada a través de la caja de engranes. Carbón activado en polvo también es agregado en esta etapa de mezclado rápido, durante la presencia de sabor y olor desagradable, variando la dosis entre 2 y 5 mg/l, que aunque es una dosis muy pequeña, se ha observado que da muy buenos resultados. El único cuidado que se debe tener es en relación a las horas de servicio de cada uno de los filtros de arena rápida, ya que el carbón activado tiende a obstruir el flujo de estos.

### 3.3.2. Mezcladoras lentas

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas mediante el agitado más lento del agua, que va a permitir la formación de una hojuela.

El propósito de la floculación es la formación de una hojuela de mayor tamaño que se pueda sedimentar fácilmente para reducir la carga a los filtros. El tiempo de retención en esta etapa es de 25.32 min., a la máxima capacidad de filtración.

### 3.3.3. Sedimentación

En esta etapa es donde todas las partículas previamente aglomeradas mediante el proceso de floculación, se precipitan al fondo de las pilas de sedimentación, estas pilas deben ser lo suficientemente grandes para proporcionar un adecuado tiempo de retención, a la etapa de sedimentación también se le llama clarificación.

#### 3.3.3.1. Sedimentación primaria

Las pilas de sedimentación primarias están equipadas con unas dragas mecánicas en el fondo de éstas, para remover los sedimentos que se han precipitado debido a la floculación, estas dragas son puestas en operación una vez al mes. Cuando se realiza esta práctica, debido a las condiciones anaeróbicas del fondo, se registran olores desagradables. El tiempo de retención en esta pila es de 142.72 min., a la máxima capacidad de filtración.

### 3.3.3.2. Sedimentación secundaria

En ésta segunda etapa de sedimentación, no ocurre mucha acumulación de sólidos en el fondo de las pilas, y debido a ésto, las pilas se vacian una vez al año, los sedimentos son removidos manualmente, ya que no se cuenta con dragas mecánicas en el fondo de las pilas. El tiempo de retención en esta etapa es de 163.99 min., a la máxima capacidad de filtración.

### 3.3.4. Filtración

La filtración es el proceso final en la remoción de la turbidez, en el cual, el agua pasa através de arena o material similar, para remover del agua material que todavía se encuentra en suspensión. La mejor efectividad en los filtros de arena rápida se obtiene mediante una adecuada coagulación en etapas anteriores a ésta.

El material suspendido (turbidez) en el agua es separado cuando pasa através de las partículas de arena, aunque éste sea de menor tamaño que la separación entre los granos de arena, observándose en la superficie de los filtros una acumulación de hojuelas que también ayudan a la formación de una membrana, como si fuera parte del filtro. La filtración no removerá material disuelto en el agua. Arena sílica, es el medio de filtración que se utiliza en los

filtros de arena rápida, con una profundidad de 70 cm, y un tamaño de grano de 0.35 a 0.55 mm . Esta a su vez, se encuentra suspendida sobre varias capas de grava de 21 cm de espesor, y a su vez sobre una cama de bloques de barro vitrificado; después que el agua ha sido filtrada pasa al sistema de almacenamiento y distribución.

Según el manual de operadores de agua del Estado de Texas (1988), los filtros de arena rápida deben trabajar a una capacidad máxima de  $81.81 \text{ l/min/m}^3$  para que puedan producir agua con una turbidez menor de 0.5 N.T.U. La máxima turbidez permitida por las leyes del Estado, para el agua que sale de la planta al sistema de distribución debe ser menor de 1.0 N.T.U.

### 3.3.5. Almacenamiento y bombeo

El agua que ya ha sido tratada y filtrada, se almacena en las pilas de almacenamiento de la planta, las cuales tienen una capacidad total de  $30,280 \text{ m}^3$ . Aproximadamente el 25% del total de agua filtrada se almacena en las pilas de almacenamiento de la planta y mediante el uso de cinco bombas centrifugas de turbina vertical se envía el agua al sistema de distribución de alta presión, y el resto 75%, se envía a través de gravedad, mediante valvulas al sistema de baja

presión de la ciudad.

### 3.3.6. Químicos utilizados en el proceso de potabilización

Los siguientes químicos son utilizados durante el proceso de potabilización en la planta tratadora Mount Carmel:

- Amonia ( $\text{NH}_3$ ); este químico es aplicado continuamente, en forma de gas, para la producción de cloraminas (al mezclarse con el  $\text{Cl}_2$ ), y poder mantener un buen residuo de cloro combinado en todo el sistema de distribución.
- Carbón activado en polvo; es utilizado ocasionalmente para el control de eventos de sabor y olor desagradable en el agua.
- Cloro; en forma de gas, es utilizado continuamente para la desinfección y el control de sabor y olor.
- Fluoruro; es utilizado continuamente para el cuidado dental.
- Hidróxido de calcio; utilizado ocasionalmente para el ajuste del pH.
- Sulfato de aluminio; es utilizado continuamente para la coagulación de partículas y material orgánico.

En la figura 3, se pueden observar cada uno de los diferentes pasos que

ocurren durante el proceso de potabilización, desde que el agua sale del lago Waco, hasta que es enviada al sistema de distribución, al igual que los puntos de aplicación de los diferentes químicos, y los tiempos de retención en cada una de las etapas.

### 3.3.7. Dimensiones y volúmenes de las pilas

Las características físicas por cuanto a las dimensiones y volúmenes de la pilas, de la planta potabilizadora Mount Carmel, son las que a continuación se presentan:

#### Pilas de las Mezcladoras Rápidas;

##### Dimensiones:

Largo	3.00 (m)
Ancho	3.00 (m)
Profundidad	5.20 (m)

##### Volúmenes:

Nº de Pilas	4
Volúmen (‰)	46.80 (m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	187.20 (m <sup>3</sup> )

#### Pilas de las Mezcladoras Lentas;

##### Dimensiones:

Largo	6.70 (m)
Ancho	22.55 (m)
Profundidad	5.20 (m)

## Volúmenes:

Nº de Pilas	4	
Volúmen (%)	785.60	(m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	3,142.40	(m <sup>3</sup> )

Pilas de Sedimentación Primario;

## Dimensiones:

Largo	34.75	(m)
Ancho	22.55	(m)
Profundidad	5.20	(m)

## Volúmenes:

Nº de Pilas	4	
Volúmen	4,074.78	(m <sup>3</sup> )
Volúmen	16,299.12	(m <sup>3</sup> )

Separadores de Flujo Intermedio;

## Dimensiones:

Largo	3.00	(m)
Ancho	22.55	(m)
Profundidad	5.20	(m)

## Volúmenes:

Nº de Pilas	4	
Volúmen (%)	351.78	(m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	1,407.12	(m <sup>3</sup> )

Reguladores de Flujo Intermedio;

## Dimensiones:

Largo	3.96	(m)
Ancho	22.55	(m)
Profundidad	5.20	(m)

## Volúmenes:

Nº de Pilas	4	
Volúmen (‰)	464.35	(m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	1.857.40	(m <sup>3</sup> )

Pilas de Sedimentación Secundario:

## Dimensiones:

Largo	35.05	(m)
Ancho	22.55	(m)
Profundidad	5.20	(m)

## Volúmenes:

Nº de Pilas	4	
Volúmen (‰)	4,109.96	(m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	16,439.84	(m <sup>3</sup> )

Filtros de Arena Rápida:

## Dimensiones:

Largo	8.90	(m)
Ancho	10.65	(m)
* Profundidad	1.35	(m)

## Volúmenes:

Nº de Filtros	16	
Volúmen (‰)	127.96	(m <sup>3</sup> )
Volúmen (total)	2,047.36	(m <sup>3</sup> )

\* No se consideró la profundidad del medio de filtración, sólo la del agua.



## Fuente de Suministro "Lago"

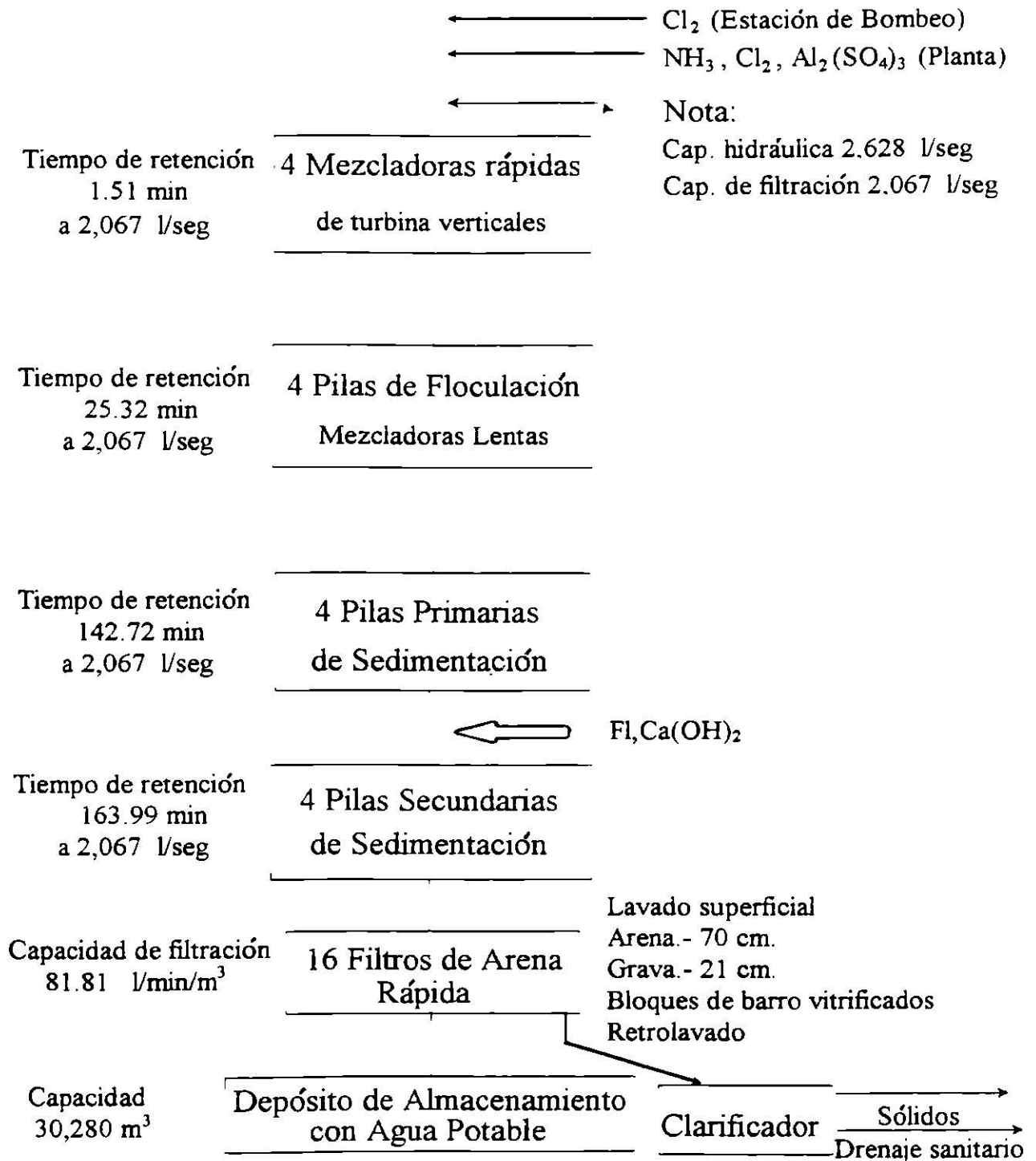


Figura 3. Diagrama descriptivo del proceso de potabilización, desde la fuente de suministro, hasta que el agua sale de la planta potabilizadora hacia el sistema de distribución.

### 3.4. Metodología de muestreo y análisis

Como un proceso de rutina, muestras son tomadas semanalmente de cada una de las estaciones de muestreo en el lago Waco (fig.1), al igual que diariamente en la estación de bombeo, que envía agua a través de la línea de transmisión hacia la planta potabilizadora Mount Carmel. Las muestras son colectadas, etiquetadas, transportadas y analizadas por el personal del propio laboratorio de la planta potabilizadora.

Los análisis que se realizan diariamente al agua que llega a la estación de bombeo incluyen los siguientes; organolépticos, turbidez, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto, temperatura, % de saturación, cloruros, sólidos totales disueltos, dureza, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, amonía, nitratos y sólidos totales suspendidos.

#### 3.4.1. Sabor y olor

El criterio que se utilizó para registrar los eventos de sabor y olor desagradables fue el siguiente;

Con el N° 1.- Sin sabor y olor desagradable

Con el N° 2.- Con sabor y olor desagradable

Estos eventos fueron detectados mediante la aplicación de análisis organolépticos efectuados al agua que llega a la estación de bombeo, al agua que sale de la planta hacia el sistema de distribución, al igual que de muestras tomadas de diferentes puntos del sistema de distribución de reportes hechos por consumidores, estas quejas fueron recibidas inmediatamente después que el evento de sabor y olor desagradable fue detectado en la planta potabilizadora.

#### 3.4.2. Turbidéz

La turbidéz en el agua es causada por la presencia de material en suspensión, tales como; arcillas, lodo, materia orgánica muy fina, algas y otros organismos microscópicos. Debido a que la turbidéz no tiene relación directa con el peso de la concentración del material suspendido, los resultados son reportados en Unidades de Turbidéz Nefelométricas (N.T.U.), en vez de mg/l ó ppm.

El método que se utilizó para la medición de la turbidéz, en las muestras de agua, fue el Nephelometric 2130 B, establecido por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, al instrumento utilizado para la medición de la turbidéz se le conoce como turbidímetro.

### 3.4.3. Alcalinidad

La alcalinidad es la medida de la cantidad de ciertas sustancias disueltas en el agua, capaces de neutralizar ácidos. Es importante conocer la alcalinidad presente en el agua para poder establecer medidas en el control de corrosión en la planta potabilizadora, mediante la aplicación de hidróxido de calcio.

La alcalinidad se determinó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, utilizando el método de titulación 2320 B, basado en el cambio de color en la muestra; se representa en mg/l.

### 3.4.4. pH

El pH, es la medida de la actividad de iones hidrógeno ( $H^+$ ), presentes en el agua, el cual indica la condición ácida o básica del agua. La acidez del agua es una capacidad cuantitativa para reaccionar con una base a un determinado pH. El pH es extremadamente importante, ya que es un factor que afecta la disponibilidad de nutrientes hacia plantas y animales; en parte controla la concentración de toda sustancia activa bioquímicamente disuelta en el agua.

El pH se determinó siguiendo el método 2310 establecido por Standard

Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, y mediante la utilización de un analizador de iones expandible marca Orión, modelo EA 940.

#### 3.4.5. Oxígeno disuelto (O.D.)

Se define como la cantidad de oxígeno presente en el agua en un estado disuelto, el cual es disponible para respiración. La cantidad, o concentración de oxígeno disuelto es controlado por muchos factores tales como; el consumo por organismos aeróbicos, plantas, y temperatura del agua. Comúnmente se reporta en partes por millón (por el peso) ó en miligramos por litro de oxígeno en el agua.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método Electrométrico 4500-O A, y la utilización del instrumento medidor de oxígeno, marca Orión modelo 860, que utiliza electrodos de membrana. Este análisis se efectuó en el lugar que se tomó la muestra.

#### 3.4.6. Temperatura

La temperatura del agua se midió en el lugar de muestreo (Estación de bombeo), mediante la utilización de un termómetro Baxter (Scientific products),

modelo 2002-2, 1 mm, y con graduaciones desde  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $110^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.4.7. % de saturación

El % de saturación es la relación que existe entre el oxígeno disuelto presente en el agua a una determinada temperatura. Para la determinación del % de saturación se utilizó el instrumento medidor de oxígeno, marca Orión modelo 860, que utiliza electrodos de membrana: se representa en mg/l.

#### 3.4.8. Cloruros

Los cloruros son uno de los mayores aniones inorgánicos presentes en el agua, a estos se les atribuye el sabor salado presente en el agua potable. Un alto contenido de cloruros, en el agua puede dañar tuberías metálicas y estructuras en la red de distribución, además de afectar el crecimiento de las plantas .

Mediante la aplicación del método Argentométric 4500-Cl<sup>-</sup> B, descrito en Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, se determinó la cantidad de cloruros presentes en la muestra; se representa en mg/l.

#### 3.4.9. Sólidos totales disueltos (S.T.D.)

Los sólidos totales disueltos, es una medida de los metales alcalinos de la tierra y sus sales disueltas o en suspensión. Los sólidos podrían afectar la cantidad de agua en muchas formas; aguas con un alto contenido de sólidos disueltos son de inferior palatabilidad. La cantidad de sólidos disueltos se determinó mediante la utilización del instrumento medidor de conductividad digital, marca Fisher scientific, model 09-326-2; se representa en mg/l.

#### 3.4.10. Dureza

Esta es una medida de la capacidad del agua para precipitar el jabón, debido a los iones de calcio y magnesio presentes en el agua, ambos se presentan como carbonato de calcio y en mg/l, además sólo puede ser removida mediante la aplicación de Hidróxido de calcio.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método Titrimétrico EDTA 2340 C, basado en el cambio de color de la muestra.

#### 3.4.11. Conductividad

La conductividad es una medida de la resistencia de una solución a un flujo eléctrico. Este parámetro es importante ya que indica la cantidad de sustancias disueltas (sales) o la fuerza iónica.

La conductividad se determinó mediante la utilización del instrumento medidor de conductividad digital, marca Fisher scientific, model 09-326-2; se representa en  $\mu\text{mho/cm}$ .

#### 3.4.12. Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.)

La demanda bioquímica de oxígeno es un análisis empírico en el cual procedimientos de laboratorio estandarizados son utilizados para determinar el oxígeno requerido por el metabolismo de plantas y animales aeróbicos sobre un período de tiempo.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método 5210 A, y la utilización del instrumento; medidor de oxígeno, marca orión modelo 860, que utiliza electrodos de membrana; se representa en  $\text{mg/l}$ .



#### 3.4.13. Amonia

Amonia está presente en el agua en concentraciones variables. Como producto de actividad microbiológica, el contenido de amonia es un indicador de desechos frescos presentes en el agua, ésta es una evidencia química de contaminación por desechos sanitarios humanos y de animales, presentes en el agua. En algunas plantas de potabilización, amonia es agregada con el residuo de cloro, para la formación de cloraminas.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método 4500-NH<sub>3</sub> C, y la utilización de un espectrofotómetro modelo DR 3000; se representa en mg/l.

#### 3.4.14. Nitratos

El nitrato representa la fase de oxidación más alta en el ciclo del nitrógeno, y normalmente alcanza concentraciones importantes en su estado final de oxidación biológica. Generalmente está presente en cantidades muy pequeñas en las fuentes de suministro de agua, si se encuentran concentraciones de algunas ppm en la fuente de suministro, podría indicar contaminación por parte del drenaje

sanitario o de otra materia orgánica. En cantidades excesivas en el agua potable, contribuye a la enfermedad conocida como methemoglobinemia infantil (niños azules), debido a que el nitrato oxida la hemoglobina, impidiéndole transportar el oxígeno en la sangre.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método 4500-NO<sub>3</sub>-B, y la utilización de un espectrofotómetro modelo DR 3000; se representa en mg/l.

#### 3.4.15. Sólidos totales suspendidos (S.T.S.)

Se define como los sólidos que están físicamente suspendidos en solución, no disueltos. Este procedimiento no mide contaminación específica, pero indica el residuo no filtrable por volumen de agua, el cual es secado a temperatura constante y luego pesado.

La determinación de este análisis se efectuó siguiendo la metodología establecida por Standard Methods, 18<sup>th</sup> edition 1992, a través del método 2540 B, en el cual se utiliza un horno de secado de 103 a 105°C; se representa en mg/l.

1

BIBLIOTECA

### **3.5. Herramientas de microcomputación estadística**

Esta tesis fue realizada mediante la utilización de diferentes paquetes computacionales integrados en una computadora Hewlett Packard en la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. :

- Word Perfect versión 6.0a para windows, en la escritura.
- Lottus 1-2-3 versión 4.0 para windows, en la organización estadística.
- S.P.S.S. (Statistical Package for the Social Science), en los análisis estadísticos.

Para los análisis estadísticos se utilizó la información obtenida en los años 1991, 1992 y 1993. En cada año se dividió la información en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. Estos períodos fueron comparados en cada una de las variables antes descritas por medio de un análisis de varianza utilizando el diseño experimental completamente al azar. En los análisis se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

La relación entre las variables estudiadas se realizó por medio de correlaciones simples, utilizando también un nivel de significancia de 0.05.

# RESULTADOS Y DISCUSION

## 4.1. Resultados de análisis químicos

En función de la metodología seguida sistemáticamente para el análisis de los componentes químicos y físicos, realizados al agua del Lago Waco, en la estación de bombeo, que suministra a la planta potabilizadora Mount Carmel se presentan los resultados en los cuadros 2, 3 y 4 de los análisis para catorce variables estudiadas durante los años de 1991, 1992 y 1993.

### 4.1.1. Comparación de medias

Haciendo uso del paquete estadístico S.P.S.S., y utilizando los datos de las variables listadas en los cuadros 2, 3 y 4, se hicieron los análisis de comparación de medias, utilizando las catorce variables bajo estudio durante dos períodos; es decir ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. Lo anterior se realizó para los años 1991, 1992 y 1993; los resultados de dicha comparación de medias se presentan en los cuadros 5, 6 y 7. Para cada variable se obtuvo la media en cada uno de los períodos (ausencia y presencia de olor desagradable) y se compararon utilizando un análisis de varianza.

Cuadro 2. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1991.

Fecha	Evento	Turb. sabor	Alcali. N.T.U.	pH	O.D. mg/L	Temp. °C.	% Sat.	Cloruros mg/L	S T.D. mg/L	Dureza mg/L	Conduc. umho/cm	D.B.O. mg/L	NH3 (N) mg/L	Nitratos mg/L	S.T.S. mg/L
01/03/91	1	9.4	131	7.95	11.7	8	99	25	175	138	375	1.83	0.15	0.11	30
01/07/91	1	8.8	128	8.2	10.1	9	89	24	170	130	275	1.36	0.01	0.13	25
01/14/91	1	8.4	128	8.01	11.5	9	99	23	160	132	300	1.33	0.1	0.04	17
01/21/91	1	11.2	131	8.14	11	9	96	23	200	136	270	2.1	0.09	0.06	12
01/28/91	1	9.8	127	7.96	11.3	9	98	22	165	138	168	2	0.13	0.8	6
02/06/91	1	6.9	132	7.89	10.9	11	98	25	190	130	385	1.78	0.06	0.6	1
02/14/91	1	3.2	140	8.24	10.4	12	96	26	180	148	396	1.2	0.02	0.9	3
02/19/91	1	2.9	138	8.01	10	12	93	23	185	152	443	1.23	0.1	0.8	4
02/27/91	1	3.6	140	8.06	10.5	11	101	25	180	152	320	1.3	0.1	1.1	10
03/07/91	1	3.2	143	8.06	9.1	15	89	25	195	158	350	1.03	0.09	1.2	5
03/13/91	1	3.1	141	8.12	8.63	15	85	24	185	150	310	0.7	0.04	1.1	4
03/20/91	1	4.5	148	7.91	8.77	15	87	24	190	156	438	0.8	0.08	1.1	10
03/26/91	1	3.4	139	7.56	8.6	18	91	24	250	160	346	0.8	0.11	1	8
04/02/91	1	3.2	143	8.09	8.52	17	87	26	190	154	378	0.6	0.12	0.9	2
04/11/91	1	2.6	145	8	7.86	19	85	24	180	154	367	1.26	0.05	1.1	2
04/19/91	1	4.6	122	8.12	8.03	21	90	24	170	162	381	0.86	0.05	0.8	5
04/24/91	1	10	125	8.01	7.6	21	84	24	190	162	374	3.2	0.13	1.1	5
05/01/91	1	5.1	121	8.14	7.89	22	90	22	175	150	260	0.54	0.08	0.8	5
05/08/91	1	7.9	121	8.14	7.78	21	88	24	180	148	315	0.48	0.11	0.9	12
05/13/91	1	3.5	119	8.02	7.9	24	92	21	175	146	365	0.6	0.09	0.8	3
05/20/91	1	7.1	125	7.88	6.7	23	78	20	155	148	350	0.87	0.07	0.8	15
05/30/91	1	5	113	7.72	5.88	26	75	22	175	146	325	0.67	0.14	0.05	11
06/03/91	1	2.9	108	8.14	7.4	28	95	23	160	142	315	0.89	0.16	1.1	11
06/12/91	1	2.5	110	7.82	7.37	26	91	22	180	138	335	2.31	0.19	0.6	2
06/19/91	1	0.8	108	7.74	6.23	27	78	20	165	132	365	1.41	0.29	0.06	17
06/27/91	1	4.2	102	7.66	5.59	30	74	20	165	124	330	1.05	0.07	0.08	11
07/01/91	2	1.8	104	7.74	6.23	30	82	23	185	130	320	0.37	0.05	0.09	1
07/09/91	2	1.2	105	7.75	6.5	29	101	22	185	124	310	1.5	0.09	0.5	6
07/15/91	2	0.6	100	7.75	4.51	30	59	19	160	120	315	0.3	0.02	0.7	0
07/22/91	2	1.2	97	7.69	4.74	28	60	20	180	118	320	0.28	0.05	0.05	7
07/29/91	2	1.4	98	7.76	5.4	28	68	20	175	116	300	0.23	0.02	0.04	0
08/05/91	2	1.3	90	7.68	6.35	29	83	22	160	110	332	0.11	0.01	0.09	14
08/15/91	2	4	97	7.65	4.91	30	66	21	165	110	290	0.23	0.01	0.04	7
08/19/91	2	2.5	112	7.8	7.64	28	96	21	155	106	295	1.62	0.05	0.04	5
08/26/91	2	2.1	102	7.68	5.89	28	75	20	200	106	280	0.12	0.1	0.03	4
09/03/91	1	7.8	112	7.72	5.05	28	65	23	165	130	283	0.48	0.06	0.3	40
09/12/91	1	5.5	105	7.62	4.75	29	62	21	160	104	290	1.5	0.1	0.03	12
09/19/91	1	1.9	106	7.71	6.04	29	77	21	170	112	271	0.63	0.07	0.4	14
09/23/91	1	8.5	109	7.86	6.65	26	82	20	155	106	276	0.7	0.05	0.01	16
09/30/91	1	4.2	111	7.76	6.37	24	76	20	160	110	280	1.13	0.22	0.05	0.01
10/09/91	1	1.4	111	7.63	7.7	24	90	20	185	118	262	0.1	0.1	0.4	11
10/16/91	1	1.8	116	7.72	9.4	24	112	20	170	120	261	0.1	0.12	0.4	8
10/22/91	1	1.3	112	7.73	8.5	23	99	21	170	112	268	1.7	0.03	0.5	13
10/29/91	1	1.2	110	7.81	8.2	23	95	21	160	118	258	0.7	0.04	0.04	27
11/04/91	1	15.6	113	7.86	8.5	18	89	21	195	110	260	0.1	0.16	0.08	6
11/11/91	1	17.1	116	7.85	8.9	16	89	20	185	114	240	1.6	0.11	0.03	8
11/19/91	1	6.9	118	8.02	9	17	93	21	185	120	240	0.85	0.09	0.5	13
11/26/91	1	6	123	8.08	10.3	16	103	21	198	124	239	2	0.11	0.4	6
12/03/91	1	4.2	128	7.96	8.5	16	85	20	200	131	265	1.5	0.05	0.06	5
12/09/91	1	6	127	8.25	9.1	15	89	20	200	132	260	0.8	0.11	0.07	0
12/16/91	1	5.8	136	8.05	8.8	15	86	21	165	137	278	0.6	0.07	0.08	18
12/23/91	1	18.4	123	8.02	8.9	14	85	15	115	108	210	0.9	0.12	0.6	70
12/31/91	1	14.2	99	7.73	8.2	13	78	12	115	102	185	1.2	0.03	0.6	13

BIBLIOTECA MOUNT CARMEL

Fuente - Los resultados de los análisis fueron obtenidos del archivo del laboratorio, de la propia planta potabilizadora Mount Carmel.

Cuadro 3. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1992.

Fecha	Evento	Turb.	Alcali	pH	O.D.	Temp.	%	Cloruros	S T.D.	Dureza	Conduc	D.B.O	NH3 (N)	Nitratos	S.T.S.
	sabor	N.T.U.	mg/L		mg/L	° C.	Sat.	mg/L	mg/L	mg/L	umho/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
01/07/92	1	15.8	102	7.78	8.5	12	78	13	110	112	203	8.3	0.01	0.6	10
01/14/92	1	15.5	113	7.58	8.9	12	83	16	140	124	230	7.8	0.08	0.7	7
01/21/92	1	13.7	129	7.84	10.7	10	94	16	130	142	235	9.1	0.11	0.8	29
01/27/92	1	10.2	155	8.1	9.3	11	84	20	215	174	292	8.8	0.06	1	34
02/03/92	1	10.3	160	7.94	9	12	83	20	235	186	310	8.6	0.06	1.4	12
02/10/92	1	11.8	168	8.08	9.3	11	85	23	245	196	390	7.9	0.06	0.6	16
02/18/92	1	8.3	165	7.95	9.2	13	88	21	224	190	336	9.8	0.4	2.2	10
02/24/92	1	5.7	168	8.1	8.9	14	86	24	211	194	315	8.3	0.3	1.2	6
03/05/92	1	6.8	162	7.79	8.5	15	85	25	304	200	442	8.9	0.08	1.1	11
03/11/92	1	4.5	158	8.01	8.6	16	87	22	293	194	440	0.2	0.08	1.2	8
03/18/92	1	4.5	161	7.86	9.3	20	126	21	282	190	420	1.3	0.09	1.2	9
03/23/92	1	4.7	166	7.91	8.1	17	84	21	275	182	409	1.2	0.13	1.1	3
04/02/92	1	9.2	175	8.09	8	17	82	21	299	202	449	9.6	0.06	0.04	18
04/08/92	1	5.2	187	7.68	9.2	18	97	26	322	202	471	8.5	0.01	0.9	31
04/13/92	1	4.1	184	7.88	7.7	20	85	23	340	220	507	0.7	0.22	1.1	19
04/20/92	1	4.2	184	7.91	7	21	79	27	349	240	542	6.7	0.03	1.4	16
04/27/92	1	4	196	7.98	7	19	77	26	257	240	386	6	0.01	1.2	12
05/05/92	1	15.5	163	7.76	6.8	21	76	31	375	230	380	6.7	0.04	1	12
05/12/92	1	3.9	168	7.78	7.5	21	84	32	251	216	376	6	0.09	1.4	17
05/18/92	1	3.1	175	8.03	8.5	22	98	30	253	220	379	7	0.18	1.1	4
05/26/92	1	3.7	157	7.97	8.3	24	99	32	242	204	351	8.2	0.05	1.2	13
06/02/92	2	11.9	165	7.94	7.2	20	79	29	323	198	486	5.9	0.04	1.2	11
06/08/92	2	1.6	158	8.03	8.4	21	94	23	318	190	479	8	0.03	1.1	10
06/15/92	2	1	145	7.88	6.8	25	82	31	287	176	426	6	0.07	0.9	2
06/22/92	2	5.3	150	7.39	5.5	26	68	27	286	174	423	5.1	0.03	0.7	3
06/29/92	2	1.5	157	7.66	5	26	62	30	279	170	420	0.5	0.01	0.8	4
07/06/92	2	2.6	140	7.89	5	27	63	24	210	186	455	1.49	0.06	0.9	12
07/16/92	2	24.9	138	7.91	7.1	27	89	30	209	174	316	0.8	0.33	0.6	14
07/20/92	2	15.3	137	8.14	6.4	25	77	26	210	186	316	1	0.04	0.6	24
07/27/92	2	19.4	146	7.97	7.7	26	95	34	214	164	325	0.7	0.56	0.6	23
08/03/92	2	13.2	125	7.84	7.2	21	81	30	217	160	327	0.1	0.02	0.6	8
08/10/92	2	10.4	142	7.87	9	29	116	34	205	170	311	0.32	0.14	0.6	27
08/17/92	2	12.2	145	7.95	7.8	25	94	35	208	150	313	0.4	0.04	0.4	11
08/24/92	2	10.6	142	7.94	9.1	25	110	33	218	146	329	1.4	0.04	0.6	7
08/31/92	2	6.8	140	7.94	7.5	22	86	33	209	144	314	0.6	0.02	0.4	6
09/09/92	2	13.7	138	7.94	7.7	25	92	35	204	142	304	0.9	0.01	0.4	8
09/14/92	2	3.8	137	7.34	7.8	23	91	32	193	136	400	0.9	0.03	0.5	3
09/21/92	2	3.1	143	7.8	6.7	25	81	34	198	134	408	0.7	0.6	0.4	4
09/28/92	2	7.3	132	7.89	6.4	22	74	29	194	138	393	1.6	0.13	0.4	8
10/05/92	1	8.9	139	7.99	6.4	20	70	35	169	148	347	0.7	0.08	0.4	7
10/12/92	1	4	127	7.93	6.9	21	79	33	210	144	424	0.5	0.02	0.5	12
10/19/92	1	8.4	135	7.76	8.7	18	92	31	205	140	416	1.7	0.01	0.3	8
10/26/92	1	9.9	126	7.98	8.6	19	95	35	209	140	382	1.1	0.02	0.2	15
11/02/92	1	5.6	129	7.98	7.4	18	78	33	196	148	387	1.6	0.09	0.5	10
11/09/92	1	14.2	145	8.17	8.2	18	88	34	259	144	388	0.7	0.03	0.3	19
11/16/92	1	9.5	138	7.9	9.3	16	94	34	188	146	385	1.7	0.07	0.3	11
11/23/92	1	3.6	136	7.85	9.4	12	87	33	198	150	402	1.1	0.02	0.4	8
11/30/92	1	5	138	7.91	9.5	12	90	36	185	150	352	0.7	0.08	0.5	27
12/07/92	1	7.2	141	8.09	10	10	91	31	190	164	369	2	0.16	0.5	9
12/14/92	1	6.6	132	8.13	10.1	9.5	87	31	188	144	254	0.8	0.1	0.2	10
12/21/92	1	4.9	131	8.14	9.2	10.2	81	30	180	136	340	0.7	0.08	0.4	1
12/28/92	1	6	135	8.01	9.4	10.1	83	32	195	138	355	1.8	0.09	0.5	4

Fuente.- Los resultados de los análisis fueron obtenidos del archivo del laboratorio, de la propia planta potabilizadora Mount Carmel.

Cuadro 4. Resultados de los análisis químicos y físicos, realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, que suministra a la planta potabilizadora Mount Carmel, del año 1993.

Fecha	Evento olor	Turb. N.T.U.	Alcali. mg/L	pH	O.D. mg/L	Temp. ° C.	% Sat.	Cloruros mg/L	S.T.D. mg/L	Dureza mg/L	Conduc. umho/cm	D.B.O. mg/L	NH3 (N) mg/L	Nitratos mg/L	S.T.S. mg/L
01/04/93	1	6.8	146	8.11	8.9	10	79	27	205	118	320	8.2	0.09	0.7	7
01/12/93	1	7.3	157	7.89	9.8	10	89	32	195	108	325	1.6	0.07	0.8	4
01/18/93	1	6.9	144	7.89	9.2	10	89	29	200	144	368	8.5	0.04	0.8	19
01/25/93	1	8.9	140	8.06	10.2	10	87	35	200	120	330	2	0.02	0.6	6
02/01/93	1	6.2	136	7.31	10.1	8	86	34	200	128	342	0.9	0.08	0.4	7
02/08/93	1	5.8	146	8.04	9.9	9	93	31	200	114	359	1.7	0.15	1	4
02/15/93	1	5.4	149	7.93	9.4	9	81	30	200	139	308	1.2	0.07	1	7
02/22/93	1	5.6	163	8.14	10	9	86	33	200	123	360	1	0.06	0.4	6
03/01/93	1	8	166	7.38	8.8	10	78	33	204	124	320	0.6	0.19	1.2	4
03/08/93	1	5.6	173	8.06	6.83	10	60	32	225	128	330	1.47	0.13	0.5	14
03/15/93	1	6.1	179	8.1	8.6	10	78	30	220	110	327	0.6	0.05	0.8	5
03/22/93	1	4.9	170	8.1	8.8	15	87	32	296	152	466	1.3	0.02	1.1	4
03/29/93	1	23	173	8.04	8.5	14	84	27	221	142	431	1	0.01	1.4	9
04/05/93	1	1.5	170	7.77	7.3	14	71	26	334	158	458	0.6	0.26	1.2	1
04/12/93	1	5.5	195	7.78	7.3	15	72	30	239	160	380	0.6	0.12	0.05	11
04/19/93	1	17.6	180	8.02	8.7	20	80	30	243	190	378	1.8	0.19	0.9	16
04/26/93	1	8.3	167	8.15	7.8	17	80	30	258	190	520	0.3	0.22	0.7	2
05/03/93	1	3.2	172	7.98	7.5	17	77	27	270	180	266	0.5	0.11	1.1	5
05/10/93	1	7.1	176	7.69	7.4	18	78	32	272	230	407	0.5	0.21	1	9
05/17/93	1	3.1	180	7.88	6.9	19	74	31	243	240	362	0.2	0.14	0.07	3
05/26/93	1	12.5	183	7.96	7.4	20	81	32	267	186	397	0.9	0.07	0.8	4
06/01/93	1	3.8	170	7.91	7.2	22	83	32	263	180	529	0.9	0.13	0.9	3
06/07/93	1	2.7	163	7.91	6	22	69	33	273	182	573	1	0.1	0.9	7
06/14/93	1	5	171	7.94	6.5	23	76	31	263	191	519	0.3	0.1	0.4	6
06/21/93	1	4.7	168	7.71	7	25	84	34	266	174	262	1.5	0.11	0.7	5
06/28/93	1	4.8	151	7.95	6.7	25	81	33	278	158	278	0.4	0.02	0.5	3
07/06/93	1	2.5	146	7.96	9.7	270	121	32	222	152	452	3.9	0.07	0.7	3
07/12/93	1	5.1	145	7.99	5.8	25	70	31	220	150	329	0.2	0.01	0.5	7
07/19/93	1	5.1	145	8.01	6.8	27	85	34	225	150	341	0.8	0.15	0.7	8
07/29/93	1	8	133	7.95	6.9	27	86	34	225	160	335	1.1	0.09	0.5	8
08/02/93	2	5.5	131	7.44	5.5	29	71	34	204	150	307	0.1	0.17	0.7	18
08/09/93	2	5.5	125	7.88	5.1	27	64	35	276	141	421	0.5	0.07	0.3	9
08/16/93	2	5.3	120	7.91	6.7	29	87	35	206	141	311	1.7	0.01	0.3	5
08/23/93	2	1.8	115	8	5.8	27	72	32	213	140	449	0.5	0.03	0.4	3
08/30/93	2	5.1	117	7.81	4.3	28	55	35	293	140	412	3.5	0.1	0.4	2
09/07/93	2	9.2	117	8.07	4.3	26	35	35	210	140	314	3.5	0.12	0.3	12
09/13/93	2	5	117	8.26	5.9	26	73	39	201	132	402	0.2	0.12	0.3	4
09/20/93	2	5.4	115	8.19	6.5	25	79	34	206	132	103	0.3	0.01	0.3	8
09/27/93	2	7.4	105	8.11	5.3	24	63	32	204	136	399	0.6	0.11	0.1	7
10/04/93	1	12	110	8.07	5.1	23	59	35	208	134	410	1.1	0.08	0.2	4
10/11/93	1	7.14	110	7.72	5.4	22	62	37	218	132	423	0.2	0.08	0.1	10
10/18/93	1	3.7	116	7.82	5.5	22	63	39	215	140	424	0.1	0.1	0.2	20
10/25/93	1	8.5	113	7.77	5.8	16	59	35	202	136	448	0.8	0.02	0.2	7
11/02/93	1	14	116	8.24	8	16	81	35	208	136	423	0.3	0.07	0.1	1
11/08/93	1	15.5	121	8.24	8.8	13	84	36	205	134	415	1.4	0.06	0.01	18
11/15/93	1	12	118	8.18	8.5	13	81	34	199	136	310	0.9	0.06	0.1	7
11/22/93	1	8.5	120	8.16	8.6	13	82	33	198	142	318	0.6	0.05	0.2	13
11/29/93	1	7.4	120	8.18	9.9	11	90	35	198	140	310	0.6	0.07	0.1	7
12/06/93	1	7.8	119	8.36	9.3	13	89	35	199	136	335	1.1	0.1	0.3	4
12/13/93	1	5	123	8.19	9.2	13	88	37	199	134	440	0.7	0.1	0.2	3
12/20/93	1	6.6	135	8.27	8.8	11	80	35	157	138	246	3.8	0.04	0.2	4
12/27/93	1	6.2	128	8.23	9.5	10	85	34	101	152	185	0.7	0.01	0.2	4

Fuente.- Los resultados de los análisis fueron obtenidos del archivo del laboratorio, de la propia planta potabilizadora Mount Carmel.

Los resultados para el año 1991 (Cuadro 5), mostraron diferencia significativa entre periodos en las siguientes variables: alcalinidad, dureza, amonia, nitratos, oxígeno disuelto, pH, % de saturación y temperatura. Las diferencias más marcadas se encontraron en alcalinidad, oxígeno disuelto y temperatura.

Cuadro 5. Medias de características químicas del agua en dos periodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta potabilizadora Mount Carmel del año 1991.

VARIABLE	SIN SABOR Y OLOR	CON SABOR Y OLOR	p
Alcalinidad	122.8	100.56	** 0.000
Conductividad	306.65	306.89	0.991
Cloruros	21.89	20.89	0.278
D.B.O.	1.53	0.53	0.082
Dureza	133.95	115.56	** 0.004
NH <sub>3</sub>	0.10	0.04	** 0.007
Nitratos	0.51	0.18	* 0.021
O.D.	8.42	5.8	** 0.000
pH	7.93	7.72	** 0.001
% Saturación	88.25	76.67	** 0.005
S.T.D.	175.86	173.89	0.795
S.T.S.	11.29	4.89	0.132
Temperatura	18.82	28.89	** 0.000
Turbidéz	10.43	1.79	0.355

\*\* Diferencia altamente significativa

\* Diferencia significativa



En el año de 1992 (Cuadro 6), las variables que presentaron diferencia significativa entre los períodos de sabor y olor desagradable fueron; cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y temperatura. Con una diferencia más marcada en estas dos últimas variables (oxígeno disuelto y temperatura).

Cuadro 6. Medias de características químicas del agua en dos períodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta potabilizadora Mount Carmel del año 1992.

VARIABLE	SIN SABOR Y OLOR	CON SABOR Y OLOR	p
Alcalinidad	151.41	143.33	0.152
Conductividad	372.47	374.72	0.914
Cloruros	27.00	30.50	* 0.036
D.B.O.	4.55	2.18	* 0.016
Dureza	175.00	163.22	0.200
NH <sub>3</sub>	0.09	0.12	0.360
Nitratos	0.81	0.65	0.194
O.D.	8.57	7.13	** 0.000
pH	7.94	7.85	0.077
% Saturación	86.91	85.22	0.615
S.T.D.	233.06	232.33	0.965
S.T.S.	12.88	10.28	0.253
Temperatura	15.88	24.44	** 0.000
Turbidez	7.60	9.14	0.296

\*\* Diferencia altamente significativa

\* Diferencia significativa

Para el año de 1993 (Cuadro 7), las variables que presentaron diferencia significativa entre los periodos de sabor y olor desagradable fueron; alcalinidad, cloruros, oxígeno disuelto, y % de saturación. Con una mayor diferencia en las variables alcalinidad y oxígeno disuelto.

Cuadro 7. Medias de características químicas del agua en dos periodos: ausencia y presencia de sabor y olor desagradable. En la estación de bombeo del Lago Waco, que suministra de agua a la planta potabilizadora Mount Carmel del año 1993.

VARIABLE	SIN SABOR Y OLOR	CON SABOR Y OLOR	p
Alcalinidad	148.98	118.00	** 0.000
Conductividad	373.47	346.44	0.393
Cloruros	32.49	34.56	* 0.045
D.B.O.	1.35	1.21	0.829
Dureza	150.49	139.11	0.254
NH <sub>3</sub>	0.09	0.08	0.680
Nitratos	0.71	0.34	0.301
O.D.	8.01	5.49	** 0.000
pH	7.98	7.96	0.860
% Saturación	80.19	66.56	** 0.002
S.T.D.	224.05	223.67	0.979
S.T.S.	6.95	7.56	0.729
Temperatura	21.77	26.78	0.705
Turbidez	7.33	5.58	0.228

\*\* Diferencia altamente significativa

\* Diferencia significativa

El oxígeno disuelto presentó diferencia significativa en los tres años. En todos los años se observaron mayores valores de oxígeno disuelto en el periodo en que no se presentaron sabores y olores desagradables. En la figura 1 del apéndice, se observan las gráficas del oxígeno disuelto en función del tiempo en los tres años estudiados. En las figuras se observa que los periodos de sabor y olor desagradable coinciden con los valores más bajos de oxígeno disuelto.

La alcalinidad presentó diferencia significativa en dos de los años estudiados (1991 y 1993), encontrándose en ambos mayores valores de alcalinidad en el periodo en que no se presentó sabor y olor desagradable (figura 2, del apéndice).

El % de saturación también presentó diferencia significativa en los años 1991 y 1993, encontrándose % de saturación más altos para el periodo en que no se presentó sabor y olor desagradable (figura 3 del apéndice).

Los cloruros presentaron diferencia significativa en los años 1992 y 1993, con valores menores para el periodo en donde no ocurrió sabor y olor desagradable; sin embargo, las diferencias no son muy importantes

estadísticamente (figura 4 del apéndice).

La temperatura fue diferente entre los periodos 1991 y 1992, con temperaturas más bajas para aquel en donde no se presentó sabor y olor desagradable (figura 5 del apéndice).

En general cuando se presentó el evento de sabor y olor desagradable en el agua; los valores de oxígeno disuelto, alcalinidad y % de saturación fueron bajos, mientras que los valores de temperatura y cloruros fueron altos. En el apéndice, se presentan las figuras 1, 2, 3, 4, 5, las cuales muestran los valores de las variables en función del tiempo.

Así mismo, las variables; pH, dureza y amonía se presentan con diferencias altamente significativas, aunque esto sólo ocurrió durante el año 1991 (figuras 6, 7, 8 del apéndice).

Por otra parte los nitratos y D.B.O. fueron variables que también presentaron significancia en al menos uno de los tres años estudiados; sin embargo, la diferencia no fue consistente a través de los años (figuras 9 y 10 del apéndice).

Las variables conductividad, S.T.D., S.T.S. y turbidez, no presentaron diferencia significativa en ninguno de los años entre los periodos de sabor y olor desagradable, por lo que no se observó ninguna relación entre las variables y los periodos mencionados (figuras 11, 12, 13 y 14 del apéndice).

#### 4.1.2. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1991

Una de las variables más asociadas con el evento de sabor y olor desagradable encontrada en la comparación de medias fue el oxígeno disuelto. En los análisis de correlación se encontró que ésta variable, está correlacionada positivamente con el % de saturación, alcalinidad, pH, dureza y cloruros en el año 1991 (Cuadro 8). Así mismo, se encontró que ésta variable está correlacionada negativamente con la temperatura (Cuadro 9).

Estos resultados confirman lo encontrado en el análisis de comparación de medias, en donde se muestra que las variables asociadas con el oxígeno disuelto son diferentes en los periodos analizados, en al menos dos de los años, a excepción del pH y dureza; sin embargo, para el año 1991, el pH y la dureza fueron diferentes significativamente en ambos periodos, encontrando mayores variables de estos factores en el periodo en donde no se encontró sabor y olor.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1991.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
Alcalinidad	Conductividad	0.3676	0.007
Alcalinidad	Cloruros	0.5830	0.000
Alcalinidad	Dureza	0.7334	0.000
Conductividad	Cloruros	0.6221	0.000
Conductividad	Dureza	0.6182	0.000
Cloruros	Dureza	0.6887	0.000
Nitratos	Alcalinidad	0.5697	0.000
Nitratos	Conductividad	0.3824	0.005
Nitratos	Cloruros	0.3931	0.004
Nitratos	Dureza	0.7103	0.000
O.D.	Alcalinidad	0.7107	0.000
O.D.	Cloruros	0.3403	0.013
O.D.	Dureza	0.3482	0.011
O.D.	pH	0.6264	0.000
O.D.	% Saturación	0.8165	0.000
pH	Alcalinidad	0.6524	0.000
pH	Cloruros	0.4002	0.002
pH	Dureza	0.5453	0.000
pH	% Saturación	0.4555	0.001
% Saturación	Alcalinidad	0.4855	0.000
% Saturación	Cloruros	0.3304	0.016
% Saturación	Dureza	0.2788	0.043
S.T.D.	Alcalinidad	0.4007	0.003
S.T.D.	Conductividad	0.3085	0.026
S.T.D.	Cloruros	0.5624	0.000
S.T.D.	Dureza	0.4401	0.001
Nitratos	pH	0.4125	0.002
Nitratos	% Saturación	0.2730	0.048
S.T.S	Turbidez	0.7455	0.000

Cuadro 9. Coeficientes de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1991.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
S.T.S.	Cloruros	-0.3089	0.027
Temperatura	Alcalinidad	-0.7631	0.000
Temperatura	Dureza	-0.3696	0.006
Turbidéz	Conductividad	-0.3244	0.019
Turbidéz	Cloruros	-0.4671	0.000
S.T.S.	S.T.D.	-0.4954	0.000
Temperatura	O.D.	-0.9135	0.000
Temperatura	pH	-0.6421	0.000
Temperatura	% Saturación	-0.5425	0.000
Turbidéz	S.T.D.	-0.4737	0.000

#### 4.1.3. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1992

En el año 1992, el oxígeno disuelto estuvo correlacionado positivamente con el pH y el % de saturación (Cuadro 10), y negativamente con la conductividad y sólidos totales disueltos (Cuadro 11).

La correlación entre el oxígeno disuelto y el % de saturación, confirman los resultados obtenidos en la comparación de medias, en donde se muestra que estas variables son importantes para discriminar entre los períodos estudiados.

BOLIVIA

En este año también se presentó la correlación positiva entre oxígeno disuelto y pH, aunque el pH no fué significativo en el análisis de comparación de medias; sin embargo se presentaron valores de pH más bajos en el periodo en donde se presentó sabor y olor desagradable, igual que en el año 1991.

Cuadro 10.- Coeficientes de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1992.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
Alcalinidad	Conductividad	0.5784	0.000
Alcalinidad	D.B.O.	0.4070	0.003
Alcalinidad	Dureza	0.8926	0.000
Conductividad	Dureza	0.5209	0.000
D.B.O.	Dureza	0.4564	0.001
Nitratos	Alcalinidad	0.6011	0.000
Nitratos	D.B.O.	0.5386	0.000
Nitratos	Dureza	0.6827	0.000
S.T.D.	Alcalinidad	0.7807	0.000
S.T.D.	Conductividad	0.7605	0.000
S.T.D.	Dureza	0.7888	0.000
Temperatura	Cloruros	0.4099	0.003
Nitratos	S.T.D.	0.4595	0.001
O.D.	pH	0.2885	0.038
O.D.	% Saturación	0.6382	0.000
Turbidéz	S.T.D.	0.3232	0.019



Cuadro 11. Coeficientes de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1992.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
Cloruros	D.B.O.	-0.6098	0.000
Nitratos	Cloruros	-0.4619	0.001
O.D.	Conductividad	-0.3623	0.008
Temperatura	D.B.O.	-0.3098	0.025
Turbidez	Alcalinidad	-0.3379	0.014
Turbidez	Conductividad	-0.5506	0.000
O.D.	S.T.D.	-0.2838	0.041
Temperatura	O.D.	-0.7212	0.000
Temperatura	pH	-0.2778	0.046
Turbidez	S.T.D.	-0.2783	0.046

#### 4.1.4. Correlaciones entre las variables estudiadas en el año 1993

En el año de 1993, el oxígeno disuelto presentó una correlación positiva con el % de saturación, lo que confirma los resultados obtenidos en la comparación de medias, las cuales presentaban diferencia significativa entre estas dos variables (Cuadro 12).

En este mismo año también se encontró una correlación negativa entre el oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos (Cuadro 13); sin embargo, no se presento diferencia significativa en el análisis de comparación de medias.

Otras correlaciones de interés observadas durante los tres años de estudio fueron las relaciones lineales entre las variables; alcalinidad, dureza, conductividad y sólidos totales disueltos.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación positivos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1993.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
Alcalinidad	Dureza	0.5028	0.000
Alcalinidad	NH <sub>3</sub>	0.3586	0.009
Conductividad	Dureza	0.2743	0.049
Conductividad	NH <sub>3</sub>	0.2890	0.038
Dureza	NH <sub>3</sub>	0.4037	0.003
S.T.D.	Alcalinidad	0.4850	0.000
S.T.D.	Conductividad	0.4816	0.000
S.T.D.	Dureza	0.5106	0.000
S.T.D.	NH <sub>3</sub>	0.4095	0.003
O.D.	% Saturación	0.7843	0.000
Temperatura	% Saturación	0.4018	0.003

Cuadro 13. Coeficientes de correlación negativos significativos de los análisis químicos y físicos realizados al agua del lago Waco en la estación de bombeo, a la planta potabilizadora Mount Carmel correspondientes al año 1993.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	r	p
Alcalinidad	Cloruros	-0.6706	0.000
pH	NH <sub>3</sub>	-0.3303	0.017
S.T.D.	Cloruros	-0.3427	0.013
O.D.	S.T.D.	-0.3553	0.010
pH	S.T.D.	-0.2964	0.033

## CONCLUSIONES

En el año 1991, existieron diferencias significativas entre los períodos para las variables alcalinidad, dureza, amonia, nitratos, oxígeno disuelto y temperatura; aún cuando, las diferencias fueron más marcadas para alcalinidad, oxígeno disuelto y temperatura.

Durante el año 1992, las variables que tuvieron mayor grado de influencia en el evento de sabor y olor desagradable fueron los cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y temperatura; sin embargo, las variables más relevantes fueron oxígeno disuelto y temperatura.

Para el año 1993, las variables que presentaron mayor influencia en los eventos de sabor y olor desagradable fueron alcalinidad, cloruros, oxígeno disuelto y % de saturación; de estas las más importantes fueron alcalinidad y oxígeno disuelto.

En orden de importancia y considerando los resultados de los tres años en forma integral, se concluye que el oxígeno disuelto, alcalinidad, % de saturación,

cloruros y temperatura fueron las cinco variables de todas las estudiadas, las que definen el evento de sabor y olor desagradable en el agua en la estación de bombeo que suministra a la planta potabilizadora y de agua potable a la ciudad de Waco, Texas.

Así mismo, en función de los análisis de medias se establece que sólo en el año 1991 ocurrió un efecto significativo para las variables pH, dureza y amonía; lo anterior posiblemente debido a factores climatológicos que incidieron en forma anormal, particularmente por lo que se refiere a temperatura alta y precipitación baja en el período de verano.

Se concluye que tanto los nitratos, como la demanda bioquímica de oxígeno aun y cuando presentan significancia en alguno de los años estudiados, tal efecto parece ser que no interviene en los eventos de sabor y olor del agua.

De las catorce variables tomadas de los análisis de las muestras de agua de la estación de bombeo en el lago Waco, las que no manifiestan de acuerdo a los análisis estadísticos ninguna correlación que explique los tratamientos de sabor y olor fueron la conductividad, S.T.D, S.T.S. y la turbidez.

## RECOMENDACIONES

Cuando en los análisis sistemáticos de monitoreo del agua de la estación de bombeo o abasto a la planta potabilizadora se presenten valores bajos en las características o variables oxígeno disuelto, alcalinidad y % de saturación, será necesario que se incrementen el número de aereadores en el área de influencia a la toma de admisión de bombeo, a efecto de mejorar el oxígeno disuelto y el % de saturación. Así mismo, al mejorar los niveles antes señalados, se obtiene en forma indirecta una condición de alcalinidad que se incrementa.

Por otra parte, al incrementar los aereadores traerá como consecuencia que se modifique la inversión térmica en el agua del fondo del lago al menos en el área de influencia de estos, evitando así el aumento de la actividad microbiológica. Esta acción es determinante en el verano para atenuar los valores bajos de las variables pH, dureza y amonía que se presentan en esta época del año. Así mismo, por la coincidencia en los valores bajos en el período de verano la demanda bioquímica de oxígeno y los nitratos se verán estabilizados a niveles en que su correlación con eventos de sabor y olor en el agua se reduzcan.

Otras recomendaciones alternas serían las de evitar las fuentes de contaminación derivadas de los arrastres de materiales químicos utilizados en la agricultura, ya que los drenajes parcelarios de los terrenos bajo cultivo en el área de escurrimiento, pueden ser la fuente de incremento de nitratos y amonía.

Evitar mediante obras de infraestructura que los drenajes sanitarios de la ciudad escurran hacia las fuentes de abastecimiento del reservorio y/o al mismo lago Waco.

El empleo de sustancias químicas herbicidas específicas; así como, sus dosis para el control de algas en el vaso de almacenamiento, deberá ser estudiado en detalle por especialistas en la materia y las autoridades de salud pública, a efecto de evitar niveles que dañen la salud de los usuarios.

Otras recomendaciones de orden práctico derivadas de la experiencia acumulada en el manejo de la planta potabilizadora Mount Carmel son las siguientes:

Cuando se efectúen trabajos de mantenimiento y limpieza de las pilas de sedimentación primarias y/o secundarias para la remoción de sedimentos

se deberá aplicar carbón activado en polvo en las dosis usualmente utilizadas (3-5 mg/l) antes y después de ésta actividad.

La práctica de reciclado del agua utilizada en el lavado de filtros y en los trabajos de mantenimiento del sistema en general es comunmente realizada en la planta potabilizadora; por tal motivo, se recomienda la aplicación de cloro a razón de 0.3-0.5 mg/l al agua que se recicla.

BIBLIOTECA A  
om a  
N.I.

## BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1960. Standard methods for the examination of water and wastewater, including bottom sediments and sludges. 11<sup>th</sup> Edition. pp. 43-263.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16<sup>th</sup> Edition. pp. 85-93.
- American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18<sup>th</sup> Edition. pp. 2 8-5 1.
- American Water Works Association, 1989. Water quality analysis, Taste and odor in drinking water supplies phase 1 & 2. pp. 9-12.
- American Water Works Association, 1990. Water quality and treatment: A handbook of community water supplies, 4<sup>th</sup> Edition. Frederick W. Pontius, Technical Editor. pp. 63-65, 149-154.
- American Water Works Association, 1993. Proceedings, water quality technology conference. pp. 463-477, 559-567.
- Anselme Christophe, Suffet I. H. y Mallevalle Joel. Effects of ozonation on tastes and odors. Journal, American water works association. Vol. 80, N° 10. pp. 45-51.
- Baker M. N., 1981. The quest for pure water, the history of water purification from the earliest records to the twentieth century. American water works association. Vol. 1, and 2, 2<sup>nd</sup> Edition. pp. 1-27.
- Bartles Jeroen H. M., Burlingame Gary A., and Suffet I. H., 1986. The flavor profile analysis method: Taste and odor control of the future. Journal, American water works association. Vol. 78, N° 3. pp. 50-55.



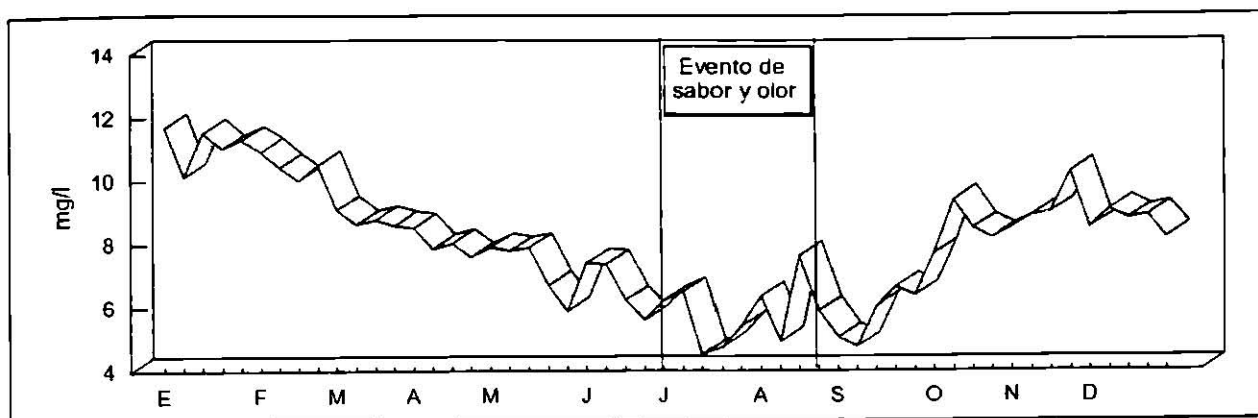
- Burlingame Gary A., Dann Roger M., and Brock Geoffrey L., 1986. A case study of geosmin in Philadelphia's water. *Journal, American water works association*. Vol. 78, N° 3. pp. 56-61.
- Chang Shih L., Woodward Richard L., and Kabler Paul W., 1960. Survey of free-living nematodes and amebas in municipal supplies. *Journal, American water works association*. Vol. 52, N° 5. pp. 613-618.
- Dietrich Andrea M., Orr Margaret P., Gallagher Daniel L., and Hoehn Robert C., 1992. Tastes and odors associated with chlorine dioxide. *Journal, American water works association*. Vol. 84, N° 6. pp. 82-88.
- Falconer Ian R., Runnegar Maria T. C., Buckley Tom, Huyn Van L., and Bradshaw Peter, 1989. Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing cyanobacterial blooms. *Journal, American water works association*. Vol. 81, N° 2. pp. 102-105.
- Gaufin Arden R., 1964. Taste and odor production in reservoirs by blue-green algae. *Journal, American water works association*. Vol. 56, N° 10. pp. 1345-1350.
- Gerber Nancy N., 1974. Microbiological production of geosmin. *Environmental protection technology series*. EPA-670/2-74-094. 9 p.
- Hassler William W., 1941. The history of taste and odor control. *Journal, American water works association*. Vol. 33, N° 12. pp. 2124-2152.
- Hinde Engineering Company, 1971. *Lakes can be saved*. 654 Deerfield road, Highland park, Illinois 60035. 28p.
- Jenkins David, Medsker Lloyd, and Thomas Jerome F., 1967. Odorous compounds in natural waters. Some sulfur compounds associated with blue-green algae. *Environmental science & technology*. Vol. 1, N° 9. pp. 731-735.

- Krasner Stuart W., Barrett Sylvia E., Dale Melissa S., and Hwang Cordelia J., 1989. Free chlorine versus monochloramine for controlling off-tastes and off-odors. *Journal, American water works association*. Vol. 81, N° 2. pp. 86-93.
- Lalezary Shala, Pirbazari Massoud, and McGuire Michael J., 1986. Oxidation of five earthy-musty taste and odor compounds. *Journal, American water works association*. Vol. 78, N° 3. pp. 62-69.
- Lalezary Shala Craig, Pirbazari Massoud, Dale Melissa S., Tanaka Theodore S., and McGuire Michael J., 1988. Optimizing the removal of geosmin and 2-methylisoborneol by powdered activated carbon. *Journal, American water works association*. Vol. 80, N° 3. pp. 73-80.
- Mackentun Kenneth M., and Keup Lowell E., 1970. Biological problems encountered in water supplies. *Journal, American water works association*. Vol. 62, N° 8. pp. 520-526.
- Medsker Lloyd L., Jenkins David, and Thomas Jerome F., 1969. Odorous compounds in natural waters. 2-Exo-hydroxy-2-methylbornane, the mayor odorous compound produced by several actinomycetes. *Environmental science & technology*. Vol. 3, N° 5. pp. 476.
- Prescott G. W., 1988. *How to know the freshwater algae*. 3<sup>rd</sup> Edition. pp. 9.
- Raman Raman K., and Arbuckle Benny R., 1989. Long-term destratification in an Illinois lake. *Journal, American water works association*. Vol. 81, N°6. pp. 66-77.
- Shafferman Robert S., Rosen Aaron A., Mashni Charles I., and Morris Mary E., 1967. Earthy-smelling substance from a blue-green alga. *Environmental science & technology*. Vol. 1, N° 5. pp. 429-430.
- Silvey J. K. G., and Roach A. W., 1953. Actinomycetes in the Oklahoma city water supply. *Journal, American water works association*. Vol. 45, N° 4. pp. 409-416.

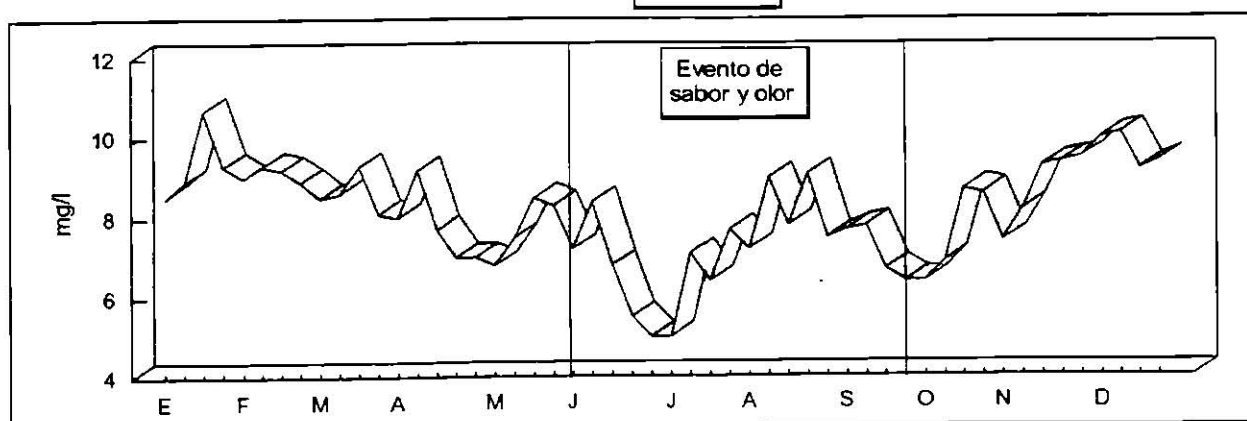
- Texas Water Utilities Association, 1988. Manual of water utilities operations. 8<sup>th</sup> Edition. pp.71-633.
- Thurman E. M., 1985. Organic geochemistry of natural waters. Martinus Nijhoff, Dr. W. Junk Publishers. pp. 104, 120.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes. Environmental monitoring and support laboratory, environmental research center, Cincinnati, Ohio 45268. EPA-625-/6-74-003a. pp. 287-294.
- Wajon Johannes E., Kavanagh Brian V., Kagi Robert I., Rosich R.S., and Alexander R., 1988. Controlling swampy odors in drinking water. Journal, american water works association. Vol. 80, N° 6. pp. 77-82.
- White Brian N., Kiefer Dale A., Morrow John H., and Stolarick Gary F., 1991. Remote biological monitoring in an open finished-water reservoir. Journal, American water works association. Vol. 83, N° 9. pp. 107-112.
- Wood S., Williams S. T., and White W. R., 1983. Microbes as a source of earthy flavours in potable water. International biodeterioration bulletin. Vol. 19, N° 3. pp. 83-97.

## **APENDICE**

O.D.  
1991



O.D.  
1992



O.D.  
1993

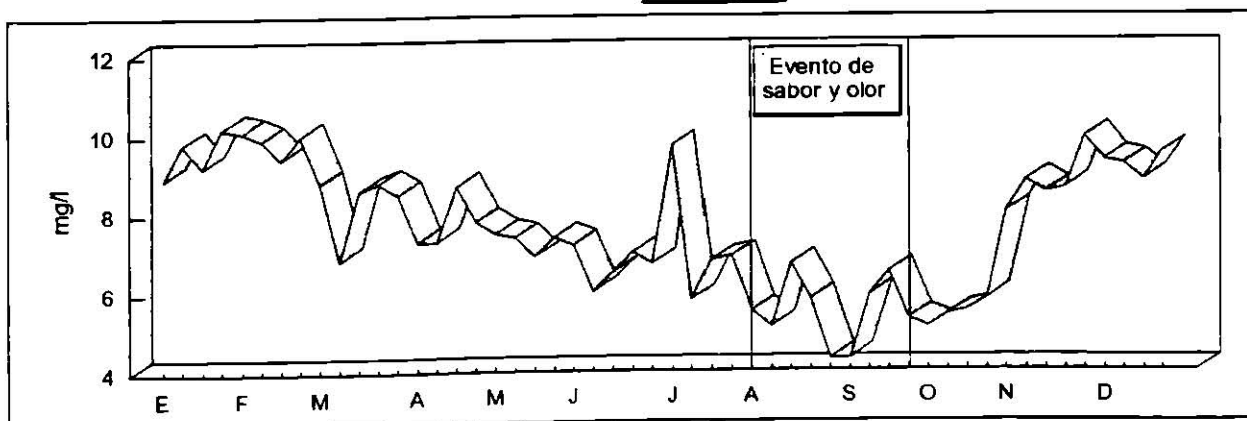


Figura 1. Oxígeno disuelto registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

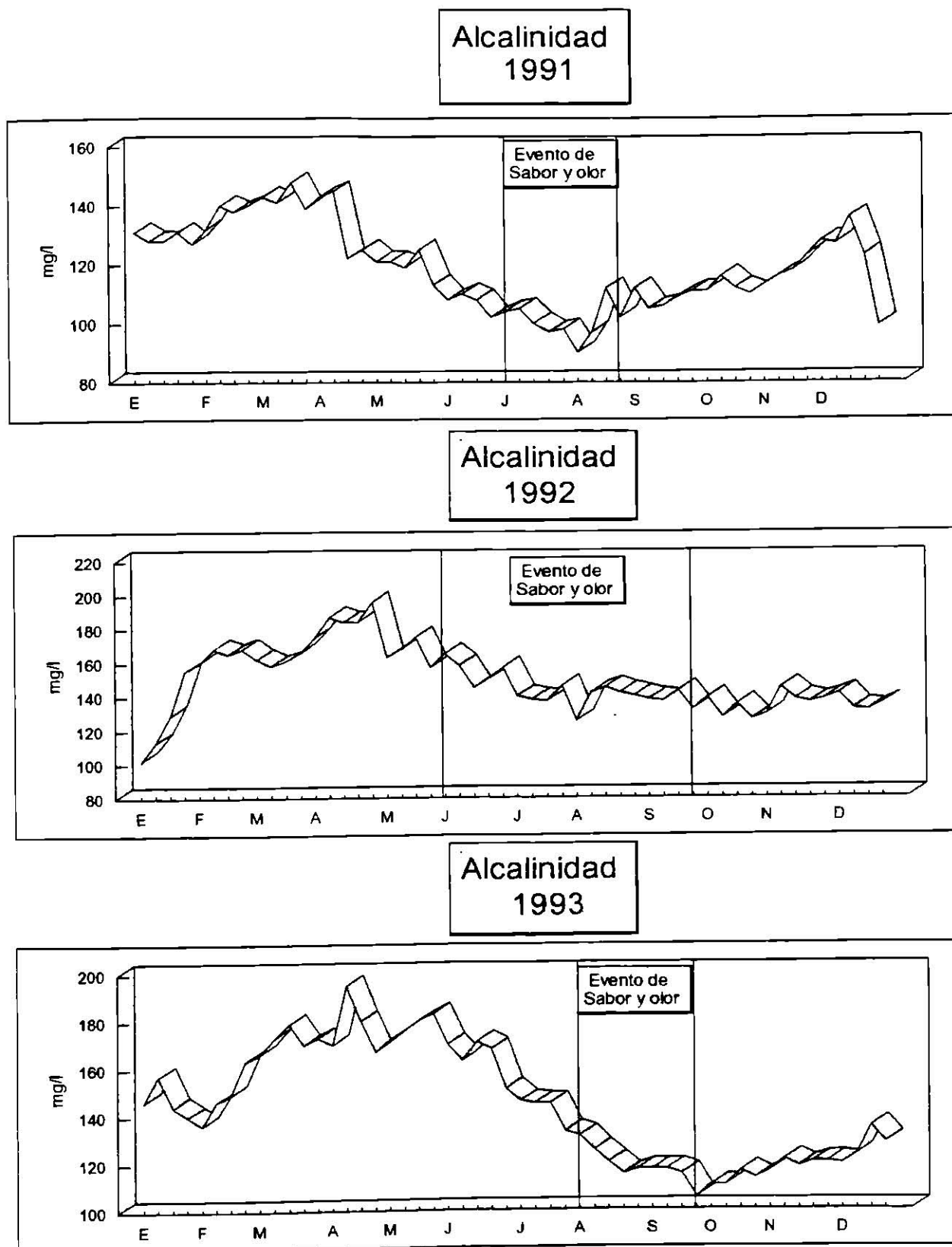
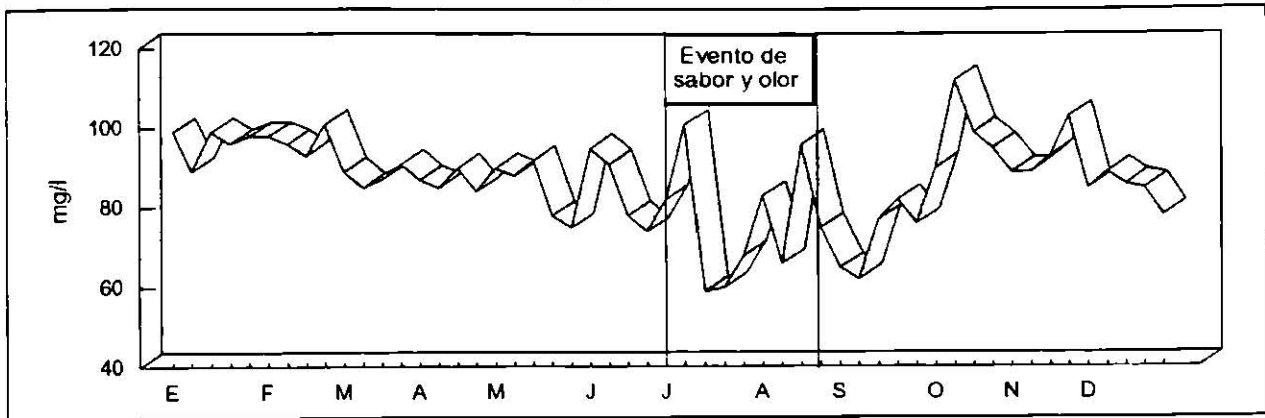
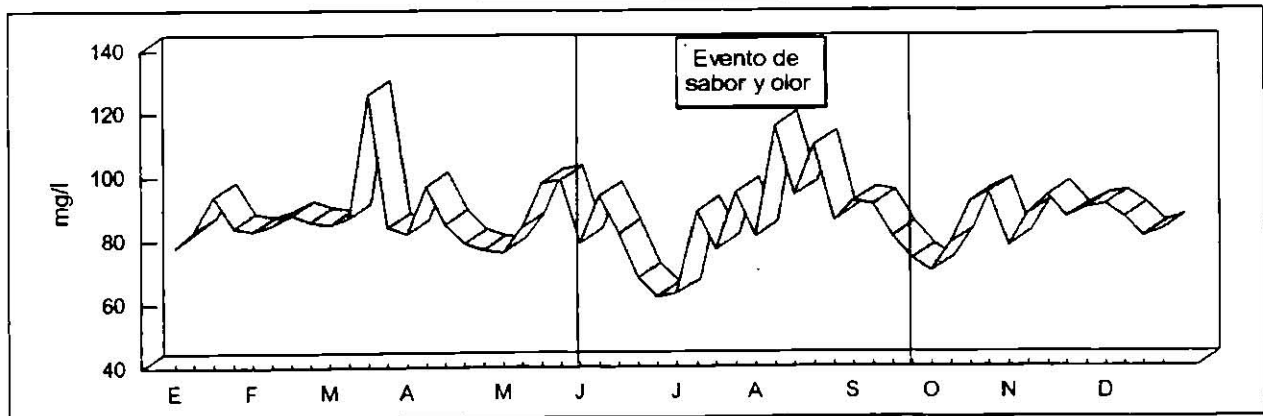


Figura 2. Alcalinidad registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

**% Saturación  
1991**



**% Saturación  
1992**



**% Saturación  
1993**

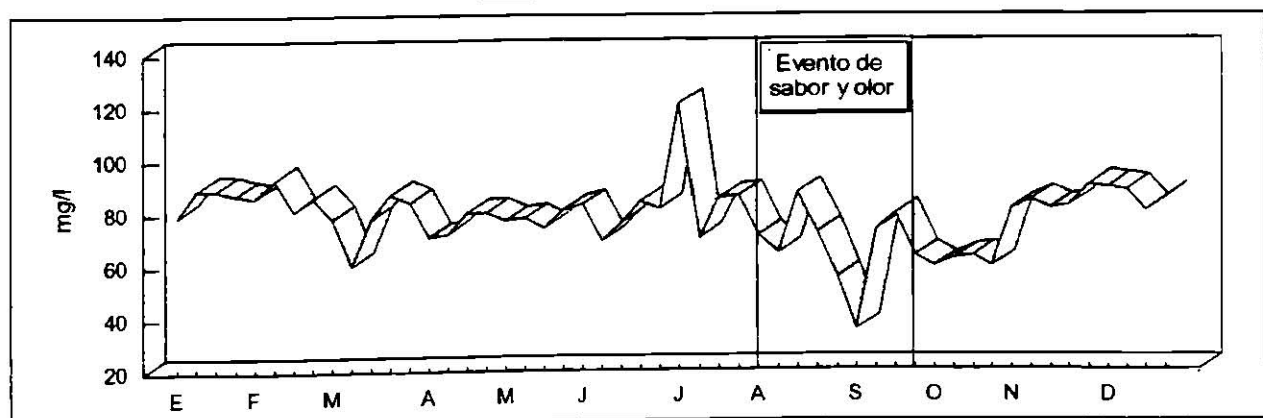


Figura 3. % de saturación registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

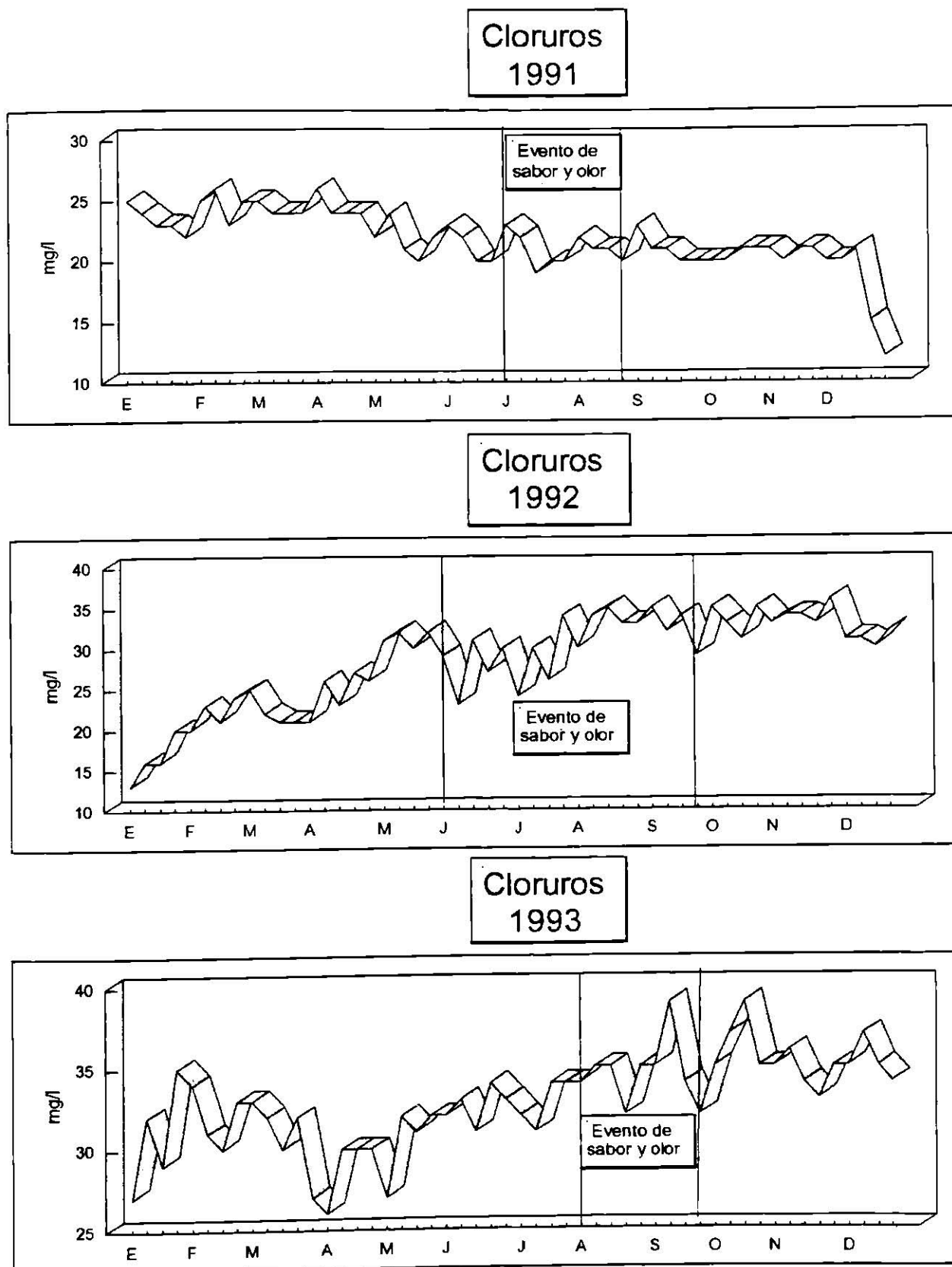


Figura 4. Cloruros registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.



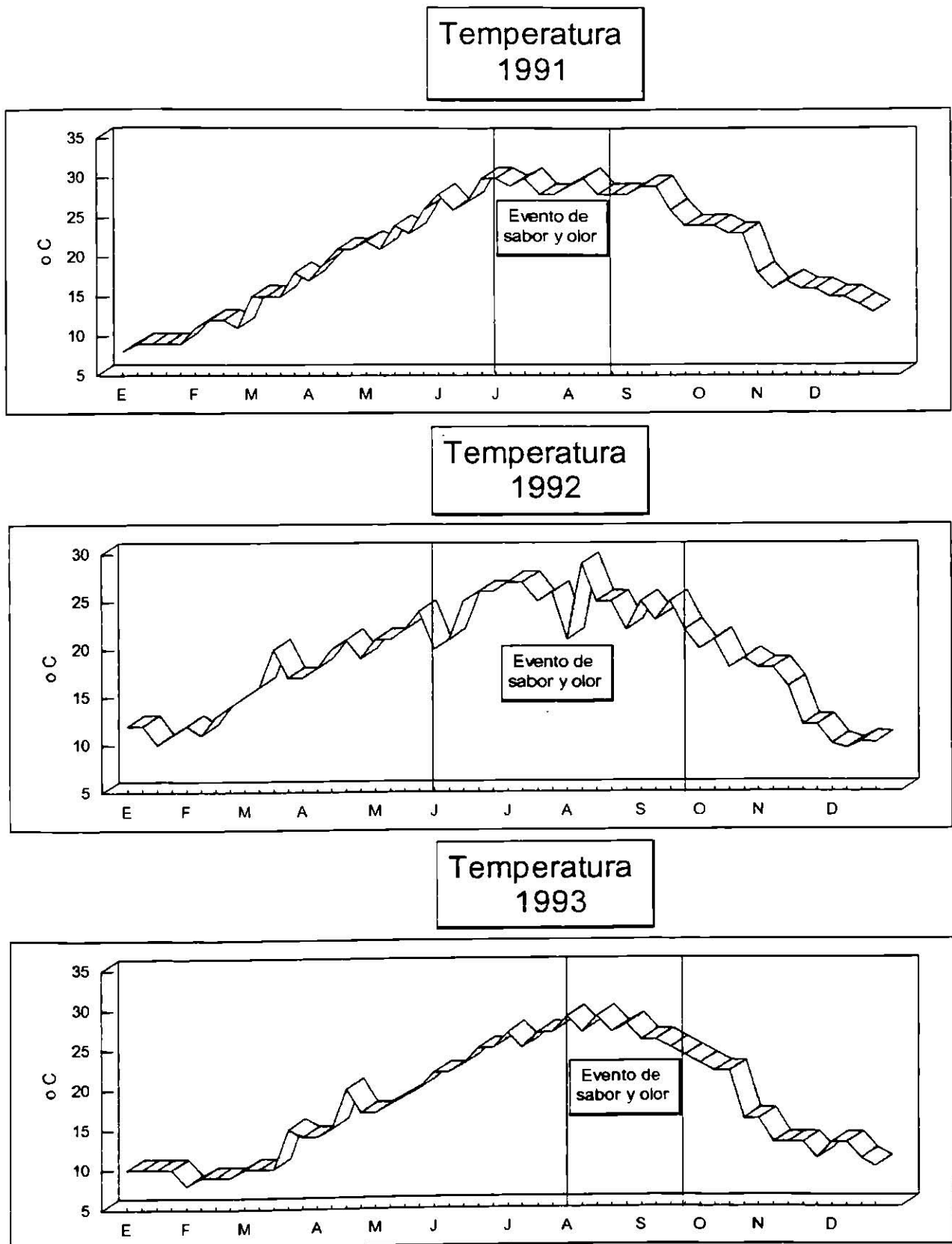


Figura 5. Temperatura registrada en muestras de agua, tomadas de las estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

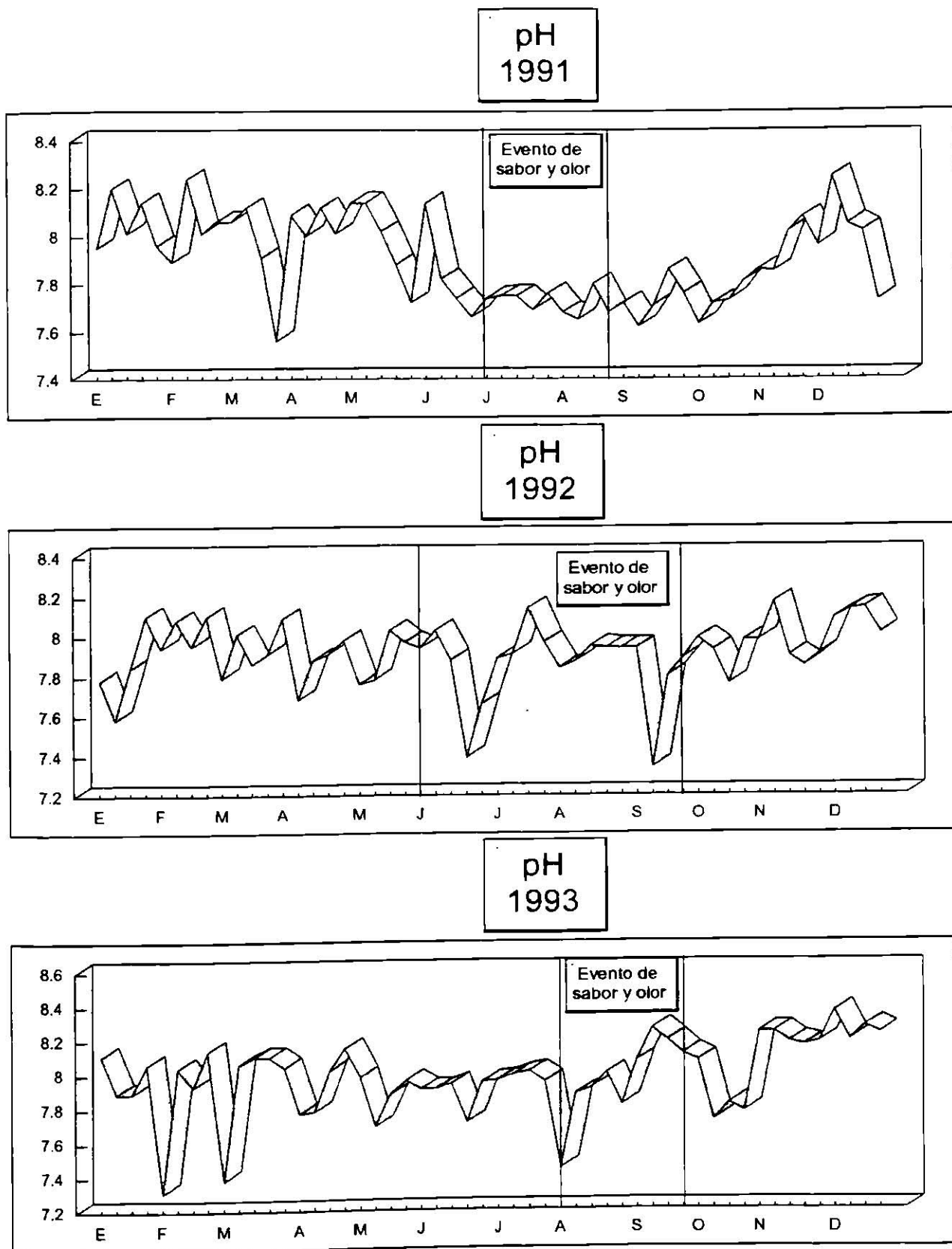


Figura 6. pH registrado en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

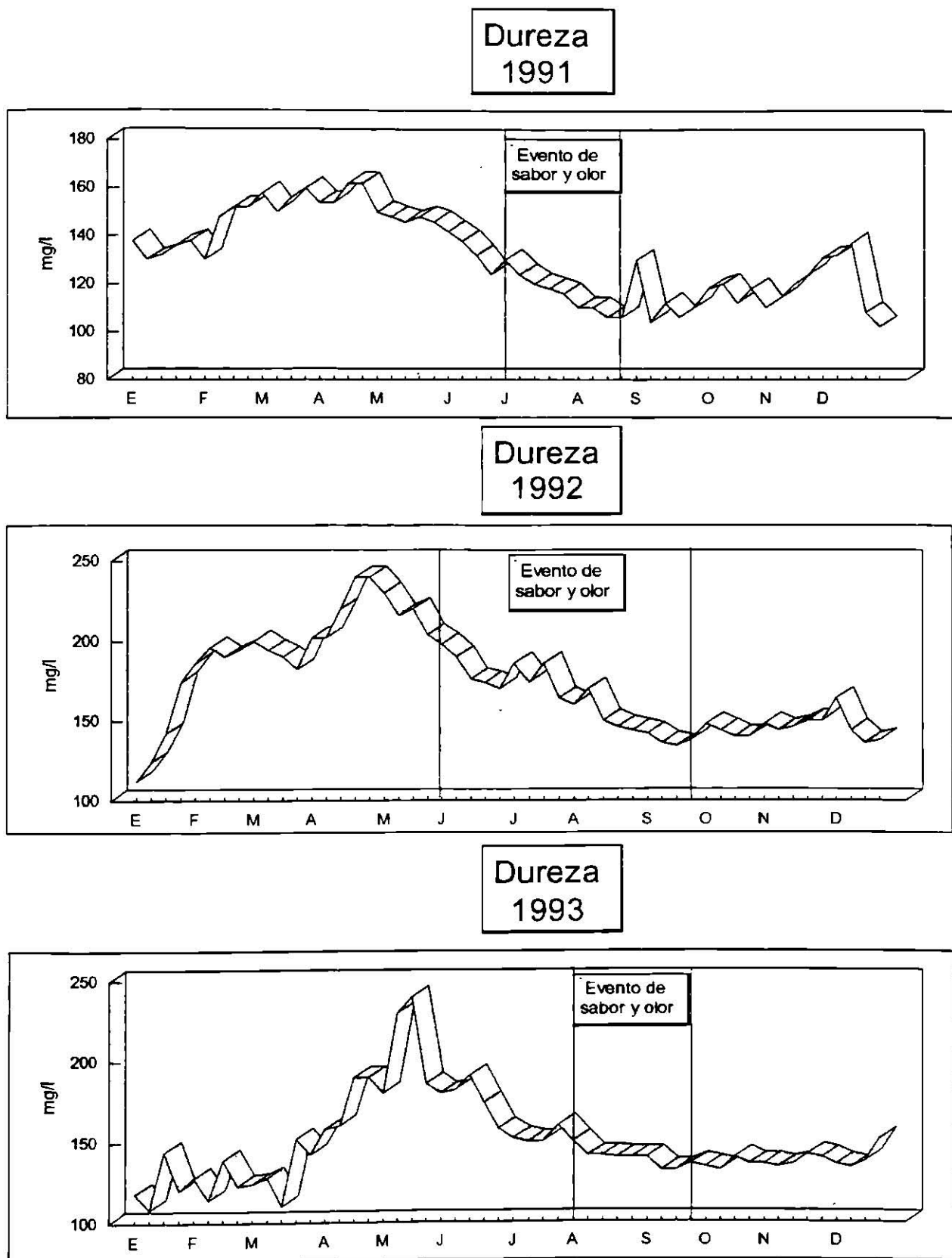


Figura 7. Dureza registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

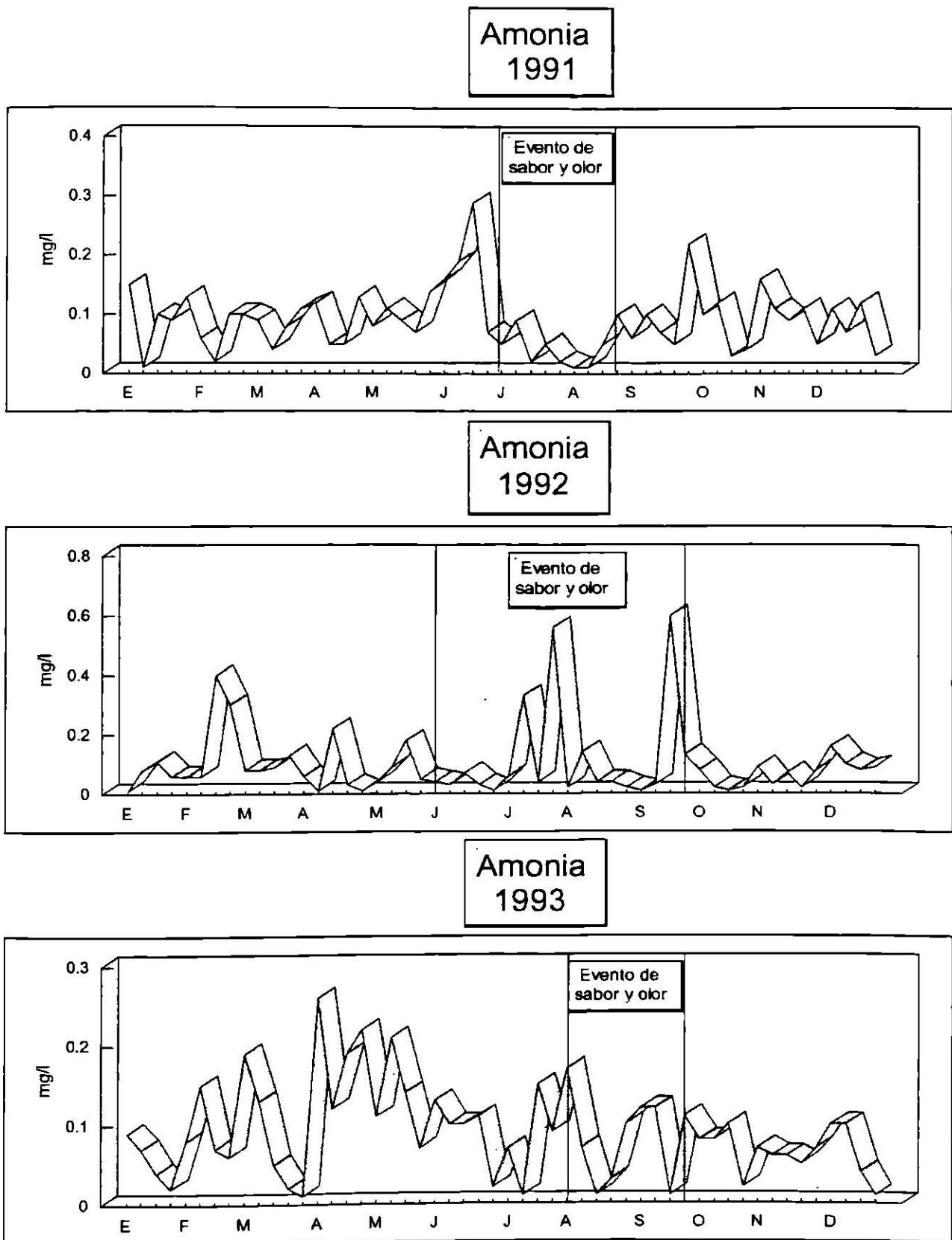


Figura 8. Amonia registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

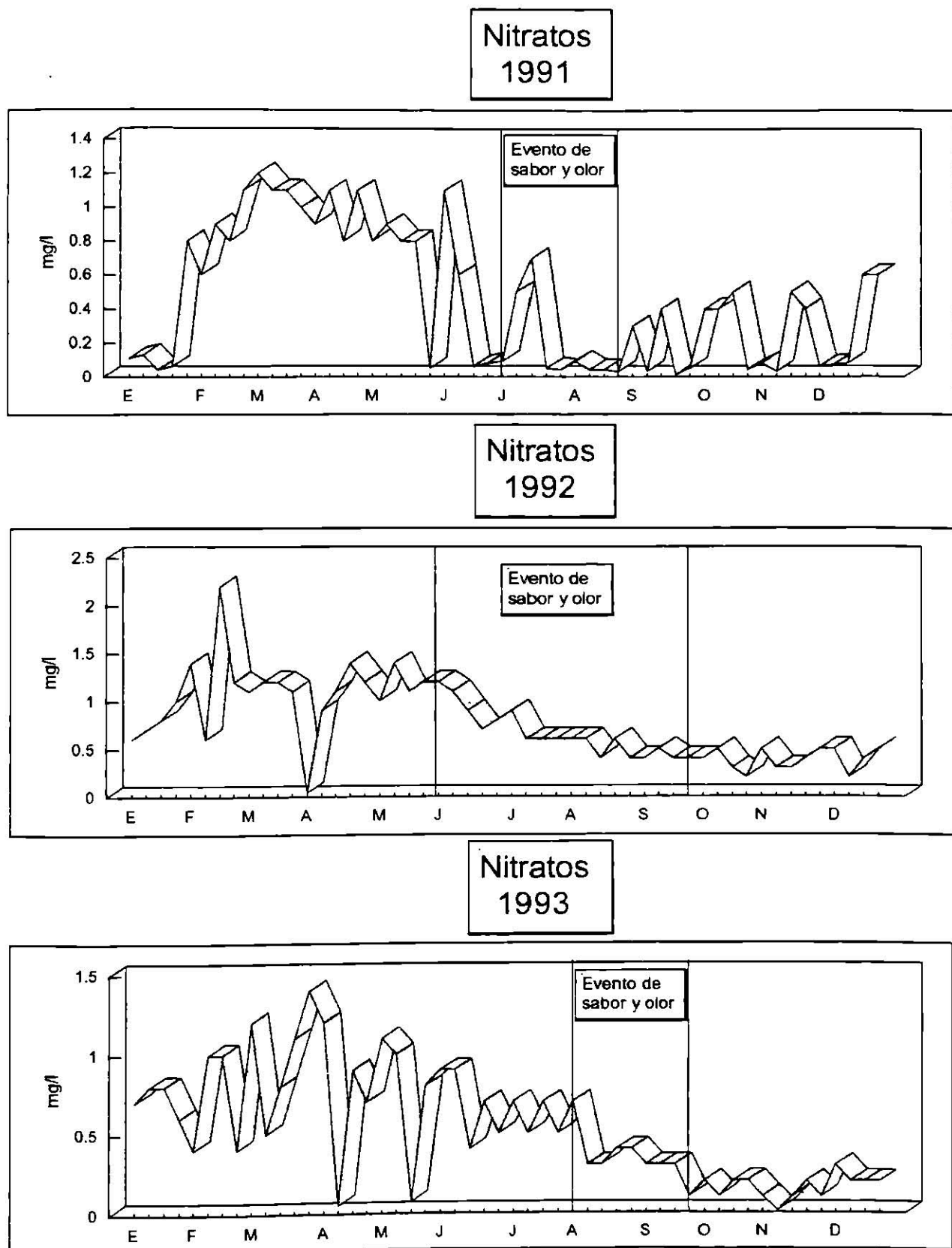


Figura 9. Nitratos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

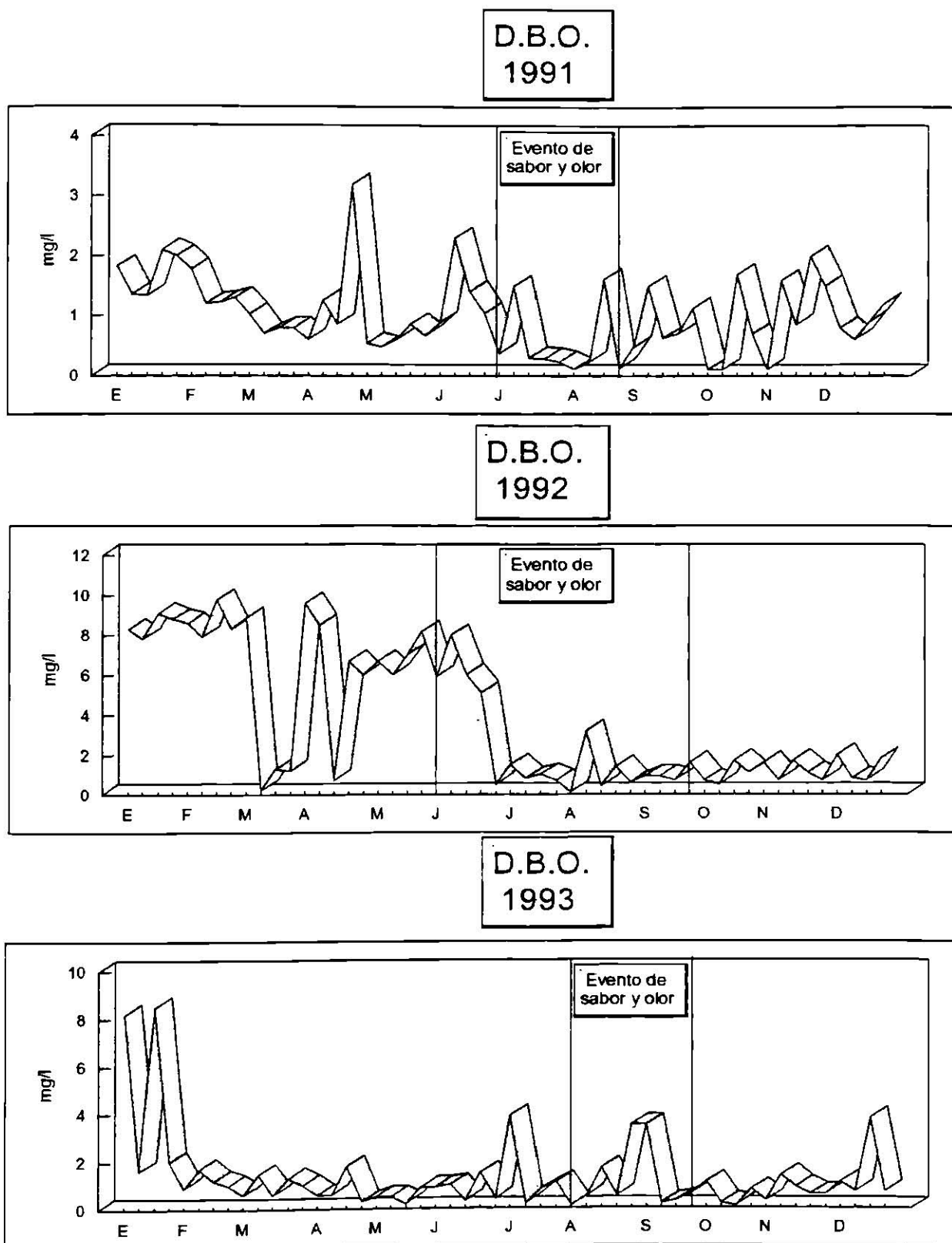
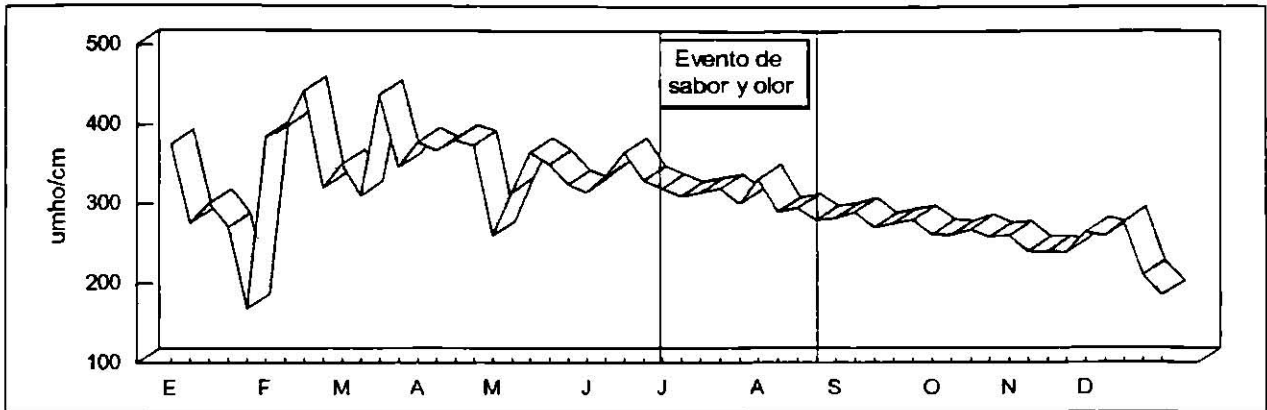
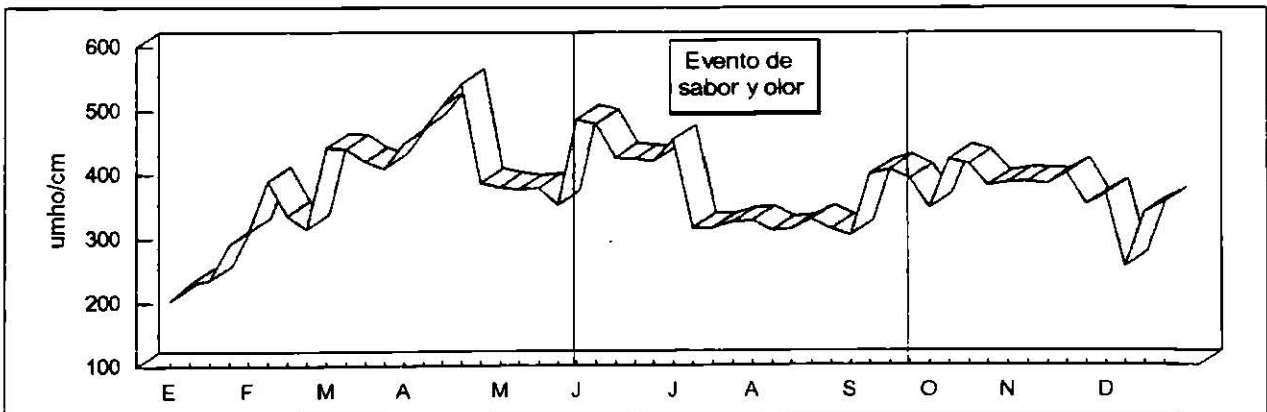


Figura 10. Demanda bioquímica de oxígeno registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

### Conductividad 1991



### Conductividad 1992



### Conductividad 1993

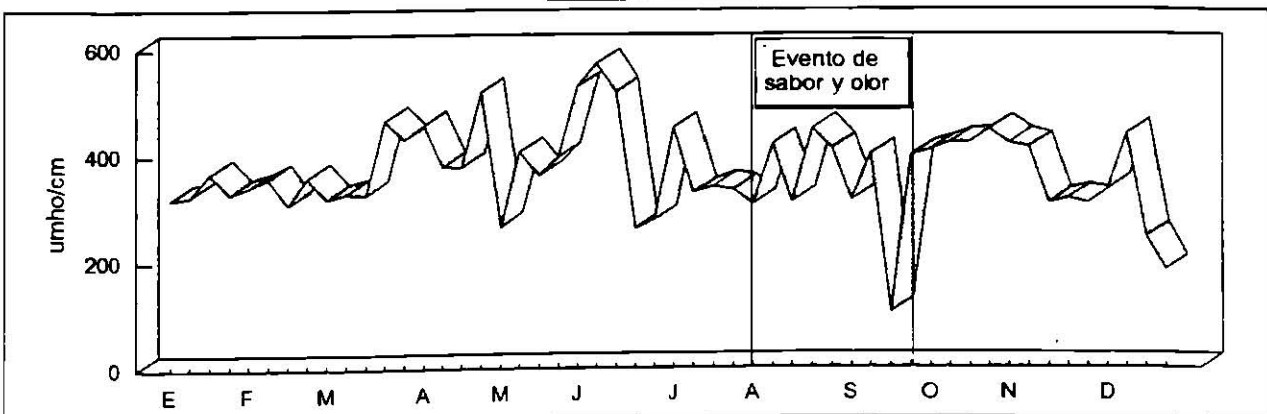


Figura 11. Conductividad registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

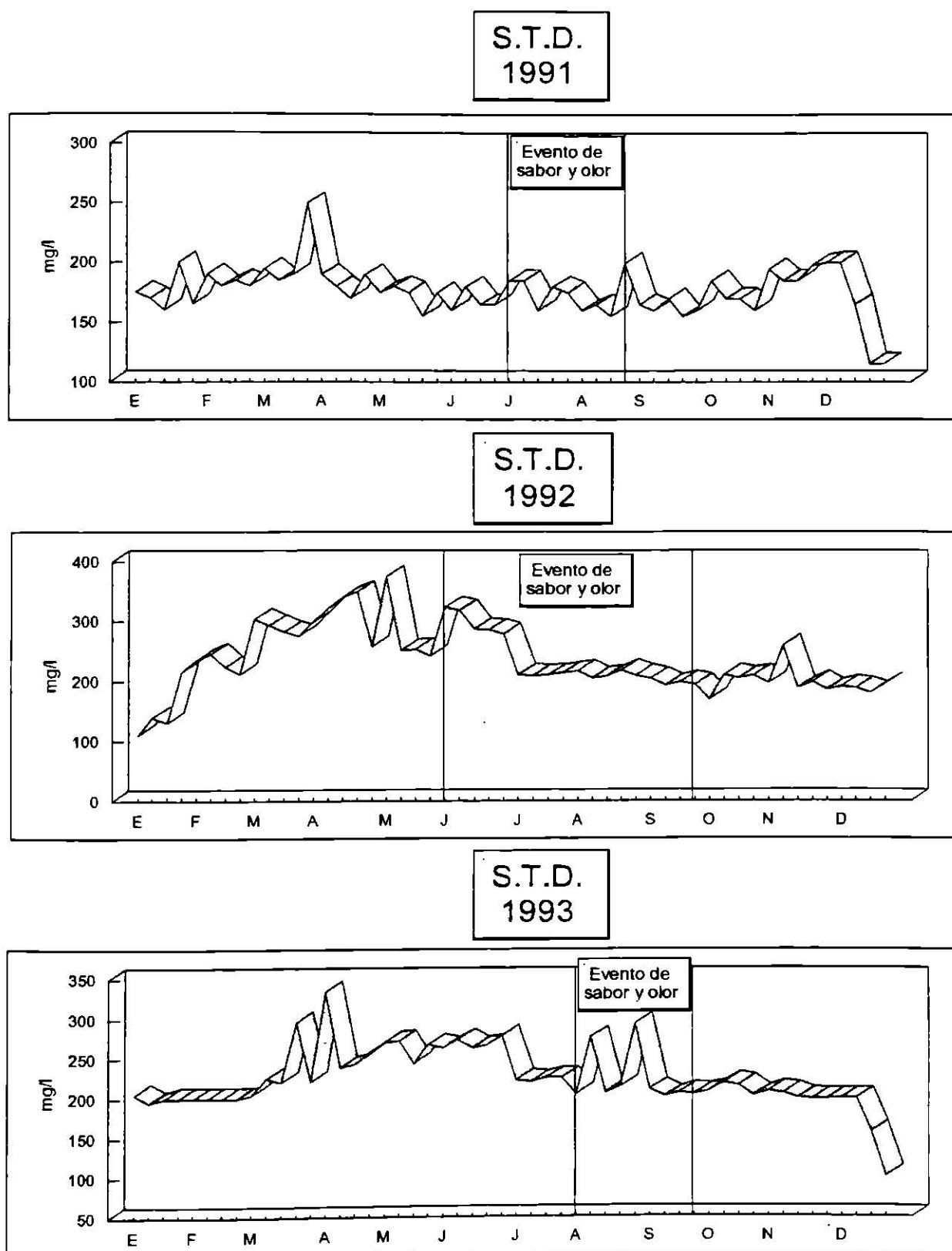


Figura 12. Sólidos totales disueltos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.



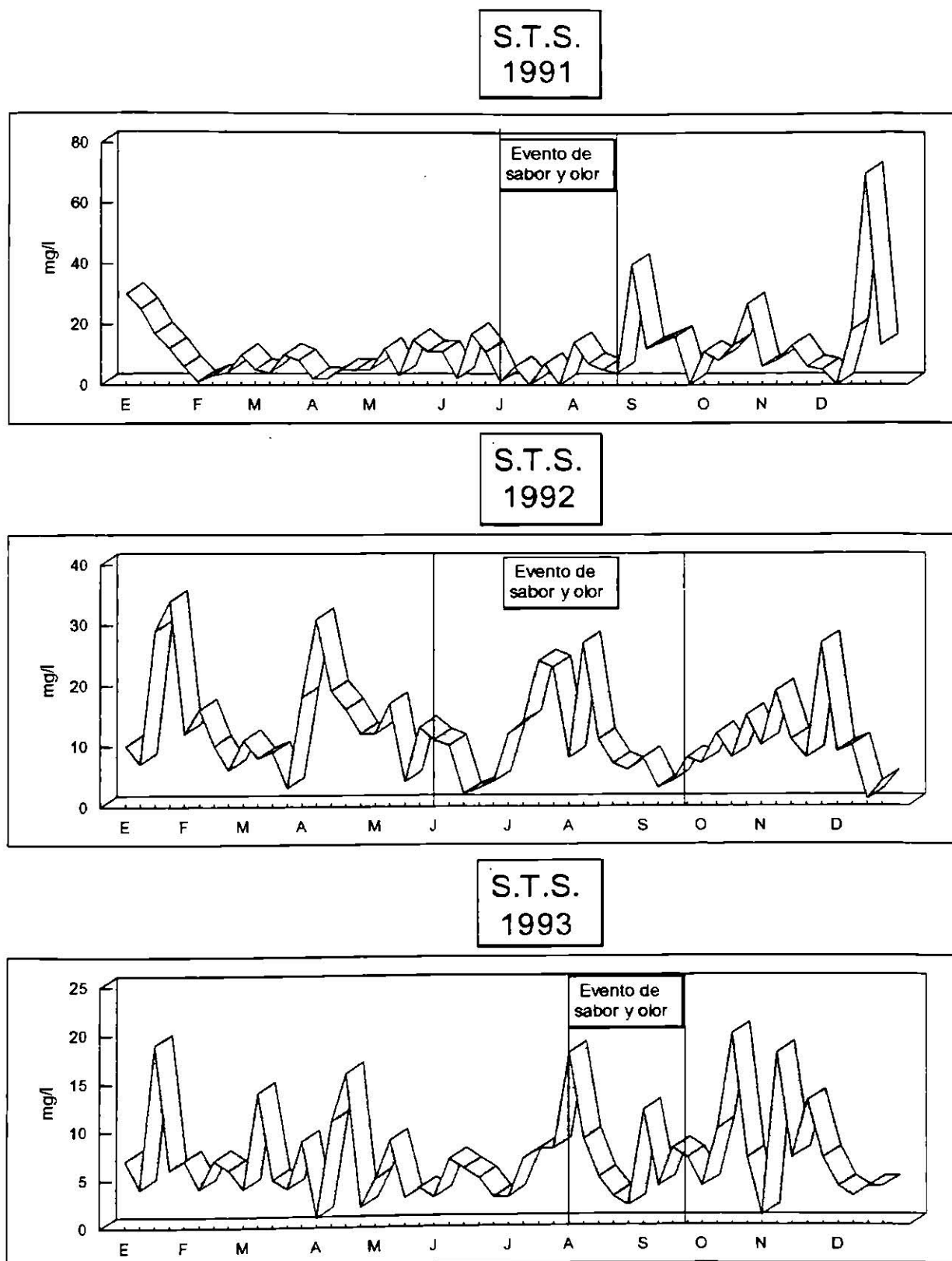


Figura 13. Sólidos totales suspendidos registrados en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

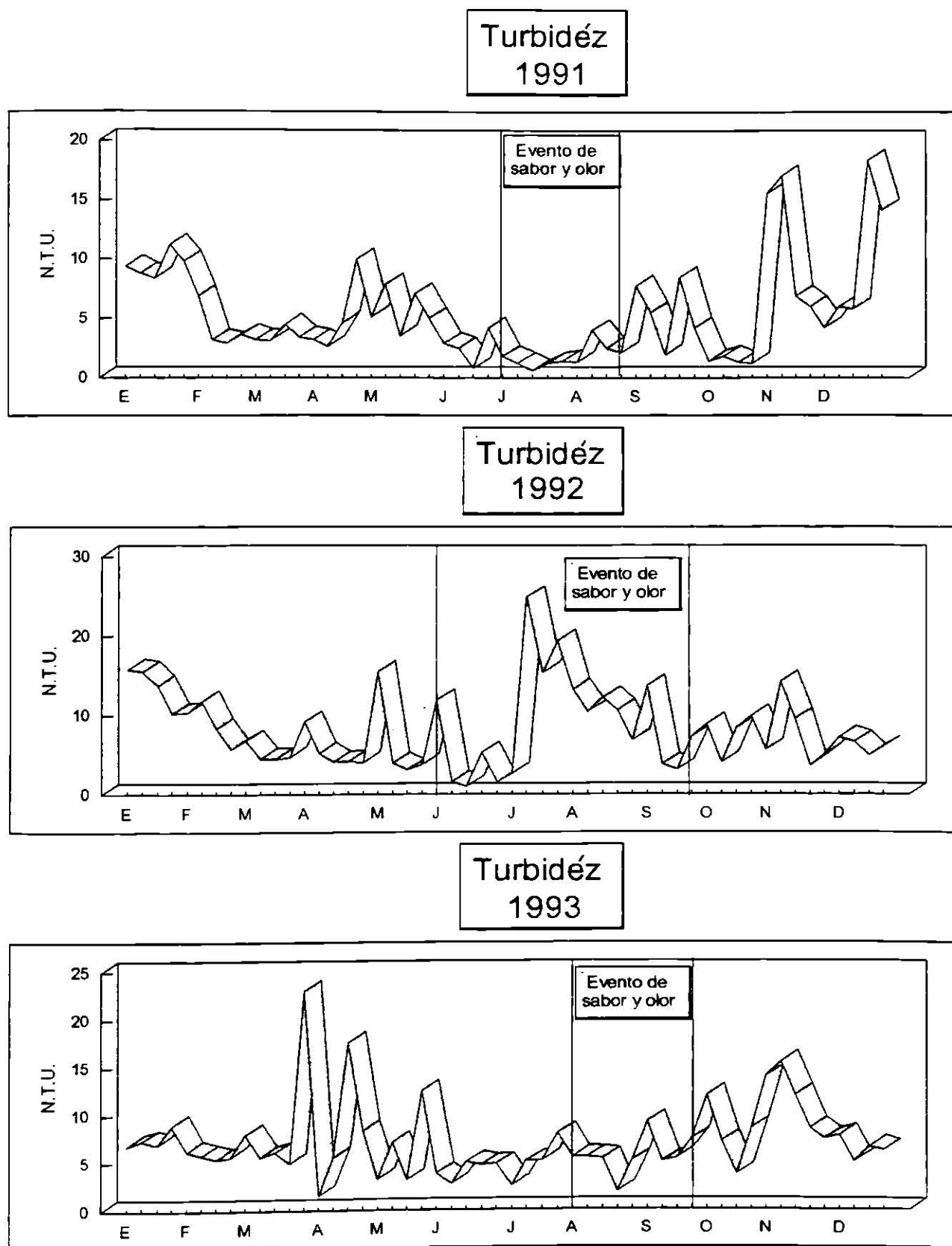


Figura 14. Turbidez registrada en muestras de agua, tomadas de la estación de bombeo del lago Waco, que suministra a la planta tratadora Mount Carmel.

