

# Universidad de El Salvador

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Trabajo de Graduación

“Estudio Preliminar sobre la Lluvia Acida en el  
Area Metropolitana de San Salvador y Alrededores”

Presentado por:

JOAQUIN ARNOLDO REYNADO MARTINEZ  
DAVID PEREZ ECHEGOYEN

Previa opción al Título de  
**INGENIERO QUIMICO**

AGOSTO DE 1991



SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA



T  
51.5781  
2459<sub>e</sub>

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

**RECTOR :** DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

**SECRETARIO GENERAL :** LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

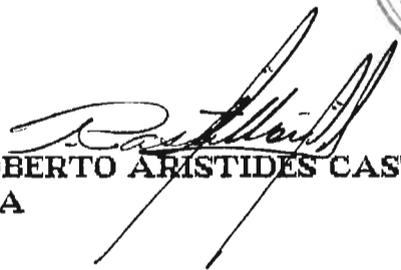
## FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

**DECANO :** ING. JOSE FRANCISCO MARROQUIN

**SECRETARIO :** ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

### ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**DIRECTOR :**   
ING. ROBERTO ARISTIDES CASTELLON  
MURCIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACION



COORDINADOR : LIC. VICTOR MANUEL SEGURA LEMUS



ASESORA : LIC. XOCHIL MARIA GODOY DE VILLATORO

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos fundamentalmente al Lic. Victor Manuel Segura Lemus (Coordinador) y a la Lic. Xochil María Godoy de Villatoro (Asesora), quienes con su profesionalismo y gran experiencia nos guiaron en el desarrollo de este novedoso trabajo de investigación en el cual aportaron sus valiosos conocimientos.

Agradecemos también a las personas voluntarias que ayudaron en la recolección de agua lluvia ya que el sacrificio y dedicación fué grande pero el espíritu ecologista, de colaboración y amistad, hizo que ayudaran a llevar a cabo parte de la realización de esta obra. Las personas que colaboraron en el muestreo fueron:

Sr. Carlos Arturo Valladares, Sra. Guadalupe de Díaz, Prof. Milton Medrano, Br. Zenia Maribel Escolero Portillo, Br. Julio Payés, Br. David Beddy Yanez Salomon.

Hacemos extensivos los agradecimientos al Laboratorio del Ambiente (CENREN), quienes nos brindaron su valiosa colaboración en los análisis de aguas lluvias.

A nuestras familias y amigos, quienes nos brindaron su apoyo para la ejecución de esta importante investigación y a todos aquellos que de alguna manera colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

LOS AUTORES.

## DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO

:Por haberme permitido concluir mi carrera, por ser mi luz en la tiniebla y dotarme de razón y sabiduría eterna.

A MIS QUERIDOS PADRES

:Joaquín Reynado y Berta de Reynado, por su apoyo y dirección oportuna; por su ejemplo y sus consejos que jamás olvidaré y que serán mi fuerza en el futuro.

A MIS QUERIDOS HERMANOS

:Jaime Eduardo, Ana Evelin, Nohemy Elizabet, René Adalberto y Samuel Ernesto. Por su apoyo que en todo momento me brindaron.

A MI AMADA MARLENE

:Por que supo impulsarme en los momentos mas difíciles, quien con su amor y comprensión me dió fortaleza para seguir adelante hasta llegar a este momento.

A MIS AMIGOS

:Francisco Chacón, Ricardo Rodas, Carlos Borjas. Compañeros con los que compartimos momentos difíciles, los cuales fueron superados en el transcurso de la carrera.

AL ALMA MATER

:Por formarme profesionalmente y ser un miembro útil para la sociedad Salvadoreña

A las personas que me brindaron su apoyo incondicional y con su ayuda me permitieron una formación académica:

Sra. Alicia Cáceres de Granada, Ing. Carlos Arturo Vásquez.

A ellos muchas gracias!

"!Cuan innumerable son tus obras oh Jehova!, hicistes todas ellas con sabiduría; la tierra está llena de tus beneficios. He allí el grande y anchuroso mar, en donde se mueven seres innumerales, seres pequeños y grandes" (salmo 104:24,25) y el majestuoso cielo cuan alfombra de estrellas; naturaleza equilibrada por el creador, amén.

Joaquín Arnoldo Reynado Martínez.

## DEDICATORIA

A MI PADRE

:Andrés Pérez Echegoyén, pues aunque murió hace seis años, están vivos sus consejos y sabias orientaciones, de las cuales el estudio era una de ellas, por lo que deseo estuviese vivo y viese terminado mis estudios universitarios los cuales inicié gracias a él.

A MI ESPOSA

:Olga Fidelina Molina Araya, quien a pesar de su profesión, dedicó tiempo valioso en la realización de esta investigación.

A TODA MI FAMILIA Y AMIGOS

:Por su valioso apoyo y colaboración

David Pérez Echegoyén

## RESUMEN

Como una forma de demostrar que en El Salvador los niveles de Contaminación atmosférica están llegando a concentraciones tales que pueden ser consideradas como una amenaza para el ser humano y el medio que le rodea, se ha desarrollado el siguiente trabajo de investigación titulado "ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA LLUVIA ACIDA EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES".

En este documento se presenta una interesante recopilación de acontecimientos causados por la lluvia ácida que ha provocado graves problemas ecológicos, razón por la cual la atención pública y otros entes interesados le están dando la importancia debida, ya que este problema ecológico es causante de la muerte de muchos árboles, y animales acidificación de lagos y suelos así como daños a monumentos.

En la investigación desarrollada, fué necesaria la elaboración de un método de muestreo adecuado para aguas lluvias y el diseño del equipo colector, los cuales son los primeros en su género en El Salvador. Se presentan las características que debe cumplir el lugar utilizado como punto de muestreo. Para los análisis físicoquímicos en aguas lluvias se tuvo que modificar marchas analíticas convencionales para aguas, por lo que estas marchas presentadas en este trabajo son las primeras y exclusivas para aguas lluvias en El Salvador.

Se obtuvieron los primeros resultados formales sobre la acidez del agua lluvia en el área metropolitana de San Salvador y alrededores (para diferentes puntos) siendo el pH promedio de 5.63 y el punto de mayor acidez fué Soyapango (zona industrial) con pH 5.51. Se considera que los  $SO_x$  son los que mayor aporte de acidez le proporcionan al agua lluvia siendo para el área metropolitana de San Salvador y alrededores de 4.26 ppm y el punto con mayor contenido fué Ciudad Merliot con 6.75 ppm.

Aunque a nivel general el pH promedio del agua lluvia se percibe de que no es grave (  $pH = 5.63$  % c.v.= 10.159  $V_{max} = 6.90$  y  $V_{min} = 4.15$  ), se aclara que en forma local en varios puntos del área metropolitana de San Salvador y alrededores, se reportaron pH bajos, hasta 4.15, por lo que las lluvias ácidas en San Salvador ocasionalmente están precipitando .

por informaciones recabadas de fuentes que realizaron mediciones de acidez para aguas lluvias en años anteriores, se conoce que el pH promedio del agua lluvia era de 6.5, en esta investigación se comprobó que la acidez del agua lluvia aumentó pues su pH bajó a 5.63, por lo que cada vez más la tendencia es de acercamiento a una lluvia ácida declarada.

Se espera que este trabajo sirva de base para estudios posteriores, así como de motivación para continuar con los monitoreos y análisis de aguas lluvias; todo por la conservación de la vida y la Ecología en El Salvador!.

## I N D I C E

RESUMEN	i
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xv
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
1.0 DESARROLLO HISTORICO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.	4
1.1 Antecedentes de la Contaminación Atmosférica a Nivel Mundial	4
1.2 Antecedentes Sobre la Lluvia Acida a Nivel Mundial	11
CAPITULO II	
2.0 CONTAMINACION ATMOSFERICA	16
2.1 Composición General del Aire	16
2.2 Efectos Metereológicos	20
2.2.1 Transporte a Larga Distancia	20
2.2.2 Dispersión de Contaminantes	21
2.2.3 El Viento	22
2.2.4 La Turbulencia	22
2.2.5 Estabilidad Atmosférica	23
2.2.6 Inversión de Temperatura	24

2.2.7	Efectos Topográficos	27
2.2.8	Precipitaciones	28
2.3	Fuentes de Contaminación	28
2.4	Contaminación Atmosférica en El Salvador	32
2.5	Clasificación de los Contaminantes	39
2.6	Contaminantes Primarios	45
2.6.1	Fuentes de Contaminantes Primarios	45
2.6.1.1	Monóxido de Carbono (CO)	46
2.6.1.2	Oxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> )	47
2.6.1.3	Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	49
2.6.1.4	Hidrocarburos (HC)	52
2.6.1.5	Macropartículas	53
2.6.1.6	Partículas Líquidas	54
2.7	Contaminantes Secundarios	55
2.7.1	Neblumo Fotoquímico	56
2.7.2	Contaminantes Secundarios que causan lluvia ácida	60
2.8	Química Atmosférica	62
2.8.1	Ozono	63
2.8.2	Compuestos Nitrogenados	66
2.8.3	Compuestos azufrados	69
2.8.4	Compuestos Carbonados	72
2.8.5	Compuestos Halogenados	74

## CAPITULO III

3.0	LLUVIA ACIDA Y SUS EFECTOS	76
3.1	Definición de Lluvia Acida	76
3.2	Grado de Acidez	77
3.3	Tipos de Lluvia Acida	78
3.4	Efectos de la Lluvia Acida	79
3.4.1	Daños a Edificaciones y Monumentos	79
3.4.1.1	Daños a Edificaciones	80
3.4.2	Daños en Vegetación y Suelos	82
3.4.3	Daños en Vida Acuática	88
3.4.4	Daños en la Persona	92
3.4.5	Definición de Hipótesis Sobre Lluvia Acida en el área metropolitana de San Salvador y Alrededores.	93

## CAPITULO IV

4.0	MANUAL DE MUESTREO DE AGUAS LLUVIAS	94
4.1	Criterios de Muestreo	94
4.2	Diseño del Equipo Colector	94
4.3	Ubicación del Punto de Muestreo	96
4.4	Ubicación del Colector	100
4.5	Cantidad y volumen de Muestreo a Colectar	102
4.6	Procedimiento para Recolectar la Muestra	103
4.7	Transporte de la Muestra	106

CAPITULO V		
5.0	CRITERIOS PARA SELECCIONAR VARIABLES FISICAS Y QUIMICAS	108
5.1	Selección de Variables Físicas	108
5.1.1	Variables Físicas	109
5.1.1.1	Sólidos Disueltos	109
5.1.1.2	Temperatura	109
5.1.2	Variables Químicas	109
5.1.2.1	El pH	109
5.1.2.2	El Dióxido de Carbono Libre (CO <sub>2</sub> )	110
5.1.2.3	Nitratos	110
5.1.2.4	Sulfatos	111
5.1.2.5	Cloruros	111
5.2	Prioridad de Análisis	112
CAPITULO VI		
6.0	MANUAL DE METODOLOGIA DE ANALISIS FISICOQUI- MICOS DE AGUAS LLUVIAS	113
6.1	Determinación del Dióxido de Carbono Libre (CO <sub>2</sub> )	113
6.2	Determinación de pH	117
6.3	Determinación de la Temperatura	120
6.4	Determinación de Sulfatos	121
6.5	Determinación de Cloruros	124
6.6	Determinación de Nitratos	131

6.7	Determinación de Sólidos Disueltos	138
-----	------------------------------------	-----

## CAPITULO VII

7.0	RESULTADOS OBTENIDOS EN VARIABLES FISICO QUIMICAS EN AGUA LLUVIA	141
7.1	Presentación de Resultados Obtenidos en Aguas Lluvias, para el Area Metro- politana de San Salvador y sus alrede- dores	143
7.2	Representación Gráfica de Resultados variables VRS Tiempo, para Aguas Llu- vias, en los cinco puntos de muestreo del Area Metropolitana y sus alrede- res	148
7.2.1	Primer Bloque de Gráficos pH VRS Tiem- po	150
7.2.2	Segundo Bloque de Gráficos Sólidos Disueltos VRS Tiempo	156
7.2.3	Tercer Bloque de Gráficos Dióxido de Carbono VRS Tiempo	162
7.2.4	Cuarto Bloque de Gráficos Sulfatos VRS Tiempo	168
7.2.5	Quinto Bloque de Gráficos Nitrato VRS Tiempo	174
7.3	Presentación Gráfica de Resultados pH VRS Variables en Aguas Lluvias para los	

	cinco puntos de Muestreo del Area Metropolitana de San Salvador y sus alrededores	180
7.3.1	Primer Bloque de Gráficos pH VRS Sólidos Disueltos	181
7.3.2	Segundo Bloque de Gráficos pH VRS Dióxido de Carbono	187
7.3.3	Tercer Bloque de Gráficos pH VRS Nitratos	193
7.3.4	Cuarto Bloque de Gráficos pH VRS Sulfatos	199
7.4	Presentación Gráfica de Resultados Globales pH VRS Variables en Aguas Lluvias para los cinco puntos de muestreo en el Area Metropolitana de San Salvador y sus alrededores	205
CAPITULO VIII		
8.0	DISCUSION DE RESULTADOS	216
8.1	Discusión sobre el Método de Muestreo Utilizado	216
8.2	Discusión Sobre Metodología de Análisis Fisicoquímico	217
8.2.1	Discusión de Metodología para Dióxido de Carbono Libre	217

8.2.2	Discusión de Metodología para pH	218
8.2.3	Discusión de Metodología para Temperatura	218
8.2.4	Discusión de Metodología para Sulfatos	219
8.2.5	Discusión de Metodología para Nitratos	220
8.2.6	Discusión de Metodología para Cloruros	221
8.3	Discusión de Resultados Obtenidos en Aguas Lluvias	221
8.3.1	Discusión de Resultados pH vrs Tiempo (t)	222
8.3.2	Discusión de Resultados CO <sub>2</sub> vrs Tiempo (t)	224
8.3.3	Discusión de Resultados Sólidos Disueltos vrs Tiempo (t)	225
8.3.4	Discusión de Resultados de Temperatura de Caída del Agua Lluvia vrs Tiempo	227
8.3.5	Discusión de Resultados Nitratos vrs Tiempo(t) en Agua Lluvia	227
8.3.6	Discusión de Resultados Sulfato vrs Tiempo (t) en Agua Lluvia	229
8.3.7	Discusión de Resultados Variables VRS pH	230
8.3.7.1	Discusión de Resultados pH VRS Sólidos Disueltos	231

8.3.7.2	Discusión de Resultados pH VRS Dióxido de Carbono	232
8.3.7.3	Discusión de Resultados pH VRS Temperatura	232
8.3.7.4	Discusión de Resultados pH VRS Nitratos	233
8.3.7.5	Discusión de Resultados pH VRS Sulfatos	233
8.4	Validez Estadística del Muestreo y Análisis realizado	234

## CAPITULO IX

9.0	ALTERNATIVAS DE SOLUCION Y ASPECTOS LEGALES PARA PREVENIR CONTAMINACION Y SUS CONSECUENCIAS	236
9.1	Propuestas Tecnológicas	236
9.1.1	Busqueda de Nuevas Fuentes de Energía	236
9.1.2	Tratamiento de Combustibles antes del Proceso	237
9.1.3	Tratamiento de Combustibles en el Proceso	239
9.1.4	Tratamiento Post Proceso	240
9.1.5	Tratamiento de Particulas	242
9.1.6	Alternativas de Solución en algunas Industrias	245
9.2	Aspectos Legales que pueden ser útiles para prevenir la Lluvia Acida en El Salvador	249

9.2.1	Leyes sobre Protección y Conservación del Medio Ambiente en El Salvador	249
9.2.1.1	Código de Sanidad y Anexos	249
9.2.1.2	Código de Salud	250
9.2.1.3	Reglamento General Sobre Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo	251
9.2.1.4	Reglamento General de Tránsito	252
9.2.1.5	Código Penal	252
9.2.2	Tendencias Legislativas y Reglamentarias (EEUU)	257
9.2.2.1	Estándares Nacionales de Emisión (EEUU)	253
10.0	OBSERVACIONES	256
11.0	CONCLUSIONES	257
12.0	RECOMENDACIONES	262
13.0	REFERENCIAS	264
	ANEXOS	

## INDICE DE CUADROS

CUADRO No.	DESCRIPCION	PAG.
2.1	COMPOSICION GASEOSA DEL AIRE SECO NATURAL	18
2.2	FUENTES ANTROPOGENICAS DE CONTAMINACION DEL AIRE	33
2.3	CONTAMINANTES DESCARGADOS EN LA ATMOSFE- RA POR DIFERENTES FUENTES (EEUU)	34
2.4	LIMITES DE CONCENTRACION PERMISIBLE DE CONTAMINANTES PARA CLASIFICAR UNA ATMOS- FERA COMO PURA O CONTAMINADA	37
2.5	DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE DEFUNCION EN EL SALVADOR	40
2.6	DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE DEFUNCION EN EL SALVADOR	41
2.7	VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS POR TIPO DE PLACA EN EL SALVADOR	42
2.8	CLASES DE PARTICULAS SOLIDAS	43
2.9	FUENTES DE PARTICULAS SOLIDAS Y LIQUIDAS	44
2.10	PRODUCCION ANUAL DE ALGUNOS GASES NATU- RALES Y ANTROPOGENICOS	46
2.11	FUENTES DE MONOXIDO DE CARBONO (EEUU)	48
2.12	FUENTES DE OXIDOS DE AZUFRE (EEUU)	50
2.13	FUENTES DE OXIDOS DE NITROGENO (EEUU)	51

2.14	EMISIONES DE HIDROCARBUROS EFECTUADOS POR DIVERSAS FUENTES AL AIRE	53
2.15	VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE DIFEREN- TES TIPOS DE PARTICULAS	54
2.16	CONCENTRACIONES ESTABLECIDAS POR LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (US - EPA) PARA LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS EN LA ATMOSFERA	55
2.17	CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS PRINCIPA- LES DE NEBLUMO	56
3.1	EFFECTOS DEL AGUA ACIDA EN LA VIDA ACUA- TICA DE LAGOS	92
4.1	DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVA- DOR Y ALREDEDORES	101
6.1	PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DE SUL- FATOS A PARTIR DE SOLUCION PATRON MADRE DE SULFATOS	123
6.2	PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DE CLÓ- RUROS A PARTIR DE SOLUCION PATRON MADRE DE CLORUROS	133
6.3	PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DE NITRA- TOS A PARTIR DE SOLUCION PATRON MADRE	134
8.1	RESULTADOS OBTENIDOS DE EVALUACION ESTA- DISTICA "t" STUDENT. APLICADA A RESULTA- DOS OBTENIDOS. DE ANALISIS FISICOQUIMI-	

	COS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METRO-	
	POLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	235
9.1	ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA DE	
	CONTAMINACION EN LA INDUSTRIA	246

### INDICE DE TABLAS

TABLA No.	DESCRIPCION	PAG.
2.1	PRESENTACION DE LOS VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS DE MONOXIDO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR	37
2.2	PRESENTACION DE LOS VALORES OBTENIDOS DE MONOXIDO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR	38
7.1	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE pH EN EL AGUA LLUVIA, EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	144
7.2	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE CO <sub>2</sub> EN EL AGUA LLUVIA, EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	145
7.3	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE SOLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA LLUVIA EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	146

7.4	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE "TEMPERATURA DE CAIDA DEL AGUA LLUVIA" EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	147
7.5	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE "NITRATOS EN AGUAS LLUVIAS" EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	148
7.6	RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE SULFATOS EN AGUAS LLUVIAS DE LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES	149

#### INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	DESCRIPCION	PAG.
2.1	CAPAS DE LA ATMOSFERA TERRESTRE	16
2.2	MOVILIDAD VERTICAL Y HORIZONTAL DEL AIRE	25
2.3	INVERSION ATMOSFERICA	27
2.4	CICLO DEL DIOXIDO DE NITROGENO	57
2.5	INTERFERENCIA CON EL CICLO DEL DIOXIDO DE NITROGENO	58
2.6	REGENERACION DEL CICLO DEL NITROGENO	59

3.1	ESCALA DEL GRADO DE ACIDEZ (pH)	78
3.2	EFFECTOS DE LA LLUVIA ACIDA	80
3.3	INVESTIGACION EN BOSQUES SOBRE LOS EFFECTOS DE LA LLUVIA ACIDA Y EL ALUMINIO EN LAS RAICES DE LOS ARBOLES Y SUELOS	86
3.4	MUCHOS ARBOLES DE ABETO ESTAN MURIENDO EN LA CIMA DE LA MONTAÑA DE VERMONT, USA.	87
3.5	TRUCHA DEFORMADA POR EL AGUA ACIDA	91
3.6	TRUCHA NORMAL	91
4.1	EQUIPO COLECTOR PLASTICO SIN CEDAZO	96
4.2	CEDAZO PARA EL EQUIPO COLECTOR	97
4.3	EQUIPO COLECTOR CON SU CEDAZO	98
4.4	FRASCOS ALMACENADORES PARA AGUAS LLUVIAS	99
4.5	EQUIPO COLECTOR SOBRE TECHO	103
4.6	EQUIPO COLECTOR AL AIRE LIBRE	104
6.1	CURVA DE CALIBRACION PARA SULFATOS	125
6.2	CURVA DE CALIBRACION PARA CLORUROS	130
6.3	CURVA DE CALIBRACION PARA NITRATOS	137
6.4	GRAFICA DE CONVERSION PARA SOLIDOS DI- SUELTOS EN AGUA LLUVIA	140
7.1	GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO	

	P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991	151
7.2	GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES- TREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990 MAYO- 1991	152
7.3	GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES- TREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	153
7.4	GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES- TREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991	154
7.5	GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES- TREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	155
7.6	GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	157
7.7	GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	158

7.8	GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	159
7.9	GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	160
7.10	GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEM- BRE 1990-MAYO 1991	161
7.11	GRAFICAS DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBO- NO LIBRE ( $CO_2$ ) OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPAN- GO). ENERO 1991-MAYO 1991	163
7.12	GRAFICAS DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBO- NO LIBRE ( $CO_2$ ) OBTENIDOS EN AGUAS LLUVI- AS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOUR- DES). DICIEMBRE 1991-MAYO 1991	164
7.13	GRAFICAS DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBO- NO LIBRE ( $CO_2$ ) OBTENIDOS EN AGUAS LLU- VIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). NOVIEMBRE 1991-MAYO 1991	165
7.14	GRAFICAS DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBO- NO LIBRE ( $CO_2$ ) OBTENIDOS EN AGUAS LLU-	

	VIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). ENERO 1991-MAYO 1991	166
7.15	GRAFICAS DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE (CO <sub>2</sub> ) OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). ENERO 1991-MAYO 1991	167
7.16	GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	169
7.17	GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	170
7.18	GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	171
7.19	GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	172
7.20	GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	173

7.21	GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	175
7.22	GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	176
7.23	GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	177
7.24	GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	178
7.25	GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	179
7.26	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	182
7.27	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA	

	EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	183
7.28	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	184
7.29	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	185
7.30	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	186
7.31	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPAN GO). ENERO 1991-MAYO 1991	188
7.32	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). DICIEMBRE 1990-MAYO 1991	189
7.33	GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). NOVIEMBRE 1990-MAYO 1991	190

- 7.34 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). ENERO 1991-MAYO 1991 191
- 7.35 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). ENERO 1991-MAYO 1991 192
- 7.36 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991 194
- 7.37 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991 195
- 7.38 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991 196
- 7.39 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991 197
- 7.40 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO

	DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	198
7.41	GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	200
7.42	GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	201
7.43	GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	202
7.44	GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	203
7.45	GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CIUDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	204
7.46	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS TEMPERATURA OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y SUS ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-	

		xxiv
	MAYO 1991	206
7.47	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	207
7.48	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS DIOXIDO DE CARBONO OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	208
7.49	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS NITRATO OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	209
7.50	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVA- DOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	210
7.51	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDO- RES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	211
7.52	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES PARA DIO-	

	XIDO DE CARBONO OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. NOVIEMBRE 1990-MAYO 1991	212
7.53	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES PARA SOLIDO DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	213
7.54	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES PARA NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990 MAYO 1991	214
7.55	GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES PARA SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991	215

## INTRODUCCION

Los antecedentes de contaminación atmosférica a nivel mundial son alarmantes, ya que han dejado irreparables daños en la vida humana causando hasta la muerte en algunos casos. Por esa razón es importante y necesario que en El Salvador se hagan esfuerzos por controlar las descargas irracionales al medio ambiente. Esta investigación tiene como objeto determinar el grado de acidez existentes en las lluvias, y la concentración de los ácidos que influyen en la acidez en diversas zonas del área metropolitana de San Salvador y alrededores.

El presente trabajo se inicia con la historia de la contaminación atmosférica, desde el apareamiento del humo y los avances que ésta ha tenido hasta el surgimiento de la lluvia ácida, como una causa de exagerada contaminación atmosférica. Se habla mucho sobre los sucesos provocados por la lluvia ácida que han sido dados a conocer públicamente.

Los efectos meteorológicos están relacionados con los problemas de contaminación así: el viento, las turbulencias, inversiones de temperaturas etc. están involucrados en los procesos de concentración, dilución y traslado a nivel mundial de los contaminantes.

Se describen los diferentes tipos de contaminantes existentes y se les clasifica como: contaminantes primarios ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), y contaminantes secundarios (neblumo

fotoquímico, lluvia ácida, etc.). Las depositaciones ácidas, como la lluvia ácida son derivadas de los contaminantes primarios.

Se exponen las supuestas reacciones químicas que se dan en la atmósfera para la generación de lluvia ácida y las condiciones necesarias que debe requerir para que se efectúen esas reacciones dan un parámetro para seleccionar las variables físicas y químicas a medir en los análisis fisicoquímicos de aguas lluvias.

Se mencionan los efectos que la lluvia ácida ha provocado hasta el momento en edificaciones y monumentos, árboles, hojas de plantas, vida acuática y suelos, lo cual es una muestra de lo grave que se tornaría este problema sino se toman las medidas respectivas.

En la parte experimental se desarrolló el muestreo de aguas lluvias y los análisis fisicoquímicos, como mediciones de temperatura, sólidos disueltos, dióxido de carbono (libre), sulfatos, cloruros y nitratos.

Aunque se cuenta con diferentes alternativas para prevenir la contaminación atmosférica (tecnológica) y además de aspectos legales que pueden contribuir a regular las descargas de contaminantes al aire; es difícil y casi imposible erradicar la contaminación atmosférica. Pero si se hace conciencia sobre la importancia de la conservación del medio ambiente, ya que es una necesidad imperante en el mundo y en El Salvador, son (Los Salvadoreños) los llamados

a fomentar y actuar en favor de la ecología Nacional y a conservar nuestros recursos.

## C A P I T U L O I

## 1.0 DESARROLLO HISTORICO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

## 1.1 ANTECEDENTES DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA A NIVEL MUNDIAL.

La contaminación del ambiente no es algo nuevo, ha existido desde muchos años antes de la aparición del hombre sobre la tierra. Sin embargo el hombre primitivo no tenía mayor conciencia de la contaminación natural existente por ser ésta, por lo general; imperceptible y pudo convivir con ella. El hombre en todo su proceso evolutivo ha utilizado el calor para muchas de sus actividades o necesidades; empleó la madera como combustible para darse calor, ablandar sus alimentos, defenderse de la fieras, etc.; y al mismo tiempo que hacía esto, estaba dando origen al primer contaminante de la atmósfera causado por el hombre: "EL HUMO", aunque ya existían contaminantes del aire como: DISPERSION DEL POLEN, ERUPCIONES VOLCANICAS, INCENDIOS DE BOSQUES CAUSADOS POR EL RAYO, etc..

En el siglo XIII, se agotaron los suministros de madera; esto causó la demanda de otro combustible: EL CARBON; su utilización como fuente de calor en el principio del siglo XIV, marcó el inicio de la contaminación atmosférica, por medio de sistemas industriales que estaban

en nacimiento y que hacían que el hombre comenzara a sentir sus efectos y a considerarlos como un problema social.

En el siglo XVI, se descubrió otro gran contaminante de la atmósfera: EL ANHIDRIDO SULFUROSO o BIOXIDO DE AZUFRE, suministrado por el carbón; con este conocimiento se empezó a buscar la forma de eliminarlo del carbón.

En 1800, se descubre otro contaminante: EL ACIDO CLORHIDRICO, procedente de las fábricas de ácidos, el cual estaba causando daño a la vegetación, así como corrosión. La industria química aportó contaminantes como: Sulfuro de Hidrógeno, Dióxido de Nitrógeno, Fluoruro de Hidrógeno; y las industrias metalúrgicas: "Humos Metálicos" como el Plomo, Arsénico, Zinc y cobre, polvo de rocas, Oxidos de hierro y Azufre, etc..

Por los años 1860-1890, se efectuaron estudios en Estados Unidos sobre la naturaleza, composición y efecto del aire contaminado relacionados con la combustión; no se efectuó ningún estudio sobre técnicas para determinar la naturaleza y concentración de contaminantes.

A fines del siglo XVIII, se conoce todo sobre las causas del humo, pero no se ha hecho nada por reducirlo, por lo menos; el humo en las ciudades.

Al inicio del siglo XIX, con la Revolución Industrial en Inglaterra, la contaminación llegó a convertirse en un grave problema, pero el humo que salía de las chimeneas de miles de fábricas era bien recibido ya que era la señal de

prosperidad y de dinero. A fines del siglo XIX en el año de 1881, se aprobó la Ley de Inglaterra contra el humo.

Entre 1890 y 1914, se efectuaron estudios en Norte América sobre la situación del humo en varias ciudades, muchas de ellas consideraron el hollín y las cenizas.

En 1912, Gran Bretaña efectuó una medición en gran escala del humo, Anhídrido Sulfuroso, Hollín, Ceniza y se ha continuado esa medición hasta estos días.

En 1930, la situación del humo en las ciudades, aparentemente no había cambiado, puesto que para el pequeño consumidor de carbón la aplicación de ordenanzas, leyes o penas no tenían efecto. Se llegó a la conclusión de que la única forma de detener el humo en su fuente, era suministrar un combustible que fuese incapaz de producir humo. Se prohibió la venta de carbón bituminoso con un contenido volátil de mas del 20% y se suministró un combustible que no dá humo como la antracita; se aumentó el suministro de aceite o de gas natural como combustible para calentar, a un precio que competía con el carbón; ésto hizo que cambiara la situación de la contaminación de la atmósfera de muchas grandes ciudades norteamericanas.

Entre 1890 y 1905, se observa un aumento en el número de investigaciones sobre contaminación del aire; estas investigaciones dieron origen a métodos para controlar la emisión de humos, guiados por el sentido común y no por un sentido científico; basados en la creencia que si el humo

fuese calentado suficientemente, sería totalmente consumido; no obstante muchos años antes, en Londres, se había publicado un reporte sobre combustión en el que se había mostrado que para evitar el humo, no era suficiente una alta temperatura, sino que hacía falta, también, suficiente suministro de oxígeno.

Entre 1905-1915, se efectuaron investigaciones médicas de naturaleza clínica y epidemiológica; en ellas se estableció que el cáncer tiene una alta incidencia en los lugares en los cuales se usa mucho el carbón.

Entre 1926-1935, se presentaron investigaciones por parte de Francia y Alemania, sobre los daños causados a la salud humana y a la vegetación por el aire contaminado, así como métodos y aparatos científicos para la medida de contaminantes y polvo.

En Diciembre de 1930, se dió el dramático desastre del valle del MOSA, en Bélgica; se encontraba sometido a una condición meteorológica anticiclónica, siendo más marcada esta situación en el valle del Mosa, la cual estaba afectada por una inversión de temperatura; allí se localizaban varias industrias pesadas. Al tercer día de esta situación, se presentaron numerosos casos de enfermedad del tracto respiratorio, aunque el total de casos no fué exactamente determinado, fué estimado en miles y el número de muertos se estimó en 60.

Entre 1936-1945, en Norte América se investigaron

actividades industriales, sobre fábricas de fertilizantes o aluminio, sobre descargas del Fluor; que produce daños o la muerte en los vegetales, animales, lo mismo que en el hombre.

En el Canadá, se efectúan estudios científicos sobre contaminación industrial históricamente importantes porque por primera vez, se utilizan métodos de control meteorológicos aplicados a contaminantes industriales.

En 1943, la ciudad de Los Angeles (Estados Unidos), comenzó a experimentar un nuevo tipo de contaminación de la atmósfera que se consideró formado por los humos (Anhídrido Sulfuroso) y la niebla por lo que se le llamó SMOG, (de las palabras inglesas: Smoke y Fog), el cual causaba reducción de la visibilidad, ardor en la garganta, irritaciones y secreciones de ojos y nariz, daños a edificios y materiales, así como a la vegetación.

El martes 26 de octubre de 1948, se da el suceso norteamericano más notable de contaminación en la ciudad de Donora, Pensylvania; había una marcada inversión de temperatura y la niebla fué acumulándose hasta envolver la ciudad y así comenzó a sentirse un sabor dulce desagradable del Bióxido de Azufre. En el segundo día se dieron los síntomas de tos, irritación de los ojos, nariz y garganta; para la mayoría de las 13,840 personas que vivían en el valle y de las cuales 600 enfermaron. El tercer día era tan espesa la niebla, que era imposible ver en las calles; se presentaron 20 defunciones y 5,910 personas presentaron

síntomas de enfermedad. Varias opiniones se dieron; algunas dijeron que las causas fueron los materiales sólidos arrastrados por el viento, tales como el Sulfato de Amonio, derivado de la reacción de azufre con elementos metálicos; algunos sugirieron que los óxidos de Nitrógeno constituyeron el agente culpable y otros que la acumulación de compuestos irritantes del Fluor.

El 24 de noviembre de 1950, en Poza Rica el cual es un pueblo de la costa del Golfo de México, donde estaba localizada una refinería de aceite y gas natural, y a causa de un mal manejo del proceso de gas natural, se efectuó un derrame gaseoso de grandes cantidades de Sulfuro de Hidrógeno, el cual rápidamente se extendió a la zona residencial de la población, complicandose el problema al presentarse una inversión de temperatura con ligero movimiento lateral de aire. Después de diez minutos de efectuado el derrame, comenzaron a presentarse los síntomas de enfermedad y las primeras muertes. Los síntomas por inhalación del gas sulfuroso de hidrógeno fueron: pérdida del olfato, tos, disnea, irritación conjuntival, náuseas, vómitos, dolor de cabeza y vértigo; quedando después entre algunos sobrevivientes, una secuela de afecciones de origen nervioso.

Del 5-9 de diciembre de 1952, algunas partes de la Isla Británica, especialmente del Valle del Támesis, dentro del cual se encuentra Londres, fueron invadidos por una densa

niebla asociada con condiciones meteorológicas anticiclónicas y con inversión de temperatura. Dentro de las primeras veinticuatro horas que se presentó la niebla, comenzó a acumularse aire contaminado y gran cantidad de personas comenzaron a presentar síntomas de enfermedades del tracto respiratorio. Algunos de estos síntomas fueron: tos con poco esputo, descarga nasal, ardor de la garganta y vómito, siendo los casos más severos, los de aquellos que ya tenían antecedentes de enfermedades del pecho como: bronquitis, asma y fibrosis pulmonar; además se notaron signos de disnea, cianosis, fiebre y broncoespasmos. Los datos de mortalidad indicaron que en un período de más o menos dos semanas, desde que se inició el problema, se habían presentado un total de 4,000 defunciones. Las causas de este desastre se atribuyeron a grandes concentraciones de humo y de Anhídrido Sulfuroso, considerándose que un 60% del Anhídrido Sulfuroso provenía de la combustión del carbón para usos domésticos; sin embargo, a la fecha no se ha determinado, exactamente, qué agente tóxico fué el culpable del episodio de Londres.

La contaminación atmosférica causada por la Revolución Industrial, es en la actualidad uno de los temas de mayor preocupación para la mayoría de los países más desarrollados y para los organismos nacionales e internacionales relacionados con la salud; siendo motivo de alarma las elevadas tasas de mortalidad presentadas en los episodios ya

expuestos de diversas ciudades; por la razón de que resulta muy difícil evaluar la magnitud del problema causado por un gran número de contaminantes que pueden dar lugar a su vez, a productos intermedios aún más nocivos para el hombre, los animales y los vegetales (1).

## 1.2 ANTECEDENTES SOBRE LA LLUVIA ACIDA A NIVEL MUNDIAL.

Las especulaciones de que se presenten productos intermedios derivados de la contaminación atmosférica, no se ha hecho esperar y una nueva amenaza está dejando ver sus consecuencias. Prueba de ello son los panoramas que aquí se presentan.

Los primeros efectos conocidos de la lluvia ácida fueron la acidificación de los lagos en la península escandinava.(2).

Los escandinavos dicen que otras naciones los están bombardeando con sus agentes contaminantes y tal destrucción parece análoga a los estragos de la "Guerra Química". Afirman que el aire contaminado por las fábricas de Inglaterra, Alemania Occidental y otros países europeos, convergen sobre su territorio. Según los suecos, el 75% de su lluvia ácida, proviene de otros países. Para los noruegos esta cifra equivale al 90% (3). Los escandinavos son vulnerables a la contaminación que viene por el aire, debido a su topografía plana, la cual no ofrece resistencia (4).

En Alemania Occidental, hay incontables árboles enfermos, víctimas de la lluvia ácida. Cierta experto forestal alemán, calcula que el 30% de los bosques de ese país está sucumbiendo ante la contaminación del aire. En Baviera más del 50% de los pinos está en peligro; sostiene, además; que a lo largo de las décadas el Bióxido de Azufre y metales pesados como el plomo y el cadmio, han envenenado el suelo (3).

Alemania no es el único de los países europeos cuyos bosques están muriendo; los franceses han descubierto que sus selvas también están en problemas. Muchos árboles en el exuberante Valle del Ródano ya no tienen esperanza de sobrevivir (4).

Suiza considerada como uno de los países menos contaminados, está sintiendo ahora, los efectos del waldsterben (muerte de los árboles en alemán) en su propio suelo (4).

En muchas partes de Europa, los bosques están creciendo mas lentamente, y en Alemania Oriental y Checoslovaquia, parece que la mortandad forestal es más grave que en Alemania Occidental, debido a la abundancia de agentes contaminantes industriales (3).

En 1960, Japón tuvo el más severo problema de contaminación por Azufre en el mundo; entre 1970 y 1975, redujo el nivel de  $SO_2$  en 15%, mientras el nivel de consumo de energía fué incrementado en un 120%; las plantas más

grandes tuvieron necesidad de requerir sistemas de desulfurización (2).

Alemania Oriental, Polonia, Checoslovaquia y Hungría, aún utilizan carbón con alto contenido de Azufre. Algunos checoslovacos consideran a su país como una zona de desastre ecológico (4). El informe checo de 1983, llega a la conclusión que la contaminación atmosférica en Praga, acorta en una hora la duración de la luz diurna cada diez años (4).

En Grecia la humoniebla ( $SO_2$ ) ha atacado la ciudad de Acrópolis, el Partenón, así como esculturas de mármol que datan desde la antigüedad (5).

Funcionarios de los Estados Unidos y Canadá están acusándose reciprocamente de no tomar las medidas necesarias para reducir la "exportación" de contaminantes industriales que se convierten en lluvia ácida. Canadá se lleva la peor parte, pues recibe cuatro veces más contaminantes que los que despacha para los Estados Unidos. Centenares de lagos en esos países, especialmente en la región oriental, han quedado sin peces, ni vida acuática; los ciclos reproductivos en plancton, se han destruido. Millares de lagos y otros cuerpos de agua, en el continente americano están bajo la misma amenaza. Según ciertas autoridades, la neblina acídica que se cierne sobre Alaska, en ocasiones tiene su origen en Japón! (3).

En Canadá en 1972, el 62% de la emisión creada por el

hombre de  $SO_x$ , venía de las estaciones generadoras termoeléctricas; 64% de la total emisión canadiense de 6 millones de toneladas métricas, venían de las provincias de Ontario y Quebec; las que se ubican inmediatamente vientos arriba de la región atlántica. (6).

El pH promedio anual de toda la lluvia ácida, presenta un valor de 4.5 sobre la mayoría del "este" de los Estados Unidos(7).

También se reporta que, en México; la zona arqueológica de Palenque, se ha observado un gran deterioro en los monumentos por el efecto de los vientos y lluvias, que provienen de los campos petroleros cercanos (2). La lluvia ácida que afecta a México, crea problemas de salud y provoca "serios estragos" en la vegetación, y monumentos históricos. Según estudios realizados por expertos mejicanos, tanto privados como oficiales, el deterioro más evidente en la vegetación se presenta en forma de decremento de la fotosíntesis, desgajamiento de la corteza y el color amarillo de los árboles. Añaden que el Valle de México, formado por la capital del país y diecisiete municipios; se ve muy afectado por las cerca de 15 mil toneladas de materias contaminantes que se generan diariamente. Precisan que el deterioro del Valle de México es un fenómeno progresivo ya que, más de 32 mil complejos industriales ubicados en la zona y la circulación de 2.5 millones de

vehículos, arrojan cerca de cinco millones de toneladas de tóxicos al año. Los expertos subrayan que los factores que contribuyen al incremento en la concentración de contaminantes, son el orográfico y el climático. Según estudios, al menos durante el 70% de los días del año, los tóxicos acumulados en el ambiente permanecen porque los vientos dominantes no son lo suficientemente fuertes para arrastrarlos más allá de la cuenca del Valle de México (8).

En El Salvador, no se ha efectuado ningún estudio de investigación sobre la lluvia ácida que pueda aportar antecedentes. Sólo es conocido que el Ministerio de Agricultura y Ganadería inició un proyecto relacionado con la lluvia ácida, pero que por razones desconocidas este quedó incompleto y no se llegó a ninguna conclusión.

## C A P I T U L O    I I

## 2. CONTAMINACION ATMOSFERICA.

## 2.1 COMPOSICION GENERAL DEL AIRE:

Antes de dar una definición de aire puro, es necesario conocer que: La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea la tierra, mientras que el aire es una porcion limitada de ella.

La atmósfera tiene una altura de 2,000 Km. La densidad de los gases desciende con la altitud y la temperatura varía también conforme ésta, lo que permite separar arbitrariamente a la atmósfera en capas para su estudio. Dichas capas se muestran en la siguiente Gráfica:

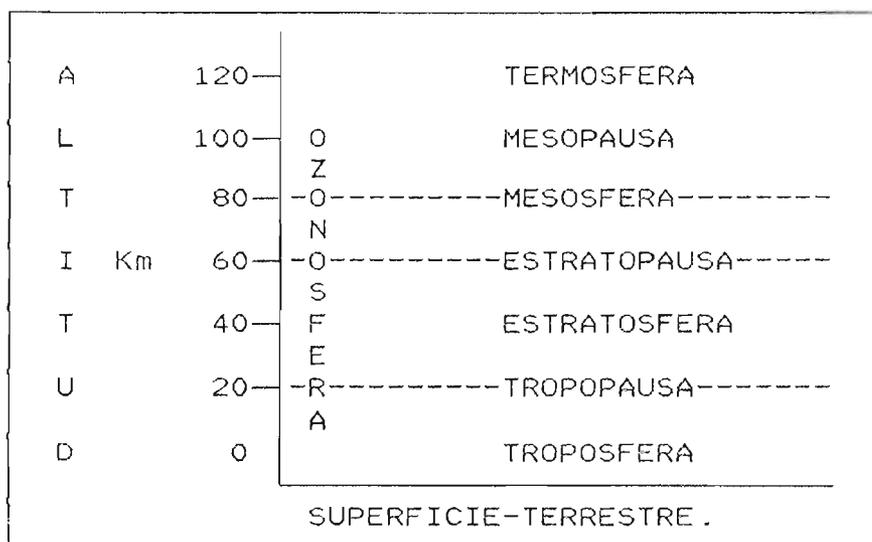


fig. 2.1 CAPAS DE LA ATMOSFERA TERRESTRE

La Tropósfera: Es la capa más importante y constituye el aire que respiramos. Ahí se observan los fenómenos metereológicos que determinan el clima y se producen los vientos; por lo cual una masa determinada de aire puede dar la vuelta a la tierra en unos pocos días. La temperatura desciende aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  por cada cien metros de altura hasta mantenerse constante en la altitud de la "tropopausa".

La Estratósfera: Es semejante a la Tropósfera; en ella hay poco vapor de agua y el gradiente de la temperatura es inverso, ya que la temperatura aumenta entre  $10$  y  $20^{\circ}\text{C}$  en  $60$  kilómetros de altura. Este incremento se debe a que el ozono absorbe las radiaciones ultravioletas e infrarojos que provienen del sol. Una de las principales funciones de la estratósfera es que actúa como filtro de estas radiaciones.

La Mesósfera: Disminuye el ozono y la temperatura disminuye también, al aumentar la altura hasta llegar a  $-70^{\circ}\text{C}$ .

La Termósfera o Ionósfera: Es una de las capas más alejada de la tierra; en ella la temperatura aumenta con la altura y a los  $200$  kilómetros sobrepasa los  $500^{\circ}\text{C}$ . Esto se debe a la absorción de la radiación solar ultravioleta por el oxígeno molecular y por el nitrógeno. Ahí el aire está intensamente ionizado por la incidencia de la radiación solar (2).

La tierra está rodeada, aproximadamente, por  $500,000$  millones de toneladas de aire (9). El aire puro consiste de

una mezcla de gases (1) que al parecer ha evolucionado durante varios miles de millones de años, hasta llegar a la composición actual (2), los cuales se mantienen constantes hasta alrededor de los 30 km de altura (1). Los componentes mas variables son el bióxido de carbono y el vapor de agua (2). En el cuadro 2.1. se presenta la composición del aire seco natural (10)

CUADRO 2.1.  
COMPOSICION GASEOSA DEL AIRE SECO NATURAL (10)

GAS	COMPONENTES	CONCENT.(PPM)	% EN VOL.
"AIRE PURO"	- Nitrógeno, N <sub>2</sub>	780,900	78.09
	- Oxígeno O <sub>2</sub>	209,400	20.94
	- Gases inertes: en su mayor parte Argón (9300 ppm), con una concentración mucho menor de Neón (18 ppm), Helio (5 ppm), Kriptón y Xenón (1 ppm c/u).	9,325	0.93
	- Bióxido de Carbono, CO <sub>2</sub>	315	0.03
	- Metano, CH <sub>4</sub> , parte natural del ciclo del Carbono de la biósfera y por lo consiguiente, no es contaminante, aunque se le confunde con otros hidrocarburos en ocasiones al calcular la contaminación total.	1	
	- Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0.5	
CONTA- MINAN- TES	- Oxidos de Nitrógeno, en su mayor parte N <sub>2</sub> O (0.5 ppm) y NO <sub>2</sub> (0.02 ppm), producidos por radiación solar y por los rayos.	0.52	
NATU- RALES	- Ozono O <sub>3</sub> , producidos por radiación solar y por los rayos.	0.02	

El Oxígeno: es un componente activo de la atmósfera e interviene en los siguientes procesos:

- Oxidación de Hidratos de Carbono.
- Combustión.
- Descomposición de materia orgánica.

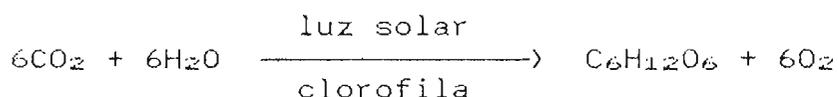
Existen algunos gases en la atmósfera que son esenciales para regular el Oxígeno, éstos son:

- Metano  $\text{CH}_4$ ; si no se produjera Metano, la concentración del Oxígeno se elevaría cerca del 1% en 2,500 años, lo cual llevaría a grandes desastres.
- El Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) secuestra el oxígeno no sólo para llevar a cabo funciones biológicas, sino como regulador del ozono estratosférico (2).

El vapor de agua se encuentra en las capas más bajas y decrece rápidamente desde la superficie hasta arriba, puesto que su fuente de producción es el proceso de la evaporación de los océanos, lagos, ríos, vegetación y con la condensación da como resultado la formación de nubes, nieblas, rocío, lluvia y nieve. Dichos procesos se encuentran en forma balanceada en la atmósfera, por lo que podemos decir que la masa total de vapor de agua se mantiene constante.

Otro componente variable en la atmósfera es el  $\text{CO}_2$  presente en muy pequeñas cantidades. Su producción natural

es la vida animal principalmente por el proceso de respiración, balanceada por la absorción de la vegetación.



En este aspecto el vapor de agua y el  $\text{CO}_2$  no se consideran como contaminantes (1); sino sólo cuando éste último sobrepasa la concentración aproximada de 0.03% V/V en la atmósfera, se considerará como contaminante.

#### 2.2.0 EFECTOS METEREOLÓGICOS.

##### 2.2.1 TRANSPORTE A LARGA DISTANCIA.

Como ya se dijo, la atmósfera se considera estructurada para fines prácticos, en capas concéntricas que se distinguen unas de otras por los cambios de temperatura que ocurren en ellas en relación con la altitud.

En la atmósfera los vientos son predominantes de Este a Oeste, pero no tienen movilidad vertical; por lo tanto, se caracterizan por una extrema estabilidad en esa dirección.

Por esta razón, es factible que los contaminantes que llegan a ella se repartan en pocas semanas en una franja angosta, situada a lo largo de la latitud de origen.

Después, esta banda se dispersará en el hemisferio de origen en dirección norte-sur y, finalmente abarcará todo el mundo.

La fracción de contaminante que llegue a bajar a la Tropósfera pasará, con relativa rapidez, a la superficie terrestre por medio de las "lluvias" o "turbulencia" de las masas de aire.

Así, la Estratósfera puede considerarse como región atmosférica "ESTANCADA" y por eso, puede acumular por largo tiempo, los contaminantes que lleguen a ella. Se considera que el tiempo medio de residencia en la Estratósfera de una sustancia o sea, el tiempo para que la mitad de un contaminante regrese a la Tropósfera, es de dos años. Esto hace que la contaminación de la Estratósfera sea un problema de gran riesgo para el mundo entero (2).

#### 2.2.2 DISPERSION DE CONTAMINANTES:

La metereología está involucrada con problemas de contaminación del aire, porque lleva a un entendimiento del proceso de la dispersión y en algunos casos, pueden realizarse estimaciones de la concentración de los contaminantes. El gas efluente se diluye con el aire y se dispersa. La concentración se reduce debido a la mezcla con un volumen mayor de aire (1).

Dentro de los factores metereológicos que influyen en la dispersión de los contaminantes tenemos: el viento y la

turbulencia.

### 2.2.3 EL VIENTO:

Es el principal factor, un contaminante gaseoso tomará exactamente el movimiento del aire que lo contiene, cuanto más fuerte sea el viento, mayor será la dilución. El viento es el componente atmosférico que genera los procesos dinámicos de transporte del aire en direcciones diversas, permitiendo la mezcla de sus componentes en un área en particular.

El viento interviene de modo directo en las etapas de transporte y difusión de contaminante dispersándolos a escala internacional. (11)

### 2.2.4: LA TURBULENCIA:

En la realidad la velocidad del viento varía en una secuencia irregular de ráfagas y calmas, haciendo en su trayectoria, movimientos irregulares en dirección Horizontal y vertical en la atmosfera. Ambas son manifestaciones del fenómeno de la turbulencia. Su efecto es dispersar el contaminante en una región aproximadamente cónica varias veces mayor en volumen, reduciendo la concentración del contaminante.

La dispersión de un contaminante dependerá de la intensidad de la turbulencia, siendo mayor su dispersión

cuando mayor sea la turbulencia. Esta es producto de la convección del aire y que genera los vientos, pues cuando se juntan masas de aire de muy diferentes temperaturas se generan turbulencias muy violentas que algunas veces son llamadas tornados.

#### 2.2.5 ESTABILIDAD ATMOSFERICA:

En la atmósfera normalmente la temperatura disminuye con la altura, a esta disminución de la temperatura con la altura se le llama gradiente.

Llamaremos gradiente adiabático seco, al gradiente particular de  $1^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ m}$ . El gradiente adiabático seco es el que determina si el movimiento vertical en la atmósfera se suprime o se realiza espontáneamente.

Consideraremos una parcela de aire, (pequeño volumen de aire) que por estar sobre un pedazo de terreno calentado por el sol, se hace ligeramente más caliente que el aire que lo rodea.

Por efecto de calentamiento esta parcela, sufrirá una ligera expansión, disminuirá su densidad y por acción de las fuerzas de empuje, comenzará a ascender, dado que en la atmósfera la presión disminuye con la altura; la parcela se expande y consecuentemente se enfría. La razón de enfriamiento de una parcela que asciende es igual a  $1^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ m}$ , o sea el gradiente adiabático seco, si la parcela desciende se

calentará por compresión a la misma razón.

A la razón de descenso de la temperatura en el ambiente atmosférico se le llama gradiente y a diferencia del gradiente adiabático seco ( $1^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ m}$ ) varía con las condiciones meteorológicas.

Si el gradiente es menor que el gradiente adiabático seco, una parcela ascendente se hará más fría y consecuentemente más pesada que el aire alrededor, tendiendo a regresar a su nivel original; el movimiento vertical es frenado y se dice, entonces; que la atmósfera es estable. Bajo condiciones de estabilidad se inhibe la expansión vertical de contaminantes.

Si el gradiente es mayor que el gradiente adiabático seco, la parcela que asciende se hará progresivamente más caliente y menos densa que el aire alrededor y por eso continuará ascendiendo, su movimiento vertical continuará espontáneamente y se dice entonces que la atmósfera es inestable. Bajo condiciones de inestabilidad, el aire se mueve libremente de un nivel a otro originando ráfagas y calmas, aumentando el grado de turbulencia (aumento de la dispersión) y permitiendo la libre expansión de contaminantes (1).(Ver figura 2.2)

#### 2.2.6: INVERSION DE TEMPERATURA:

Se ha dicho que en la atmósfera la temperatura

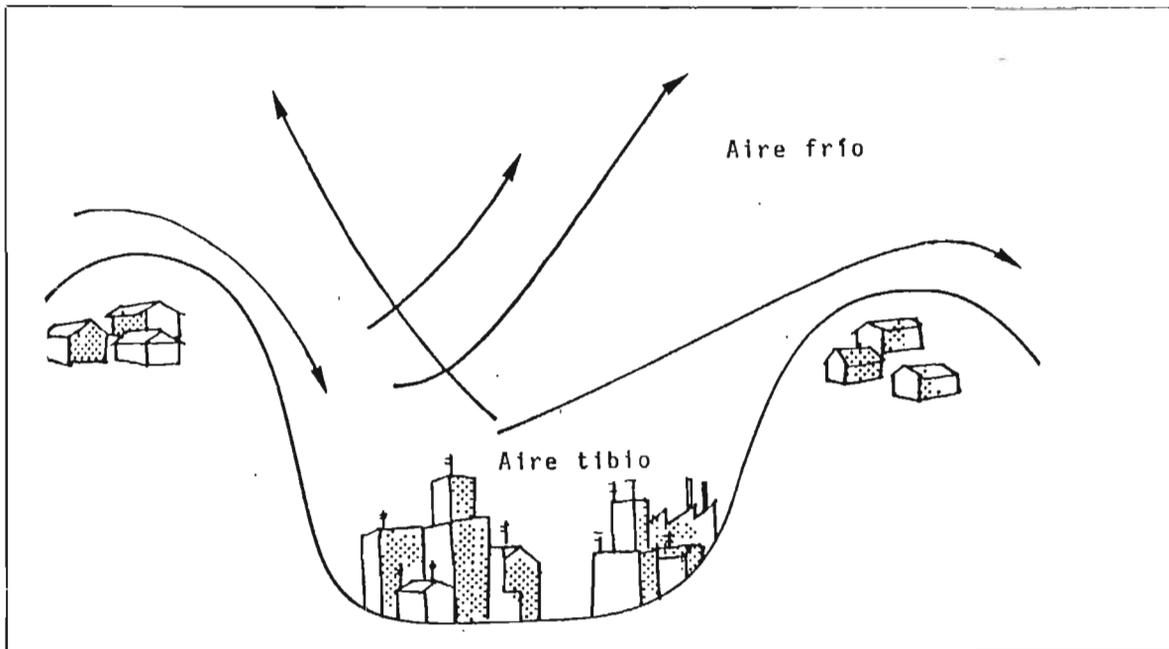


fig. 2.2 MOVILIDAD VERTICAL Y HORIZONTAL DEL AIRE (2).

normalmente decrece con la altura, pero algunas veces puede ocurrir lo contrario, es decir que la temperatura en vez de descender aumente con la altura en una capa de profundidad limitada. En este caso, decimos que hay una inversión de temperatura. Es evidente que si la temperatura aumenta con la altura el gradiente es menor que el gradiente adiabático seco; por lo tanto la inversión de la temperatura es un caso de estabilidad extrema, el movimiento vertical es casi nulo y se inhibe la expansión vertical de los contaminantes. Una inversión puede darse en la superficie o en los niveles algo superiores.

En el último caso puede haber un intercambio de aire en los niveles debajo de la inversión, pero la inversión por sí

misma actúa como una barrera al movimiento vertical.

Las inversiones que están en las superficies ocurren en las noches con calma cuando el cielo está claro; el suelo se enfría por pérdida de calor por radiación hacia el cielo. El aire cerca del suelo en consecuencia se enfriará y su temperatura se reduce más que en los niveles superiores, originando la inversión. Si el aire es húmedo, puede formarse niebla. Por esta razón la niebla está asociada con valores altos de contaminación (1).

Este fenómeno, por el cual se genera una zona definida de "aire estancado", es frecuente en ciertos lugares y, en algunas de ellas, puede presentarse incluso diariamente. Si la atmósfera está limpia, una inversión atmosférica no causa problemas; sin embargo, en la actualidad, la atmósfera sólo está razonablemente limpia en las zonas rurales y por lo tanto, para los grandes centros urbanos e industriales, las inversiones térmicas de la atmósfera son un peligro continuo, ya que en estas condiciones junto a la superficie terrestre no sólo se queda atrapado el aire frío, sino con él, todos los contaminantes que se generan a partir del momento en que se inicie la inversión y hasta que ésta cese (2).

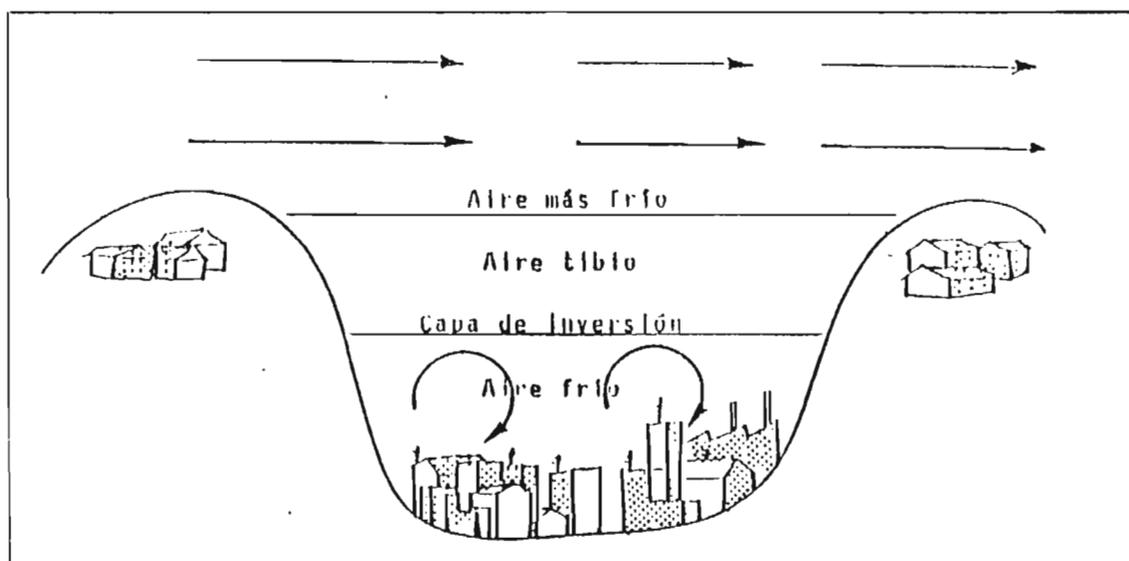


fig. 2.3 INVERSION ATMOSFERICA

#### 2.2.7 EFECTOS TOPOGRAFICOS;

Las montañas y valles pueden causar atrapamientos de aire en las primeras horas del día, ya que el aire junto a las montañas, está más frío que el de los valles por lo que inicia un descenso, impidiendo que el aire de los valles se eleve y evitando la dispersión de los contaminantes.

Las condiciones geográficas de la ciudad de San Salvador son las siguientes: Posición Geográfica:  $13^{\circ} 42' 00''$  L.N. y  $80^{\circ} 11'$  L.W.G 658 m.S.N.M.; Topografía: Ciudad ubicada en El Valle de Las Hamacas o Zalcoatitlán. Está rodeada de cerros y volcanes (Volcán Lamatepec, Cerro San Jacinto, Lomas y cerros de Mariona). Todas estas

características influyen en la penetración y movilización de las masas de aire, provenientes de América del Norte y del Hemisferio Sur.

#### 2.2.8 PRECIPITACIONES:

Si la humedad de la atmósfera lo permite, los contaminantes se adhieren a las partículas líquidas, favoreciendo la formación de niebla. La cual se conoce como brumado neblumo. Las formaciones de neblumo fotoquímico se debe a la reacción química que se da entre los contaminantes primarios y éstos se mezclan con la humedad bajo condiciones de temperatura favorables, o catalizados por los rayos solares (fotoquímicas), dando como resultado los llamados contaminantes secundarios (12).

#### 2.3 FUENTES DE CONTAMINACION:

Para que exista contaminación, se requiere que una sustancia definida se acumule hasta alcanzar concentraciones que excedan el nivel natural. Si la sustancia existe en la naturaleza, el origen de su acumulación puede ser las actividades del hombre; en este caso las sustancias se llaman ANTROPOGENICAS. Si no son las actividades del hombre quienes las producen se dicen que son de origen natural. Ejemplo: erupciones volcánicas.

## FUENTES ANTROPOGENICAS DE CONTAMINACION EN GENERAL.

### A. Las actividades productivas:

- La explotación de los recursos renovables y no renovables.
- La agricultura.
- La industria.

### B. Las actividades no productivas:

- El transporte.
- Actividades domésticas.
- Los servicios.

### C. Los Procesos Sociales:

- Urbanización.
- Crecimiento demográfico.
- Movimiento migratorio.
- La pobreza.

### D. Las alteraciones en el patrón cultural:

- La economía del consumo.
- Tabaquismo, Alcoholismo y Drogadicción (2).

Las fuentes principales de contaminaciones antropogénicas del aire, pueden clasificarse (según estudios realizados en EE.UU.):

- a. Transporte.
- b. Calefacción doméstica.
- c. Producción de energía eléctrica.
- d. Incineración de desechos.
- e. Combustión de las industrias y emisiones debido a los procesos del mismo.
- f. Cocinado doméstico con leña y gas.

Resulta difícil asignar los porcentajes exactos a cada una de las clasificaciones debido a la falta de suficiente información pero parece razonable aceptar que el transporte de toda clase, aporta aproximadamente un 60% de emisiones anuales totales que contamina el aire. La producción de Energía Eléctrica, contribuye con un 15%; la calefacción doméstica 10%; las emisiones del consumo industrial de combustible y a los productos del proceso de fabricación les corresponde un 20%. A la incineración de desechos se le asigna un 5% aproximadamente. Puesto que no vivimos en una sociedad estática, estas cifras aproximadas tampoco lo son; conforme se fabriquen y se vendan más automóviles, la parte correspondiente de contaminación aumentará.

Además de éstas emisiones principales existen una serie de contaminantes de menor importancia; la contaminación producida por las partículas de hule quemado de las llantas de los vehículos; cuando se observa como aterriza un avión de varias toneladas en un aeropuerto, se puede ver el humo

que sale de las llantas al entrar en contacto con la pista, lo mismo sucede cuando se frena repentinamente un vehículo que va a gran velocidad. Este fenómeno se presenta miles de veces al día en cualquier ciudad.

Los compuestos orgánicos de los perfumes, de las lociones para después de afeitar, etc., tienden a emitir olores agradables pero que al mismo tiempo contribuyen a nuestro problema de contaminación ambiental en pequeño grado. Así cuando se está construyendo una carretera o un edificio, al mover grandes cantidades de tierra con un clima seco, generalmente pasa mucho polvo al aire.

Por lo menos un 50% de los habitantes de la tierra fuman en una u otra época, ya sea cigarrillos, pipas o habanos y el humo del tabaco es, desde luego, un contaminante del aire.

El polvo cósmico, el sulfuro de hidrógeno de fuentes naturales e incluso el empleo de su aerosol favorito para eliminar plagas en el jardín, para perfumar el aire de una habitación, contribuye al problema general.

Cuando se está en la orilla del mar se puede observar que los vidrios de los automóviles se cubren con una capa de pegajosas gotitas que al secarse dejan sal en la superficie; estas partículas de sal ingresan al aire cerca del océano, suelen llegar hasta muchos kilómetros tierra adentro.

Cada vez que se camina por las calles se desgastan las suelas de los zapatos.

Al llenar el tanque de combustible se percibe el olor a ésta. Lo que se acaba de mencionar son otras formas de contaminación del aire. La lista sería interminable, todos los días se lanzan al aire pequeñas cantidades de contaminantes atmosféricos sin embargo, basta con saber que conciente o inconcientemente cada uno de nosotros contribuye diariamente al problema total.

La fuente de estos contaminantes del aire y su proporción relativa se puede encontrar en el Cuadro 2.2. (9). Presentándose el origen de éstos, el aporte que cada fuente proporciona en monóxido de Carbono, óxidos de azufre; óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas, para mejor comprensión ver Cuadro 2.2.

En el Cuadro 2.3. se presentan los diferentes contaminantes descargados en la atmósfera como aerosoles, gases y vapores. Se exponen dos grupos: El grupo I proporciona las fuentes de contaminantes de origen natural sin la intervención del hombre; el grupo II por fuentes Antropogénicas donde la mano del hombre se hace sentir (ej. la combustión doméstica e industrial). Muchos de los contaminantes naturales son producidos antropogénicamente como se puede percibir al observar el Cuadro 2.3.

#### 2.4 CONTAMINACION ATMOSFERICA EN EL SALVADOR.

El Salvador, muestra un marcado aumento de su desarrollo industrial y tecnológico, por lo tanto tiene que

CUADRO 2.2.  
FUENTES ANTROPOGENICAS DE CONTAMINACION DEL AIRE  
(EE.UU.) (9)

ORIGEN	CONTAMINANTES (Millones de Ton/año)					
	MONOX. CARB.	OXIDOS AZUFRE	OXIDOS NITROG.	HIDRO- CARB.	PARTI- CULAS	TOTALES
TRANSPORTE:						
Automóviles	0.1	14.1	3.5	Neg.	2.3	19.9
Otros	0.3	5.5	3.1	0.1	3.0	12.0
Total	1.3	1.8	0.5	0.6	0.4	4.6
COMBUSTIBLES QUEMADOS:						
Plantas termoeléctricas	67.3	0.3	7.0	12.7	0.7	88.0
Industria	3.9	0.1	1.0	1.1	0.5	6.6
Residencial	71.2	0.4	8.0	13.8	1.2	94.6
Otros	0.2	0.7	0.4	Neg.	0.3	1.6
Total	1.9	22.0	7.5	0.7	6.0	38.1
Total	7.8	7.2	0.2	3.5	5.9	24.6
PROCESOS DE FABRICACION:						
Incineración de desechos	4.5	0.1	0.7	1.4	1.2	7.9
Varios	1.2	0.6	0.2	4.2	0.4	6.6
TOTALES	86.6	30.3	16.6	23.6	14.6	172.8

NOTAS.

MONOX. CARB. : Monóxido de Carbono

OXIDOS NITROG. : Oxidos de Nitrógeno

HIDROCARB. : Hidrocarburos

estar sometido a uno de los efectos de ese desarrollo; el cual es el deterioro o contaminación de su atmósfera (1). La creación de la "Red Panamericana de Muestreo Normalizado"

CUADRO 2.3.  
CONTAMINANTES DESCARGADOS EN LA ATMOSFERA  
POR DIFERENTES FUENTES (EE.UU.) (12)

GRUPO	CLASE	AEROSOLES	GASES Y VAPORES
I	Erosión de suelo Incendios Volcanes	Polvo Humo gris Ceniza, humo gris	HCl, H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> Cloruros, gas carbónico, hidrógeno.
	Descarga eléctrica Sal marina Organismos vivos		Ozono, N <sub>2</sub> O
	Radioactividad	Polen, esporas	Radón y sus derivados
II	Combustión doméstica e industrial.	Polvo, humo	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, compuestos orgánicos, ácidos
	Motores, de automóviles (tránsito)	Humo, polvo	NO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , ácidos, compuestos orgánicos, Plomo. Desperdicio de los combustibles, elementos tóxicos, solventes, gases etc.
	Industrias	Polvo	(Depende del tipo de industria)
	Minas	Polvo	Depende del tipo de mina.
	Agricultura	Polvo	Pesticidas, solventes.
	Radioactividad	Desperdicios nucleares.	

de la Contaminación del Aire" (REDPANAIRES) y el establecimiento de monitores en la ciudad, marcan el inicio de la investigación de este problema; dando como resultado datos muy valiosos que permiten tener una idea de los niveles de contaminación en el área metropolitana de San Salvador (12).

En junio de 1970, se establece la primera estación monitora en la terraza del edificio del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (1), en el cual se efectuaron determinaciones diarias de polvo en suspensión, Anhídrido Sulfuroso, polvo sedimentable (12). Los valores los podemos ver en las tablas del anexo I y gráficas de los anexos II, III y IV. Se puede apreciar que los polvos sedimentables y los polvos en suspensión, rebasan los límites recomendados (ver anexo II y III). El Anhídrido Sulfuroso, aún cuando se mantuvo abajo del límite recomendado, la tendencia que sigue es ascendente, tendiendo a sobrepasar el límite permisible en los futuros años. (Ver anexo IV).

En julio de 1973, una segunda estación monitora fué instalada en la terraza del Teatro Nacional de San Salvador, la cual efectuaba mediciones de: índice de corrosividad, monóxido de carbono además de los parámetros anteriores medidos en la estación No. 1 (12) estos datos se presentan en el anexo I.

Ha existido interés Sanitario en conocer el grado de contaminación de San Salvador con CO, durante tres días

consecutivos del mes de abril de 1974; se efectuó una medición, utilizando tubos colorimétricos de Análisis instantáneo, aunque no son de gran precisión, permite ejecutar un sondeo de la atmósfera y tener cierto conocimiento del problema. (Ver tabla 2.1. y 2.2.).

El monitoreo siguió funcionando hasta el año de 1981, (12), y hasta la fecha no se cuenta con ninguna estación monitorea en servicio.

En cambio, la contaminación de la atmósfera ha seguido su curso y hoy más, que en los años anteriores, debido al aumento de vehículos en circulación y muchos en mal estado, la utilización de centrales termodiesel entre ellas la de Soyapango la cual no sólo funciona hoy en día en época seca, sino que por el déficit de energía existente está operando en cualquier época del año, las emanaciones de contaminantes son notorias y las fábricas contribuyen a ello. Se puede apreciar como la atmósfera de San Salvador, va adquiriendo una apariencia no muy atractiva (12). Basta con observar la ciudad metropolitana a cierta distancia y se detectará como la cantidad de humo que a diario se genera, forma una nube de tono grisáceo sobre la ciudad.

La información de los resultados obtenidos por la REDPANAIRE en la ciudad de San Salvador, entre 1967-1981 es presentada en anexo I.

TABLA 2.1.  
PRESENTACION DE LOS VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS DE MONOXIDO DE  
CARBONO EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR (1970-1973)(1)

Estación No.	Valor Medido	corrección	Valor Corregido		Límites de Concentración. ppm	
	ppm	± 25%	-	+	Inf.	Sup.
10	1.00	0.25	0.70	1.250	1.850	3.125
11	4.00	1.00	3.00	5.000		
11	4.00	1.00	3.00	5.000		
12	2.00	0.625	1.875	3.125	2.438	4.063
12	2.50	0.625	1.875	3.125		
13	5.00	1.250	3.750	6.250	2.813	4.688
13	5.00	1.250	3.750	6.250		
14	2.00	0.50	1.50	2.50	2.625	4.375
14	2.00	0.50	1.50	2.50		
15	5.00	1.250	3.750	6.25	2.625	4.375
15	5.00	1.250	3.750	6.25		
16	5.00	1.250	3.750	6.25	3.750	6.250
16	5.00	1.250	3.750	6.25		
17	8.00	2.00	6.00	10.00	4.875	8.125
TOTAL					20.976	35.001
PROMEDIO					2.997	5.000

También se muestra en los cuadros 2.5. y 2.6. las diez primeras causas de defunción en El Salvador y entre ellos se encuentran los originados por bronquitis, enficema y asma,

TABLA 2.2  
PRESENTACION DE LOS VALORES OBTENIDOS DE MONOXIDO DE  
CARBONO EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR (1)

Estación No.	Valor Medido	Correc- ción	Valor Corregido		Límites de Con- centración ppm	
	ppm	± 25%	-	+	Inf.	Sup.
2	9	2.25	6.25	11.25	10.875	18.125
3	20	5.25	15.00	25.00		
3	20	5.00	15.00	25.00	11.250	18.750
4	10	2.50	7.50	12.50		
4	10	2.50	7.50	12.50	11.250	18.750
5	20	5.00	15.00	25.00		
5	20	5.00	15.00	25.00		
6	2	0.50	1.50	2.50	8.250	13.750
6	2	0.50	1.50	2.50		
7	2.5	0.625	1.875	3.125	1.688	2.813
7	2.5	0.625	1.875	3.125		
8	7.5	1.875	5.625	9.315	3.750	6.250
8	7.5	1.875	5.625	9.315		
9	5	1.250	3.750	6.250	4.688	7.813
9	5	1.250	3.750	6.250		
2	9	2.250	6.750	11.250	5.250	8.750
1	5	1.250	3.750	6.250		
3	20	5.000	15.000	25.00	9.375	15.625
1	5	1.250	3.750	6.250		
5	20	5.000	15.000	25.00	9.375	15.625
1	5	1.250	3.750	6.250		
7	2.5	0.625	1.875	3.125	2.813	4.688
1	5	1.250	3.750	6.250		
9	5	1.250	3.750	6.250	3.750	6.250
TOTAL					82.3614	137.189
PROMEDIO					6.863	11.432

CUADRO 2.4  
 LIMITES DE CONCENTRACION PERMISIBLE DE CONTAMINANTES PARA  
 CLASIFICAR UNA ATMOSFERA COMO PURA O CONTAMINADA (9)

COMPONENTE	ATMOSFERA PURA	ATMOSFERA CONTAMINADA
Partículas dispersas	0.01 - 0.02 mg/m	0.07 - 0.7 mg/m
Anhídrido Sulfuroso	0.01 - 0.02 ppm	0.02 - 2.0 ppm
Anhídrido Carbónico	310 - 330 ppm	350 - 700 ppm
Oxido de Carbono	menos de 1 ppm	5.0 - 200 ppm
Oxido de Nitrógeno	0.10 - 10 ppm	10 - 100 ppm
Tótal de Hidrocarburos	menos de 1 ppm	1 - 20 ppm

como posible causa de contaminación en El Salvador. Se incluye el volumen total de vehículos por tipo (tabla 2.7.). Del total de vehículos que están matriculados en el país se estiman que 160,000 circulan en el área metropolitana de San Salvador diariamente; de estos 1,300 son buses.

## 2.5 CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES:

Se define como contaminantes del aire a aquellas sustancias que no se consideran componentes naturales del mismo (10). Diversos autores han clasificado a los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos de distintas maneras sin llegar a un acuerdo. Entre estas clasificaciones se tienen:

- A. Por sus características físicas.
- B. Por sus características químicas.
- C. Por sus efectos.
- D. Por sus fuentes de producción o emisión, etc.

CUADRO 2.5

## DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE DEFUNCION EN EL SALVADOR (1981-1985)

No. DE Orden	1 9 8 1 R/			No. DE Orden	1 9 8 6 R/				
	C A U S A S (1)	DEFUNCIONES (2)			C A U S A S (1)	DEFUNCIONES (2)			
		Numero	%			% con 3 Cert. Med.	Numero	%	% con 3 Cert. Med.
	TOTAL	37,468	100.0	49.5	TOTAL	27,247	100.0	45.8	
	Síntomas y Estados morbosos mal definidos	7,179	19.2	7.6	Síntomas y Estados Morbosos mal definidos.	6,443	23.7	7.3	
	Las demás causas	15,318	40.9	66.1	Las demás causas	8,919	32.7	62.4	
	SUB-TOTAL	14,971	39.6	51.2	SUB-TOTAL	11,885	43.6	54.2	
1	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	4,095	10.9	29.6	1 Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	2,594	9.5	36.4	
2	Enfermedades infecciosas intestinales	2,396	6.4	23.7	2 Enfermedades infecciosas intestinales.	1,726	6.4	20.1	
3	Homicidio	1,881	5.0	86.7	3. Homicidio	1,717	6.3	99.1	
4	Todas las demás causas accidentales.	1,352	3.6	75.4	4 Tumores malignos (incluye leucemia)	1,082	4.0	57.7	
5	Bronquitis, Efisema y asma	1,013	2.7	15.9	5. Enfermedades Cerebrovasculares.	910	3.3	49.8	
6	Tumores Malignos (incluye Leucemia)	966	2.6	75.4	6 Otra Violencia	795	2.9	99.7	
7	Accidentes de tráfico de vehículos de motor	851	2.3	87.4	7 Accidentes de tráfico de vehículos de motor.	794	2.9	98.9	
8	Enfermedades cerebrovasculares	851	2.3	51.7	8 Bronquitis, Enfisema y Asma.	791	2.9	17.1	
9	Enfermedades esquémicas del corazón.	773	2.1	25.2	9 Infarto agudo del miocardio.	785	2.9	33.4	
10	Enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón.	793	2.1	52.1	10 Neumonía	691	2.5	57.3	

(1) Según lista de mortalidad para la tabulación, novena revisión 1975.

(2) Incluye las defunciones ocurridas en el país, de residentes en el extranjero.

(R) Cifras revisadas.

- Publicación atrasada por falta de información

(3) Certificación médica

CUADRO 2.6

DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE DEFUNCION EN EL SALVADOR (1982-1986)

1 9 8 2					1 9 8 6 (P)				
No. DE CUEN	C A U S A S (1)	DEFUNCIONES (2)			No. DE ORDEN	C A U S A S (1)	DEFUNCIONES (2)		
		Número	%	% con 3 CERT. MED			Número	%	% con 3 CERT. MED
	TOTAL	33,248	100.0	47.0		TOTAL	25,731	100.0	49.5
	Síntomas y estados morbosos mal definidos.	7,178	21.6	7.2		Síntomas y estados morbosos mal definidos.	5,112	19.9	6.7
	Las demás causas	11,212	33.7	67.7		Las demás causas	9,602	37.3	63.7
	SUB-TOTAL	14,894	44.7	51.6		SUB-TOTAL	11,017	42.8	57.1
1	Otras afecciones y las mal definidas originadas en el período perinatal.	2,898	8.7	32.2	1	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal.	2,300	9.0	41.7
2	Infecciones intestinales debidas a otros organismos especificados y los mal definidos.	2,645	7.9	19.2	2	Enfermedades infecciosas intestinales.	1,598	6.2	27.1
3	Homicidios y lesiones inflingidas intencionalmente por otras personas.	2,576	7.7	90.7	3	Homicidios	1,399	5.4	97.8
4	Todas las demás causas accidentales.	1,695	5.1	69.1	4	Tumores malignos (incluye leucemia)	1,131	4.4	62.5
5	Tumor maligno todas las localizadas (incluye leucemia)	998	3.0	68.7	5	Enfermedad cerebrovascular	1,038	4.0	49.0
6	Enfermedades cerebro vasculares.	905	2.7	50.7	6	Otra violencia	789	3.1	97.2
7	Enfermedades isquémicas del corazón.	887	2.7	37.5	7	Accidentes de tráfico por vehículo de motor.	757	3.0	98.4
8	Bronquitis, Enfisema y asma	852	2.6	18.3	8	Infarto agudo del miocardio	730	2.8	38.9
9	Enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón.	761	2.3	51.1	9	Neumonía	730	2.8	54.1
10	Accidentes de Vehículo de motor	677	2.0	97.8	10	Bronquitis, Enfisema y Asma	545	2.1	22.2

FUENTE: Dirección General de Estadística y Censo.

(1) Según lista de mortalidad para la tabulación, novena reimpresión 1975.

(2) Excluye defunciones ocurridas en el país de residentes en el extranjero.

(P) Cifras provisionales.

- Publicación atrasada por falta de información.

(3) Certificación médica

CUADRO 2.7  
VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS POR TIPO DE PLACA (30)

TIPO DE PLACA	VEHICULO	TOTAL
A	Alquiler	4,667
AB	Autobus	6,685
C	Comercial	12,966
CC	Cuerpo Consular	51
CD	Cuerpo Diplomático	330
M	Motociclista	23,794
MI	Misión Internacional	611
P	Particular	160,235
N	Nacional	5,314
T	Trailer	2,216
V	Vendedor	413
TOTAL		217,282

Mencionando algunas de estas clasificaciones:

A. Por sus características físicas:

a) Partículas sólidas y líquidas.

b) Gases y vapores.

a) Partículas sólidas (Macropartículas).

Suelen tener diversos tamaños variando desde 30 a 20 micras de diámetro, hasta finas partículas suspendidas o aerosoles de valores tan bajos como 0.05 micras. Entre los contaminantes sólidos se mencionan:

- \* Humo
- \* Hollín, cenizas provenientes de las combustiones.
- \* Polvo natural.
- \* Polvo de procesos industriales tales como: Fluoruros, óxido de hierro, óxido de aluminio, sulfuro, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos. (1)

CUADRO 2.8  
CLASES DE PARTICULAS SOLIDAS (2)

POLVOS SEDIMENTABLES Diámetro > 5 micras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Silice</li> <li>- Berilio</li> <li>- Asbesto</li> <li>- Talco</li> <li>- Fibra vegetal</li> </ul>	
POLVOS EN SUSPENSION Diámetro < 5 micras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polvos orgánicos</li> <li>- Polvos inorgánicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polvo.</li> <li>- Polvillo de habitación.</li> <li>- Polvillo de fábrica de alimentos.</li> <li>- Plomo</li> <li>- Cromo</li> <li>- Arsénico</li> </ul>

Entre los contaminantes más importantes se pueden mencionar: las neblinas de ácido sulfúrico formado por la oxidación del anhídrido sulfuroso que es la más importante.

b) Gases y vapores:

Entre ellos se tienen:

- \* Anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ).
- \* Monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- \* Oxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).
- \* Hidrocarburos (HC) (1)

D. Por sus fuentes de producción o de emisión:

a- Contaminantes primarios.

b- Contaminantes secundarios.

Las sustancias que se encuentran en la atmósfera tal como fueron emitidas se conocen como contaminantes primarios y a los que resultan de la interacción de los contaminantes primarios entre sí "Contaminantes secundarios".

En esta oportunidad tomaremos de base para el desarrollo de este trabajo la clasificación de los contaminantes primarios y secundarios.

CUADRO 2.9  
FUENTES DE PARTICULAS SOLIDAS Y LIQUIDAS (EEUU) (12)

FUENTE	TOTAL ANUAL DE EMISIONES (%)
Transporte	4.3
Combustión de carburante fuentes estacionarias, plantas de energía, calefacción, etc.	31.4
Procesos industriales.	26.4
Eliminación de desechos sólidos.	3.9
Diversas	34.0

## 2.6 CONTAMINANTES PRIMARIOS.

Como su nombre lo indica son sustancias que se encuentran en la atmósfera tal como fueron emitidas. entre ellos se tienen:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>)
- Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Monóxido de Nitrógeno (NO)
- Hidrocarburos no saturados y aromáticos.
- Macropartículas: Sólidas, líquidas.
- Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

### 2.6.1 FUENTES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS:

Las actividades industriales, el uso de automóviles y otros medios de transporte, los diferentes procesos de manufactura y la combustión de la basura produce gases y humo.

Cuando estos productos se liberan al aire no desaparecen sino que en realidad, producen una grave contaminación del aire, ya que, cuando se mezclan con la atmósfera, pueden integrarse a ella en forma semipermanente. Los problemas de la contaminación atmosférica se originan cuando estos contaminantes se acumulan en determinadas zonas

geográficas.

Los gases y macropartículas producidas por la sociedad industrial que son liberados a la atmósfera, se conocen como contaminantes primarios del aire. Es conveniente recordar que algunos de estos compuestos son producidos también en cantidades apreciables por fuentes naturales y biológicas; entre ellas las volcánicas y geológicas. (2).

CUADRO 2.10  
PRODUCCION ANUAL DE ALGUNOS GASES NATURALES  
Y ANTROPOGENICOS\* (2)

GASES	PRODUC. NATURAL	PRODUC. ARTIFICIAL
Monóxido de Carbono	3.5 x 10 <sup>9</sup>	3.0 x 10 <sup>9</sup>
Oxidos de Nitrógeno	1.4 x 10 <sup>9</sup>	1.5 x 10 <sup>7</sup>
Oxidos derivados de Azufre.	1.42 x 10 <sup>9</sup>	7.3 x 10 <sup>7</sup>

\* Ton/año

#### 2.6.1.1. MONOXIDO DE CARBONO

Es el producto del uso de combustibles fósiles. Se forma por la combustión incompleta del carbono o de sus compuestos.



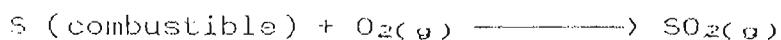
En los vehículos con motores de combustión interna es común que se forme monóxido de carbono, este producto se acumula en las zonas urbanas, cerca de las vías rápidas y de las calles de gran movimiento y su concentración varía conforme aumenta o disminuye el tránsito. (2). En forma natural, los volcanes y los incendios forestales desprenden CO. Las plantas producen cantidades mínimas como producto de la descomposición de las moléculas de clorofila (9).

La mayoría de los contaminantes primarios se mantienen en el aire durante cierto período, pero, después se eliminan debido a reacciones químicas y bioquímicas.

La última región a la que llega un contaminante se conoce como DEPOSITO FINAL. Por ejemplo, al parecer el monóxido de carbono se elimina del aire por acción de algunos microorganismos del suelo, por esto se dice que el destino o depósito final del monóxido de carbono es el suelo. Es importante la existencia de un depósito final para un contaminante ya que, a falta de él, el contaminante se acumulará peligrosamente en la atmósfera (2).

#### 2.6.1.2. OXIDOS DE AZUFRE (SO<sub>x</sub>):

Se producen en la combustión del carbón y petróleo que contienen azufre (gasolina, gas propano, etc).



CUADRO 2.11  
FUENTES DE MONOXIDO DE CARBONO (EEUU) (2)

FUENTE	PORCENTAJE DEL TOTAL ANUAL DE EMISIONES DE CO	
TRANSPORTE:	63.8	
Vehículos motorizados (gasolina)		59.0
Vehículos motorizados (diesel)		0.2
Aviones		2.4
Uso de combustible de motor para fines distintos		1.8
Vehículos marinos		0.3
Ferrocarriles		0.1
COMBUSTIBLES DE PRODUCTOS ENERGETICOS, FUENTES ESTACIONARIAS, PLANTAS DE ENERGIA, CALEFACCION DE ESPACIOS INDUSTRIALES, ETC	1.9	
Madera		1.0
Carbón		0.8
Aceite pesado (combustóleo)		0.1
PROCESOS INDUSTRIALES:	9.6	
Refinación y elaboración del hierro y acero		6.0
Refinerías de petróleo		2.2
Pulpa kraft y fábricas de papel		0.8
Otros		0.6
ELIMINACION DE DESECHOS SOLIDOS:	7.8	
Combustión en foso abierto.		3.4
Incineraciones		4.4
DIVERSOS:	16.9	
Quema agrícola		8.3
Incendios forestales		7.2
Combustión de desechos de carbón		1.2
Incendios urbanos		0.2

El SO también se produce en la refinación de ciertos minerales al estado de sulfuros.



El SO<sub>2</sub> es el contaminante del aire derivado del azufre

más importante; sin embargo, algunos procesos industriales emiten trióxido de azufre,  $\text{SO}_3$ , el cual se forma en la atmósfera en pequeñas cantidades debido a la reacción entre el  $\text{SO}_2$  y el oxígeno.



Algunas macropartículas del aire catalizan esta reacción. A veces el  $\text{SO}_2$  y el  $\text{SO}_3$  se mencionan en forma conjunta como óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), los cuales se combinan rápidamente con el vapor de agua para formar lloviznas de ácido sulfúrico (9) y de esta forma terminan depositándose sobre la tierra o el mar, ya sea con la precipitación pluvial o sedimentándose en forma de partículas (2). El anhídrido sulfuroso es un gas tóxico, y es letal en una concentración suficientemente alta. En períodos largos, aún en bajas concentraciones es dañino a la salud y a muchas plantas, causando deterioro a los trabajos de pintura y piedra de los edificios (1).

#### 2.6.1.3. OXIDOS DE NITROGENO ( $\text{NO}_x$ )

El monóxido ( $\text{NO}$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) son contaminantes primarios del aire. El  $\text{NO}$ , también llamado óxido nítrico es un gas incoloro e inodoro, en tanto que el  $\text{NO}_2$  es un gas de color rojizo, de olor fuerte y asfixiante parecido al del cloro.

El óxido nítrico se forma en el aire mediante la

CUADRO 2.12  
FUENTES DE OXIDOS DE AZUFRE (2)

FUENTE	PORCENTAJE DEL TOTAL ANUAL DE EMISIONES DE SO <sub>x</sub>	
I. TRANSPORTE Vehículo motorizado (gasolina). Vehículo motorizado (diesel). Vehículos marinos Uso de combustible de motor para fines distintos del transporte. Ferrocarril.	2.4	0.6 0.3 0.9 0.3 0.3
II. COMBUSTION DE PRODUCTOS ENERGETICOS (Fuentes estacionarias, plantas de energía, calefacción de espacios industriales, etc) Carbón Aceite combustible (combustóleo).	73.5	60.5 13.0
III. PROCESOS INDUSTRIALES: Eliminación de desechos sólidos Diversos	22.0 0.3 1.8	

reacción del oxígeno con el nitrógeno.



Esta reacción ocurre a altas temperaturas durante el uso de combustibles fósiles (temperatura de llama).

El NO<sub>2</sub> se forma por reacción del NO con el O<sub>2</sub> del aire.



CUADRO 2.13  
FUENTES DE OXIDOS DE NITROGENO (2)

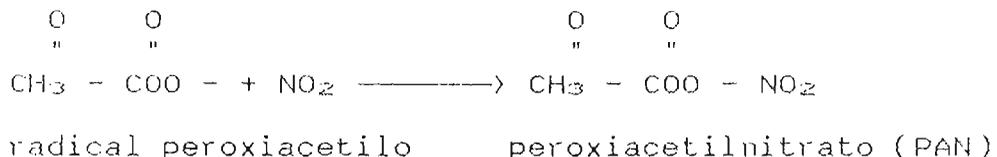
FUENTE	PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE EMISIONES DE NO <sub>x</sub>	
I. TRANSPORTE	39.3	
Vehículos motorizados (gasolina).		32.0
Vehículos motorizados (diesel)		2.9
Ferrocarriles.		1.9
Uso de combustible de motor para fines distintos del transporte.		1.5
Vehículos marinos		1.0
II. COMBUSTION DE PRODUCTOS ENERGETICOS (Fuentes estacionarias, plantas de energía, calefacción de espacios industriales)	48.5	
Gas natural		23.3
Carbón		19.4
Combustóleo		4.8
Madera		1.0
III. PROCESOS INDUSTRIALES (plantas de ácido nítrico, etc.)	1.0	
Eliminación de desechos sólidos	2.9	
Diversos (Incendios forestales quemas agrícolas, etc.)	8.3	

Los óxidos de nitrógeno participan en la formación de contaminantes secundarios del aire. Lo que tiende a eliminar una pequeña porción de la atmósfera. La mayoría de los NO<sub>x</sub> se convierten finalmente en ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>). En esta forma se depositan sobre la tierra o en el mar como consecuencia de las lluvias o se sedimentan como macropartículas. Por tanto la tierra y el mar son el depósito final de óxidos de nitrógeno, una vez que estos se han convertido en nitratos (2).

## 2.6.1.4. HIDROCARBUROS (HC)

Se consideran como contaminantes primarios y actualmente, tienen importancia por la gran cantidad de fuentes y el volumen de sus emisiones al aire. Estos entran al aire por evaporación de los productos de combustibles fósiles, como la gasolina. Los hidrocarburos que no se queman totalmente durante la combustión de la gasolina, el petróleo, el carbón y la madera, se escapan también a la atmósfera. Los vehículos de transporte son la principal fuente de hidrocarburos. Sin duda su mayor producción se debe a las actividades de la industria petrolera. Los automóviles los emiten por evaporación del combustible y, en forma de hidrocarburos no quemados a través del tubo de escape.

Algunos radicales libres (activados por el ozono) de los hidrocarburos reaccionan con el  $\text{NO}_2$ .



También se producen reacciones entre las oleofinas y el ozono; oleofina con  $\text{NO}_2$  que forman compuestos muy irritantes para la nariz y los ojos.

CUADRO 2.14  
EMISIONES DE HIDROCARBUROS EFECTUADOS (2)  
POR DIVERSAS FUENTES AL AIRE (EE.UU.)

FUENTE	PORCENTAJE DEL TOTAL ANUAL DE EMISION DE HIDROCARBUROS	
I. TRANSPORTE:	51.9	
Vehículos de motor (gasolina)		47.5
Vehículos de motor (diesel)		1.3
Uso de combustibles de motor para fines distintos de transporte.		1.0
Aviones		0.9
Ferrocarriles		0.9
Vehículos marinos		0.3
II. COMBUSTION DE PRODUCTOS ENERGETICOS.	2.2	
III. PROCESOS INDUSTRIALES	14.4	
IV. ELIMINACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS	5.0	
V. DIVERSOS	26.5	
Evaporación de disolventes orgánicos		9.7
Incendios forestales		6.9
Quema agrícola		5.3
Transferencia y venta de gasolina		3.7
Combustión de desechos de carbón		0.6
Incendios urbanos		0.3

#### 2.6.1.5. MACROPARTICULAS:

Además de los contaminantes gaseosos, el aire puede tener partículas sólidas y líquidas suspendidas y dispersas. A ellas se debe el aspecto nebuloso y brumoso del

aire contaminado. Las partículas se estudian de acuerdo a su tamaño, el cual a su vez está relacionado con su capacidad de sedimentar (ver cuadro 2.15.). Se producen junto con los contaminantes gaseosos del aire, debido a diferentes actividades. Los principales emisores industriales son la fabricación de hierro y acero, el almacenamiento y la manipulación de granos y la elaboración de pulpa y papel.

CUADRO 2.15  
VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE DIFERENTES TIPOS DE PARTICULAS  
(2)

PARTICULAS	TAMAÑO EN MICRONES	VELOCIDAD DE PRECIPITACION cm/seg
Arena	100	100.0000
Asbesto	10	1.0000
Talco en polvo	1	0.0100
Humo	0.1	0.0001

#### 2.6.1.6. PARTICULAS LIQUIDAS:

Se encuentran presentes como suspensiones coloidales en las que la fase dispersante, en este caso es el aire, es gaseosa, la fase dispersada es un líquido, y constituyen lo que se conoce como AEROSOLES, los que se manifiestan en forma de vapores, niebla o vahos.

Las pequeñas gotitas pueden tener diversos tamaños, lo que determina su velocidad de precipitación; por lo general

alcanzan 10 micras de diámetro. También tiene importancia la carga eléctrica de la capa monomolecular que sirve de cubierta a estas pequeñas esferas líquidas. Estas miscelaneas pueden absorber moléculas de gases tóxicos como anhídrido sulfuroso y los óxidos de nitrógeno, con lo que una neblina inofensiva se puede transformar en un agente letal, como sucedió en Londres en 1940, 1950, 1952, en los que se produjeron miles de muertes debido a la presencia de estas nieblas tóxicas en la ciudad (2).

CUADRO 2.16  
CONCENTRACIONES ESTABLECIDAS POR LA AGENCIA DE  
PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (US-EPA)  
PARA LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS EN LA ATMOSFERA. (2)

CONTAMINANTE	CONCENTRACION MAXIMA	
Monóxido de Carbono	10 mg/m <sup>3</sup> /8h	ó 9 ppm
	40 mg/m <sup>3</sup> /8h	ó 35 ppm
Dióxido de Azufre	80 mg/m <sup>3</sup> /diario anual	ó 0.03 ppm
	365 mg/m <sup>3</sup> /24h	ó 0.14 ppm
Oxidos de nitrógeno	100 mg/m <sup>3</sup> /año	ó 0.05 ppm
	variable 24	
Hidrocarburos	160 mg/m <sup>3</sup> /3h (6-9 am)	ó 0.24 ppm
	75 mg/m <sup>3</sup> /año	ó 260 g/m/24h.

## 2.7 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Una vez que los contaminantes primarios han quedado atrapados en las capas inferiores de la atmósfera, las condiciones de humedad y temperatura pueden propiciar que reaccionen entre sí con los componentes normales de la atmósfera. Estas reacciones requieren de la energía de la

luz solar, por lo que se les llama REACCIONES FOTOQUIMICAS. A los productos resultantes de ellas se les llama CONTAMINANTES SECUNDARIOS y al neblumo que se produce se le llama NEBLUMO FOTOQUIMICO.

### 2.7.1. NEBLUMO FOTOQUIMICO:

Sus características y composición difieren del formado fundamentalmente por la niebla y contaminantes primarios. El neblumo fotoquímico es también llamado tipo Los Angeles, el cual está formado principalmente por contaminantes secundarios y el neblumo tipo Londres está formado por niebla y contaminantes primarios.

CUADRO 2.17  
CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS PRINCIPALES DE NEBLUMO (2)

CARACTERISTICAS	TIPO LONDRES	FOTOQUIMICO/TIPO LOS ANGELES
Intensidad máxima	en la mañana	a mediodía
Temperatura	Aprox. 5 °C	Aprox. 25 °C
Humedad Atmosférica	alta	baja
Capa de inversión térmica	Cercana al suelo	Altura mediana variable
Componentes	Hollín, óxidos de azufre	Ozono, PAN, Aldehidos, óxidos de nitrógeno.
Tipo de Atmósfera	Reductora	Oxidante

La reacción que inicia este proceso es la absorción de la luz solar por el dióxido de nitrógeno (ver Fig. 2.4.), el cual se ha formado previamente por la reacción lenta entre óxido nítrico y oxígeno.

Al absorber la luz solar, el dióxido de nitrógeno se transforma en óxido nítrico y oxígeno atómico. Este es muy reactivo y se une, de inmediato, a una molécula de oxígeno para formar ozono.

En condiciones normales el ozono y el óxido nítrico, reaccionan de nuevo entre sí para regenerar oxígeno / dióxido de nitrógeno y completar el ciclo de este último.

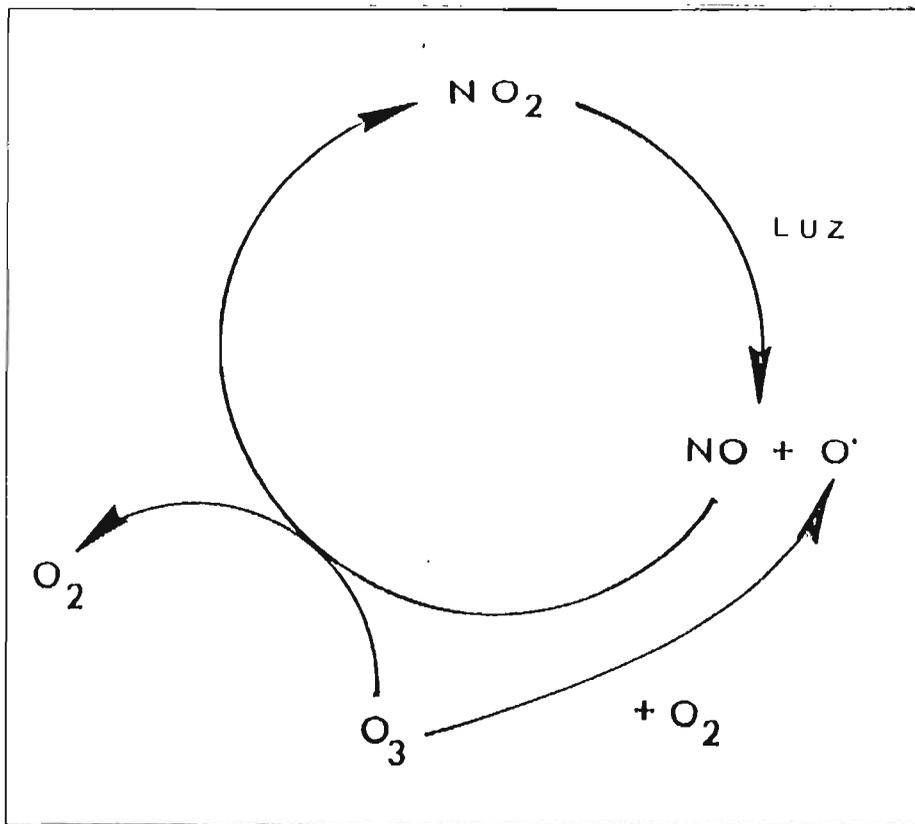


Fig. 2.4 CICLO DEL DIOXIDO DE NITROGENO (2)

Sin embargo, el óxido nítrico reacciona con algunas moléculas contaminantes (ver Fig. 2.5), por ejemplo, hidrocarburos, más rápidamente que con el ozono, por lo que aunque se regenera el dióxido de nitrógeno, el ozono queda en exceso y se acumula lentamente en la atmósfera (tropósfera).

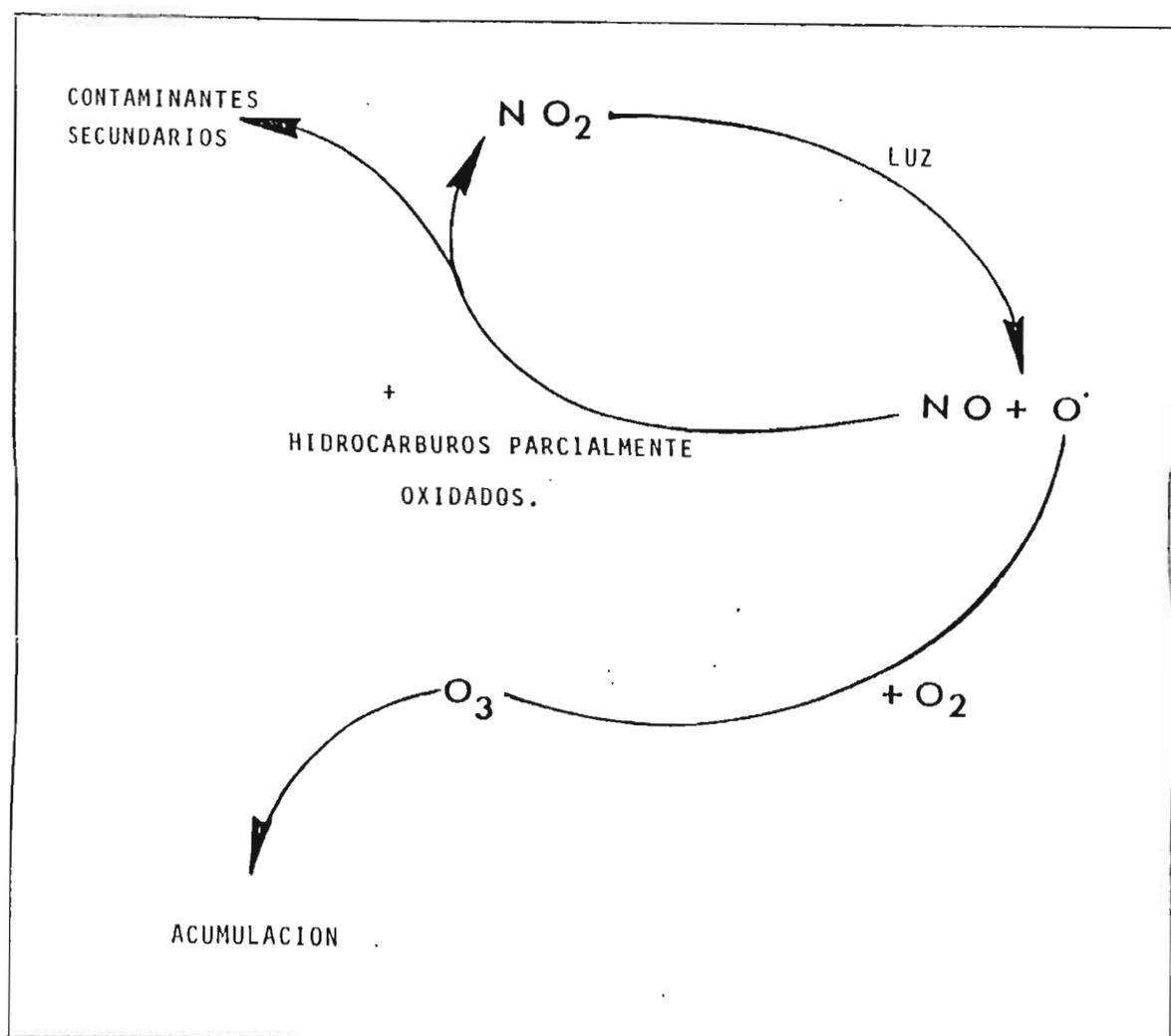


fig. 2.5 INTERFERENCIAS CON EL CICLO DEL DIOXIDO DE NITROGENO(2).

En estos casos, el dióxido de nitrógeno se regenera continuamente por lo que continua absorbiendo la luz solar que como ya se dijo, es la fuente de energía para estas reacciones.

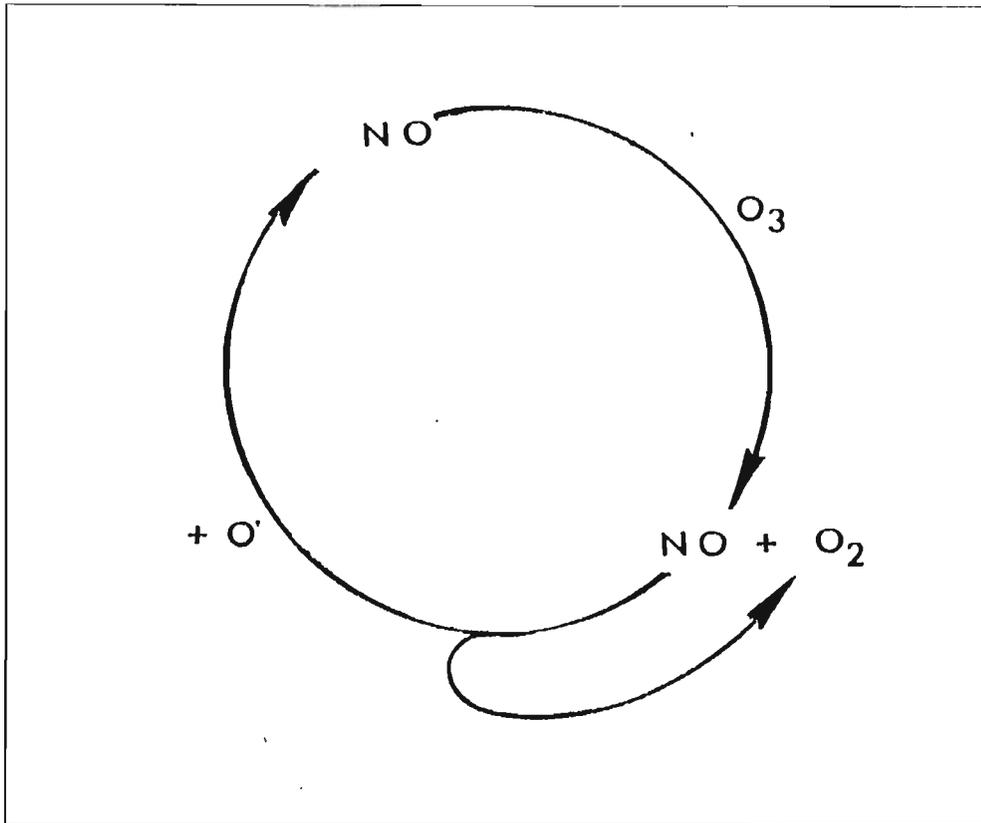


Fig. 2.6 REGENERACION DEL CICLO DEL NITROGENO (2)

El resultado final de las reacciones fotoquímicas entre los contaminantes atmosféricos, es la formación de una mezcla compleja de productos orgánicos e inorgánicos cuya composición específica variará en cada caso.

De ésta manera, la formación de contaminantes secundarios eliminan de la atmósfera a los contaminantes

primarios pero, como es muy frecuente cuando el ambiente es alterado por la acción del hombre, los productos de la reacción son más nocivos para la vida que los contaminantes originales.

Para que se inicien las reacciones fotoquímicas (reacciones secundarias), se requieren ciertas condiciones, entre ellas:

- Que los contaminantes primarios hayan alcanzado cierta concentración.
- Que estén contenidos en una región definida por un tiempo suficiente para reaccionar.
- Que las condiciones de luz, calor y humedad, así como las concentraciones de macropartículas sean propicias para la reacción.

Cuando se llenen estas condiciones, el proceso ocurre con rapidez y no se puede detener. En este caso, sólo un cambio de las condiciones atmosféricas que promueva la precipitación de las partículas o en su dilución por la movilidad de las masas de aire pueden reducir las consecuencias (2).

#### 2.7.2. CONTAMINANTES SECUNDARIOS QUE CAUSAN LLUVIA ACIDA

La lluvia ácida y otros tipos de precipitación ácida como neblina, nieve, etc., han llamado recientemente la atención pública mundial como problemas específicos de

contaminación atmosférica secundaria; sin embargo, la magnitud potencial de sus efectos es tal, que cada vez se le dedican más y más estudios y reuniones, tanto científicas como políticas ya que en la actualidad hay datos que indican que la lluvia es en promedio cien veces más ácida que hace doscientos años.

De una manera natural, el bióxido de carbono, al disolverse en el agua de la atmósfera, produce una solución ligeramente ácida que disuelve con facilidad algunos minerales. Sin embargo, esta acidez natural de la lluvia es muy baja en relación con la que le imparten actualmente los ácidos fuertes como el sulfúrico y el nítrico, sobre todo a la lluvia que se origina cerca de las zonas muy industrializadas como las del norte de Europa y el noroeste de los Estados Unidos.

Se cree que estos ácidos se forman a partir de los contaminantes primarios como el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno.

La oxidación adicional de los óxidos de azufre y nitrógeno puede ser catalizada por los contaminantes atmosféricos, incluyendo las partículas sólidas y por la luz solar. Una vez formados los  $\text{SO}_3$  y  $\text{NO}_2$ , reaccionan con facilidad con la humedad atmosférica para formar los ácidos sulfúricos y nítricos. Estos permanecen disociados en la atmósfera y le imparten características ácidas y eventualmente, se precipitan con la neblina, la lluvia o la

nieve, los que por lo tanto tendrán mayor acidez en las áreas que reciben continuamente dichos óxidos que en los que están alterados. Por ejemplo existen pruebas circunstanciales de que las termoeléctricas en especial las que utilizan combustible rico en azufre, están muy relacionadas con la producción de lluvia ácida (2)

## 2.8 QUIMICA ATMOSFERICA

En 1952 el profesor A.J. Haagen - Smith, publicó un trabajo titulado "Química y fisiología del Neblumo de los Angeles", en el cual proponía la teoría revolucionaria para su época, de que el fenómeno que afectaba esta ciudad no se debía a contaminantes emitidos directamente a la atmósfera, sino que eran causados por reacciones que, catalizadas por la radiación ultravioleta de la energía solar, se producían en la atmósfera misma, dando origen a nuevas sustancias que no provenían directamente de las emisiones, sino que correspondían a los productos de las reacciones (1).

La intensidad de las radiaciones ultravioleta (uv) es relativamente grande por encima de 3150 Å, pero disminuye rápidamente por debajo de 3000 Å, pues la fracción de la energía solar que puede ejercer una acción fotoquímica considerable cerca de la superficie de la tierra está comprendida en el intervalo de longitud de onda de 8000 Å a 2900 Å. Las sustancias de contaminantes existentes en

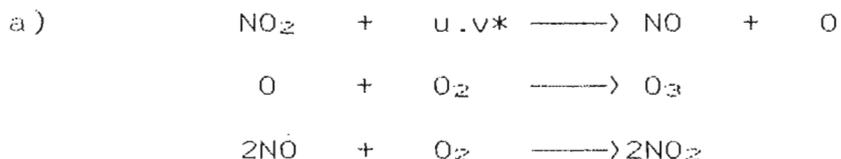
pequeñas cantidades tienen que tener una gran absorción específica en el intervalo de longitudes de onda antes citados para servir de reactivos primarios. Por otra parte, un contaminante muy abundante en el aire puede actuar como reactivo fotoquímico primario aunque su poder de absorción sea pequeño (19).

En las reacciones espontáneas la luz actúa acelerando su velocidad, es decir, como un catalizador. Por otro lado, a reacciones no espontáneas la radiación las puede hacer posibles como ejemplo de esa reversión se tiene la conversión del oxígeno en ozono. En otras palabras al proporcionar energía en forma de luz, es posible hacer que una reacción se desplace en una dirección que por consideraciones termodinámicas comunes parecen imposibles de realizarse (17)

En la atmósfera tienen lugar innumerables reacciones químicas, sin embargo al tratar el tema de la "lluvia ácida" son de interés solo unas cuantas.

Se dan a continuación reacciones postuladas por investigadores que se han preocupado por la cinética de las mismas y algunas propuestas por los autores.

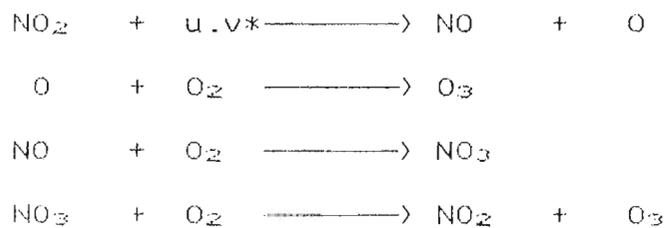
#### 2.8.1 OZONO:



El dióxido de nitrógeno, que actúa en cierta forma como catalizador, se regenera al final pero produce una concentración cada vez mayor de OZONO, gas altamente oxidante, En este caso de  $\text{NO}_2$  es producto de Ozono, aunque en condiciones normales (0.02 ppm.), se considera como regulador del Ozono atmosférico.

\* u.v = Radiación ultravioleta.

b) La reacción anterior puede desarrollarse también así:



Otra vez se regenera el dióxido de nitrógeno original, con formación de más ozono (1)

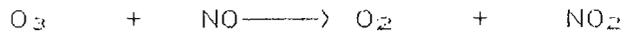
c) También hay reacciones que destruyen el ozono, para ello absorbe radiaciones entre 200° a 350° Å (2)

Otros señalan que absorben las comprendidas entre 1700 a 2530 Å. Aunque lo importante es que debido a ello hace posible la vida en el planeta. (7)



d) El ozono reacciona con el óxido de nitrógeno para

volver a formar oxígeno y dióxido de nitrógeno, de acuerdo a la siguiente reacción:



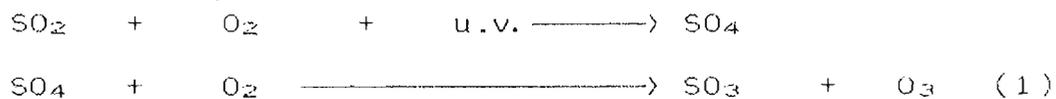
Esto anularía los efectos de las reacciones (a) y (b) dado que el  $\text{O}_2$  y el  $\text{NO}_2$  no son tóxicos, al menos en las concentraciones habituales en la atmósfera (Cuadro 2.1).

Però

\* u.v = Radiación ultravioleta.

cuando el  $\text{NO}$ , reacciona con hidrocarburos o algún otro compuesto, se rompe el ciclo, acumulándose así el ozono.

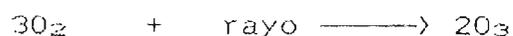
e)



El rendimiento de ozono de esta reacción es menor que la del  $\text{NO}_2$  (19)

El ozono antes de descomponerse puede actuar como catalizador de otras reacciones (1)

f) También se puede producir ozono en grandes cantidades en la atmósfera por las descargas eléctricas, es decir rayos (10)



### 2.8.2 COMPUESTOS NITROGENADOS

Los óxidos importantes de nitrógeno que se encuentran en el aire como contaminantes son el óxido de nitrógeno, NO; dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>; y en menor escala el ión amonio, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Los primeros dos son producidos por cualquier proceso de combustión que tenga lugar en el aire, porque es el caso que la mayoría de las oxidaciones de nitrógeno atmosférico se efectúan a las temperaturas de la llama (1)

a) El amoníaco, NH<sub>3</sub>; que pueda estar presente en la atmósfera muy raramente puede llegar a formar ácido nítrico, pues el NH<sub>3</sub> experimenta una fotólisis. La descomposición fotoquímica fué estudiada por Wiig, quien encontró que la reacción procede cuantitativamente de acuerdo con:



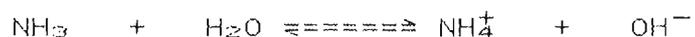
Según Wiig el rendimiento de la fotólisis es pequeño (17)

b) El amoníaco que se genera en los basureros, y que es incinerado, puede reaccionar con el oxígeno, liberando nitrógeno:



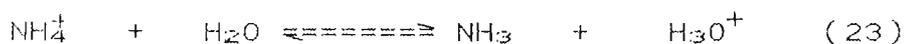
Esta reacción evita que el  $\text{NH}_3$  llegue a formar acidez alguna en la lluvia.

c) Una propiedad que tiene el amoniaco es que se ioniza con facilidad en estado acuoso:

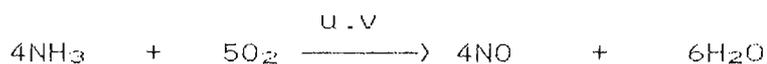


Este equilibrio es afectado por la alta reactividad del ión  $\text{OH}^-$ , dejando libre el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

d) Según lo anterior el ión amonio procedente de la ionización del amoniaco puede producir una debil acidez debido a la hidrólisis del ión amonio.



e) La reacción siguiente, necesita una gran energía de activación, pero puede ser catalizada por la radiación ultravioleta.



f) A partir de la reacción anterior:

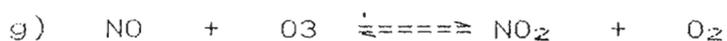


Esta reacción es mucho más factible, dado que la

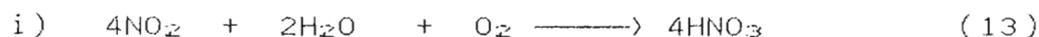
generación de  $\text{NO}_2$  es exotérmica, se verá favorecida a menor temperatura (23) La reacción es moderada a temperaturas alrededor de los  $20^\circ\text{C}$  (25)

También Bodenstein y Linden encontraron que debajo de los  $290^\circ\text{C}$ , la velocidad de la reacción es de tercer orden y procede sin complicaciones, por encima de esa temperatura, la velocidad de disociación del  $\text{NO}_2$  se hace apreciable y conduce a un decremento en la velocidad de desaparición del  $\text{NO}$  y oxígeno (17)

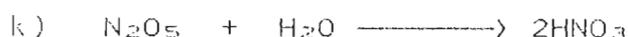
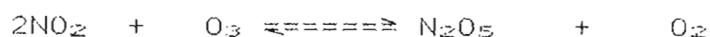
Siendo que la reacción es espontánea, se verá acelerada por la radiación solar.



h) Una vez formado el  $\text{NO}_2$ , se puede llegar a ácido nítrico, el cual se mantendrá en forma ionizada.

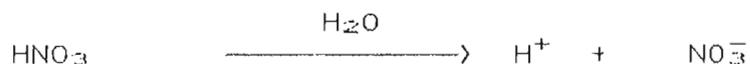


J) con ozono:



Estas reacciones se dan cuando el ozono se halla en exceso (19)

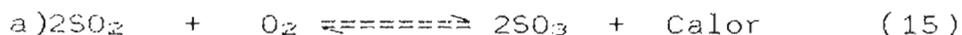
1) El ácido nítrico tiene una gran capacidad de ionización por lo que en medio acuoso se ioniza así:



Las velocidades con que estas reacciones tienen lugar, dependen del grado y favorecimiento de la contaminación; así el tiempo de reacción puede ser de unos pocos minutos o un par de semanas o más ( ver 2.7 ) (13)

### 2.8.3 COMPUESTOS AZUFRADOS:

En la atmósfera se cuenta con el bióxido de azufre ya que es un contaminante primario, el que puede reaccionar así:



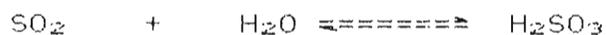
Para favorecer la formación de  $\text{SO}_3$  se necesitan temperaturas bajas, dado que es exotérmica. Para lograr el 30% de descomposición  $\text{SO}_3$  a presión de una atmósfera y en laboratorio, se necesita una temperatura de  $630^\circ\text{C}$  (15)

Coehn y Becker encontraron que el  $\text{SO}_3$  se disocia fotoquímicamente hasta un 35% a  $45^\circ\text{C}$ . La constante de equilibrio fotoquímico es independiente de la temperatura entre los  $50^\circ\text{C}$  y  $800^\circ\text{C}$ , si la intensidad de la radiación es

constante (17).

Esto comprueba que a una temperatura menor que 45°C se favorecerá en más de un 65% la formación de SO<sub>3</sub>.

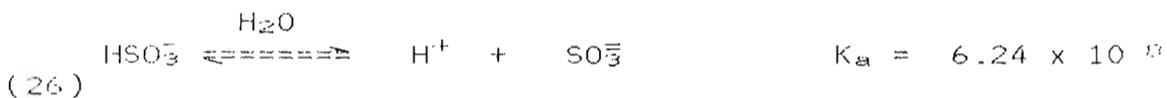
b) Aunque el SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O pueden coexistir, también pueden reaccionar entre sí:



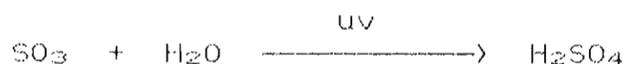
c) El ácido sulfuroso ( H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ) se disocia así:



d) Y a su vez:



e) El anhídrido sulfúrico, SO<sub>3</sub>, reacciona con la humedad:



f) La reacción del SO<sub>2</sub> también se puede desarrollar así:



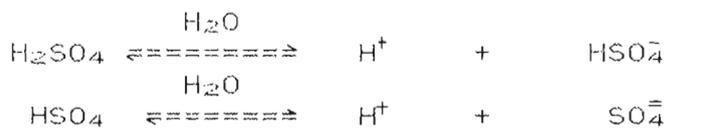
con agua:



Obteniéndose además de ácido sulfúrico, ozono.

O sea que el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), bajo la radiación solar, se transforma en anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), que con la humedad de la atmósfera forma ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), altamente corrosivo. (1)

g) Este ácido en estado acuoso se disocia completamente:



Al igual que el ácido nítrico, permanece disociado en la atmósfera impartiendo características ácidas (2)

El  $\text{H}_2\text{S}$  no es un contaminante abundante, como el  $\text{SO}_2$ , su presencia suele relacionarse con alguna fuente específica, tal como materia orgánica en descomposición, aguas negras o alguna operación industrial específica ( 10 )

---

\* Sulfato Activado.

h) En contacto con la humedad se disocia:



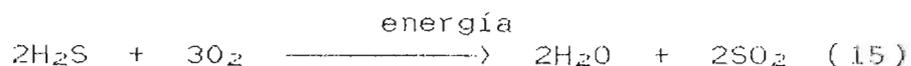
El  $\text{H}_2\text{S}$  es un ácido débil, que es relativamente soluble en el agua.

i) Este ácido se cree no influye en la acidez de la lluvia porque en presencia de oxígeno disuelto en agua o en el aire de la atmósfera, se da una sustitución del azufre por el oxígeno:



Entonces el azufre presente en el  $\text{H}_2\text{S}$  no contribuye a la acidez de la lluvia ya que el azufre ( $\text{S}$ ) se precipita.

j) La forma en que el azufre del  $\text{H}_2\text{S}$  puede llegar a la atmósfera para ayudar a la acidez de la lluvia, es por medio de los  $\text{SO}_x$ , los que sólo se forman a altas temperaturas ( $500^\circ \text{C}$ ), o alta energía.



#### 2.8.4 COMPUESTOS CARBONADOS:

De estos compuestos existen muchos en la atmósfera, pero el interés se basa en el  $\text{CO}_2$ , pues los demás

no representan influencia marcada en la acidez de la lluvia.

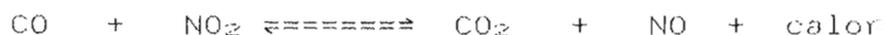


El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), reacciona con agua para formar ácido carbónico. (17)



El monóxido de Carbono, siempre que haya exceso de oxígeno se oxidará completamente y dado que la reacción es exotérmica se favorecerá a menor temperatura (26)

c) Las moléculas de  $\text{CO}$  y  $\text{NO}_2$  tienen energía cinética necesaria para vencer la fuerzas repulsivas de sus núcleos y de sus nubes electrónicas negativas y reaccionan entre sí



Por ser exotérmica la reacción en sentido derecho, la formación del  $\text{CO}_2$  se favorece a menor temperatura, y según la estabilidad, la reacción hacia la izquierda, será más lenta a cualquier temperatura determinada, que la opuesta. (25)

d) El ácido Carbónico es parcialmente ionizable: Pero en la atmósfera, habrá más tendencia a darse (B).



#### 2.8.5 COMPUESTOS HALOGENADOS:

Entre estos los principales son el ácido fluorhídrico (HF) y el ácido clorhídrico (HCl).

a) El ácido fluorhídrico: puede atacar ciertos materiales que no atacan otros ácidos, como el vidrio; además puede causar graves daños a la vegetación.



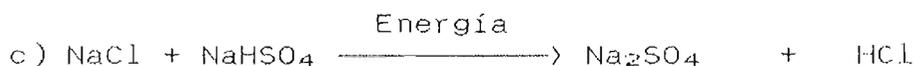
Este ácido es producido en algunos procesos industriales y metalúrgicos. Estos compuestos provienen de las fábricas de aluminio, pues la criolita ( $\text{F}_6\text{AlNa}_3$ ) fundida, se utiliza como disolvente en la preparación electrolítica del aluminio; fábricas de abonos fosfatados, pues la apatita ( $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)$ ), es una fuente de compuestos fosforados que se utilizan en esta industria; también las fábricas de acero, pues ocupan espato fluor ( $\text{F}_2\text{Ca}$ ), el cual es un fundente.

Las fábricas de cerámica y las ladrilleras también

contribuyen, ya que por el calor pueden soltarlo.

El fluor es el veinteavo elemento por orden de abundancia (18)

El ácido clorhídrico (HCl), se puede generar a partir de atmósferas salinas procedentes del mar, que se pongan en contacto con ácido sulfúrico:



La reacción (b) se puede dar a temperatura ambiente dado que el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  es más fuerte.

La reacción (c) necesita alta energía de activación por lo que es menos probable.

d) Según lo anterior, las reacciones generan HCl, el que con el agua se ioniza totalmente (15)



Existen otros compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos y otros compuestos muy dañinos a la ecología pero que no son influyentes significativamente en el fenómeno de la "lluvia ácida."

Las reacciones antes expuestas son las que en forma general pueden generar "lluvia ácida", pero hay que aclarar que en San Salvador y alrededores no necesariamente suceden todas (24)

## C A P I T U L O    I I I

## 3. LLUVIA ACIDA Y SUS EFECTOS.

Los contaminantes secundarios no permanecen indefinidamente en la atmósfera, sino que existe continuo traslado y regeneración natural. La mayoría de los contaminantes regresan a la tierra a través de depositaciones.

Las depositaciones húmedas pueden ser ácidas y reciben diversos nombres según el estado y forma en que se presentan. Por ejemplo:

- Nieve ácida (acid snow)
- Cellisca ácida (acid sleet)
- Neblina ácida (acid fog)<sup>1</sup>
- Llovizna ácida (acid mist)
- Granizo ácido (acid hail)
- Lluvia ácida (acid rain)

## 3.1 DEFINICION DE LLUVIA ACIDA

La "lluvia ácida" es tan sólo un tipo de precipitación; sin embargo, a veces el término se utiliza para generalizar

---

<sup>1</sup> La neblina puede ser vapor de agua condensada conteniendo contaminantes secundarios, y también puede haber neblina seca en la que los sólidos están suspendidos con los contaminantes primarios. La primera definición es la que se ha considerado en este caso como "neblina ácida".

todos los tipos de precipitación ácida húmeda.

Los autores de la presente investigación definen el siguiente concepto:

#### LLUVIA ACIDA

"Es aquella lluvia que tiene un carácter ácido debido al contenido de ácidos disueltos en ella, entre los más importantes: el ácido nítrico, ácido sulfúrico y el ácido carbónico. Siendo unos más abundantes que otros dependiendo del tipo y grado de contaminación atmosférica".

#### 3.2 GRADO DE ACIDEZ:

El grado de acidez dependerá de la concentración de los ácidos presentes en la lluvia. Una forma de medir este grado de acidez es a través del potencial de ión hidrógeno (pH) y se puede definir matemáticamente como el logaritmo decimal del inverso de la concentración del ión hidrógeno.

$$\text{pH} = -\log [ \text{H}^+ ] = \log ( 1 / [ \text{H}^+ ] )$$

La escala de pH va de 0 a 14 considerándose pH alcalinos los mayores de 7 y los pH menores que 7 se considerarán ácidos, por lo que el pH 7 es neutro.

Entonces se puede decir que entre menor sea el pH, mayor será la acidez de la lluvia. Por ejemplo una lluvia

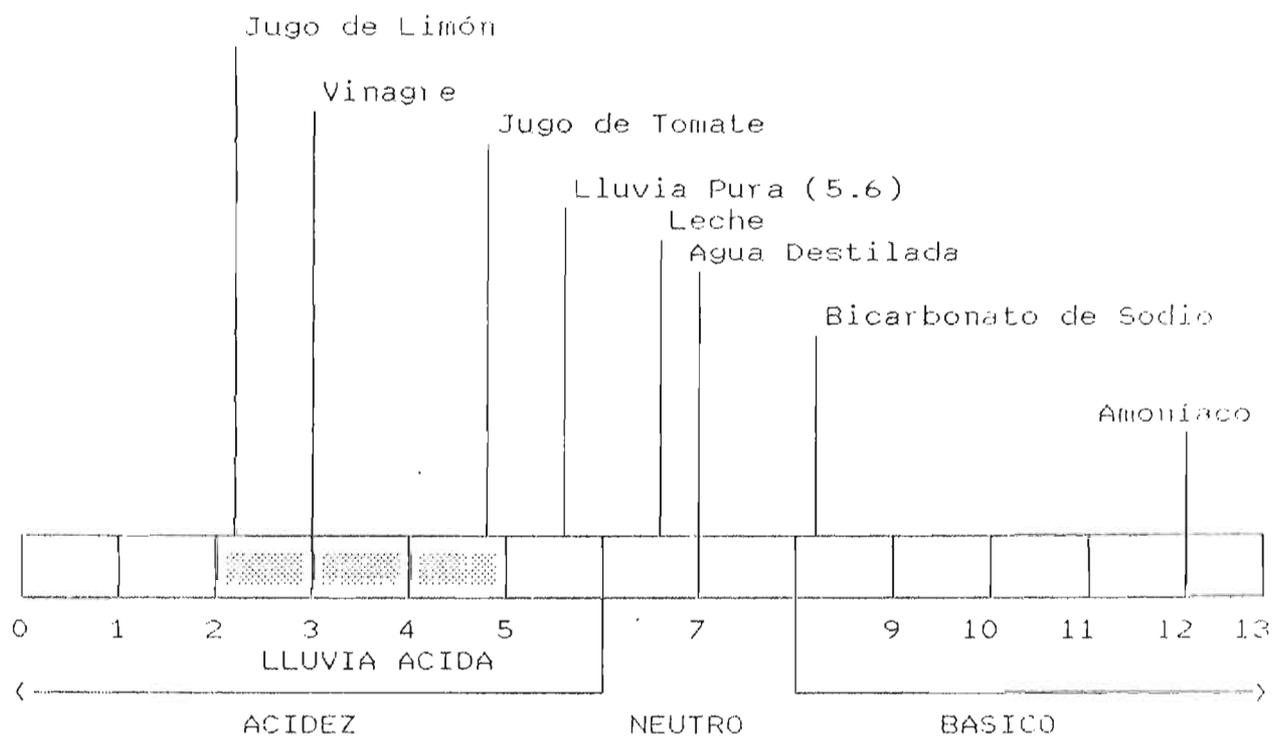


Fig. 3.1 EL GRADO DE ACIDEZ (pH)

con  $\text{pH} = 3$  sería equivalente a la acidez del vinagre.

### 3.3 TIPOS DE LLUVIA ACIDA

El agua lluvia por naturaleza es ligeramente ácida, pero debido a los efectos antropogénicos, esta acidez se ve incrementada por lo que es necesario distinguir la "lluvia ácida" y la "lluvia ácida normal".

#### LLUVIA ACIDA NORMAL:

Su acidez es provocada principalmente por el ácido carbónico, producto del  $\text{CO}_2$  natural en la atmósfera (0.03% v/v) (10), aunque pueda contener otros ácidos. El pH de esta lluvia posee valores alrededor de 5.6.

#### LLUVIA ACIDA ANORMAL:

Es aquella que debe su acidez no sólo al exceso de ácido carbónico sino que mayormente a otros ácidos, como el sulfúrico y nítrico. El pH de esta lluvia por lo tanto será menor de 5, (ver figura 3.1).

Esta lluvia ácida anormal es generada por emanaciones volcánicas, incendios forestales y principalmente por emanaciones antropogénicas, pues las actividades humanas son la mayor fuente causante de esta lluvia considerada ya un problema ecológico.

En la práctica estos dos términos se conocen así:

"Lluvia ácida normal" : Simplemente "lluvia"

"Lluvia ácida anormal": "Lluvia ácida"

### 3.4 EFECTOS DE LA LLUVIA ACIDA

#### 3.4.1 DAÑOS A EDIFICACIONES Y MONUMENTOS

En realidad nuestra vida tiene interacción con los ácidos, como el ácido acético en el vinagre, ácido cítrico en el limón, naranja, piña y otros cítricos; el ácido láctico que está en la leche; ácido clorhídrico en el estómago, y en algunas industrias fertilizantes, explosivos y muchas otras cosas. La lluvia también es ligeramente ácida pero si la acidez se incrementa se pueden tener alteraciones en el medio ambiente.



Fig. 3.2 EFECTOS DE LA LLUVIA ACIDA

#### 3.4.1. DAÑO A EDIFICACIONES

Se tienen evidencias de erosión y desgaste de monumentos y estatuas debido a la lluvia ácida (14).

El ácido daña las edificaciones, monumentos y estatuas, especialmente las hechas de piedra caliza, piedra areniza y las de mármol. El ácido se combina químicamente con la superficie de la piedra, y descascara la superficie (21).

La superficie de cosas hechas de madera, piedra, concreto y metal son afectadas por la lluvia ácida. Los ácidos nítrico y sulfúrico forman pequeños trocitos de la piedra que luego se desmoronan gradualmente y que luego erosionan los monumentos (27).

El mármol es atacado pues tiene gran cantidad de carbonatos de calcio, así como también la piedra caliza y algunas otras piedras blandas. (Todas las Sales de Sulfatos

son solubles en aguas).

Cuando la lluvia ácida cae en estos materiales, ocurre que el ácido sulfúrico reacciona químicamente con el carbonato de calcio para formar una sustancia llamada GYPSUM (sulfato de calcio). El gypsum es un material blanco de grano fino que es suave y fácilmente disuelto en agua, la cantidad de gypsum se incrementa según suceda la reacción. Esto causa desgaste en la piedra. Cuando el gypsum se seca por el sol, puede crear incrustaciones. Otras veces estos efectos en las edificaciones y piedra pueden debilitarla y fracturarla (27).

La lluvia ácida afecta los edificios en varias formas, corroe el acero y daña el cemento, los cuales son muy usados en la construcción. Una teoría dice que puede desgastar la caliza que se ocupa de mortero (pegamento para ladrillos). También ataca las pinturas (17)

Normalmente las estatuas de bronce y cobre cuando se exponen a la atmósfera crean una capa verde o negra que las protege. Pero esta capa puede ser disuelta por los ácidos sulfúrico y nítrico, contenidos en la lluvia ácida.

Estos ácidos forman pequeños orificios (pitting) sobre la superficie y empañan los detalles de la estatua (27)

Algunos daños también se pueden deber a líquenes, algas y bacterias que se desarrollan en medio ácido y viven de los sulfuros, incrementan el debilitamiento de los materiales. Estas plantas además decoloran y fragilizan la roca (27)

La lluvia ácida finalmente puede causar corrosión (pitting) y herrumbre en los carros, así como también ataca a las pinturas (27).

El acero de los puentes que es capaz de soportar el peso de vehículos pesados son también corroídos por el suave desgaste de la lluvia ácida. Aunque los daños no solo pueden ser por la lluvia ácida sino que también a otros contaminantes atmosféricos como el ozono, hollín y plomo. La capacidad dañina de la lluvia ácida depende de la luz solar, temperatura, humedad, velocidad del viento, ubicación residencial o industrial y lo dulce que sean los materiales (27)

#### 3.4.2 DAÑO EN VEGETACION Y SUELO

Hay dos maneras básicas en que la lluvia ácida puede tener impacto sobre los cultivos agrícolas:

- a) Daño directo en la superficie foliar de la planta, actuando sobre las hojas o el tallo. En estos casos los cultivos más inmediatamente afectados serían los cultivos de lechuga, espinaca o remolachas, ya que el follaje es una gran porción.
- b) Daño indirecto al cultivo a través de efectos sobre el suelo. Por ejemplo: al cambiar el pH por persistentes lluvias ácidas que caen en el suelo, las proporciones en que los nutrientes son reciclados (reciclo de la

materia orgánica, rastros), también cambia; y la velocidad con que los nutrientes y otros materiales orgánicos son desmenuzados por la acción de microorganismos en el suelo bajo. Una buena cantidad de macronutrientes y micronutrientes son disueltos del suelo por el agua superficial (20)

Los daños en los terrenos se deben a que la lluvia ácida disuelve y lava los nutrientes, así como provoca la disminución de la población microbiana, aunque esto se hace apreciable en grandes períodos de exposición (14)

En las plantas los ácidos sulfúrico y nítrico causan daño en los cloroplastos, centro de la fotosíntesis, y células circundantes, es decir, queman y necrosan la parte foliar de los cultivos. También retarda el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (14)

A pH abajo de 3, se ven áreas superficiales a las hojas manchadas o necróticas. Por las mismas razones, plantas ornamentales y verduras sin manchas y en buen estado, al ser expuestas a lluvia ácida con pH cerca de 3, las funciones de las hojas decrecieron, y por lo tanto, el proceso fotosintético disminuyó y la productividad de la planta también tuvo que decrecer. Así mismo la biomasa del suelo disminuyó.

Al bajar el valor de pH, se ha observado que hay pérdida foliar de importantes nutrientes como  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ , y  $Ca^{++}$  (20)

El suelo más afectado es aquel que carece de compuestos buffer. El suelo de encima es el primer estrato y es el que es

rico en nutrientes y minerales que la planta necesita para su desarrollo. Este suelo posee unas 10 pulgadas de profundidad, aunque en algunos lugares puede ser mayor. El pH del suelo varia, en algunos lugares que tienen piedra caliza esta entre 6 y 7, en otros lugares puede darse pH 5, además las hojas y otros desechos pueden acidificarlos hasta pH 3. En El Salvador es frecuente el pH 5. También se sabe que los desechos del cafeto pueden acidificar el suelo. (22).

Si el pH baja a 4, disminuye el número de microorganismos fijadores de nitrógeno, además la actividad del gusano de tierra (earthworm) decrece, el cual ayuda a airear el suelo; además sus desechos de digestión abonan y absorben el agua lluvia. También es alimento de pájaros, lagartijas y otros animales (22).

Los efectos en musgos son tan notorios que hay científicos que los ocupan para hacer mediciones biológicas de pH, los cuales divergen sólo en pocas décimas, comparados con los medidores potenciométricos (28).

La lluvia ácida provoca muchas manchas cafés y amarillas en las hojas, afectando la fotosíntesis; cuando las hojas son dañadas, el árbol no puede desarrollarse en proporción normal volviéndose débil y menos resistente a insectos y plagas (27).

También en recientes investigaciones se está demostrando que la lluvia ácida, acidifica el suelo, remueve el calcio y solubiliza el aluminio, resultando en una permanen-

te reducción del tamaño de los árboles y de ciertas cualidades. (20)

Cuando la lluvia ácida cae sobre la tierra, una reacción química toma lugar entre el ácido y el suelo. Esto puede resultar en la separación de algunos metales, tales como Aluminio, Mercurio, Zinc, Cobre, Plomo y Manganeseo. Gran cantidad de Aluminio se halla en el suelo. Este fenómeno sucede también con otros materiales que afectan en forma menos importante (27)

No hay suficiente información para decir exactamente que todos estos efectos se deben a la lluvia ácida, pero es menos probable el decir que es beneficiosa. Los laboratorios sugieren fuertes evidencias que una continua exposición a esta lluvia podría reducir considerablemente la productividad boscosa en 50 años (21).

La lluvia ácida puede generar Aluminio y Zinc libre a partir de los compuestos abundantes en el suelo, que luego puede absorber la raíz, los cuales pueden ser peligrosos para la planta. Investigaciones también hacen pensar que la lluvia ácida puede disolver importantes nutrientes como lo son el calcio y magnesio hasta llevarlos lejos de las raíces de los árboles. Esta carencia de nutrientes aunado a la presencia de lluvia ácida pueden matar las raíces de las plantas. Entonces el agua y minerales no podrían ser absorbidos ni distribuidos al resto de la planta(27)



Fig. 3.3 INVESTIGACION EN BOSQUES SOBRE LOS EFECTOS DE LA LLUVIA ACIDA Y EL ALUMINIO EN LAS RAICES DE LOS ARBOLES Y SUELOS.

Existen algunos que dicen que la lluvia ácida es actualmente beneficiosa para la vegetación. Ellos dicen que incrementa el azufre y nitrógeno que fertiliza el suelo y promueve el desarrollo de las plantas (27)

Pero a pesar de todas las investigaciones al respecto, los científicos no tienen la certeza que la muerte de los árboles y plantas sea debido a la lluvia ácida.

El problema del declinamiento forestal necesitará una mayor investigación para comprender los diversos factores que envuelve el problema de la muerte de los bosques (27).



Fig. 3.4 MUCHOS ARBOLES DE ABETO ESTAN MURIENDO EN LA CIMA DE LA MONTAÑA DE VERMONT. (17), U.S.A.

A continuación se muestran efectos en laboratorios de la contaminación fotoquímica, la cual se halla en la lluvia ácida así como los efectos de otros ácidos.

- Se ha investigado el efecto del ácido fluorhídrico en la vegetación y cultivos, por ejemplo en 1952, Kaudy estudió en California del Sur el contenido del fluor en agrios y vid en las cercanías de una gran fundición de acero, llegando a encontrar cientos de partes por millón en las hojas.

Coloraciones café se hacen visibles y algo parecido les sucede a los lirios, cereales y a las agujas de los pinos, se destacó también que afecta la fotosíntesis.

- El ácido clorhídrico (HCl) debe pasar las 10 ppm durante varias horas para causar daños incipientes en las plantas.
- El amoníaco tiene aproximadamente la misma toxicidad que el HCl, acción que en ambos casos obedece tal vez simplemente a los efectos de pH. Las lesiones tienen color verde cocido que al secarse se convierte en marrón.
- El ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) sólo es ligeramente fitotóxico. Los cultivos más sensibles son el de rábano, trébol, tomate, amapola, pepino y soya, entre otros. Entre los de sensibilidad mediana está el ricino y girasol. La mayoría de plantas resisten hasta 400 ppm (19).

#### 3.4.3: DAÑOS EN VIDA ACUÁTICA:

Las evidencias sugieren que si los niveles de acidez siguen aumentando, la vida acuática de algunos lagos puede desaparecer en una década o talvez dos.

Son particularmente frágiles a la lluvia ácida los lagos situados en áreas de granito, o piedras sedimentarias basálticas (donde hay pocos carbonatos naturales que actúa como buffer).

Cuando en un lago el pH cae abajo de 5.5 las bacterias empiezan a morir y las tradicionales plantas empiezan a ser recubiertas por musgos, hongos y algas.

Algunos lagos pueden ser cristalinos pero debido a su pH bajo, carecen de vida normal.

En los lagos las primeras víctimas debido al incremento de la acidez son usualmente los huevos de los anfibios y peces. Tanto más crezca la acidez morirán ranas y desaparecerán bacterias. Follajes y otras plantas muertas que ordinariamente son descompuestas por la acción de las bacterias se van aglutinando en el fondo, matando así a un lago (21)

Ciertas especies acuáticas sufren daño, pues existe interferencia en los iones que se intercambian en las membranas de las agallas. Otros efectos son, que disminuye al plankton, la fauna profunda y se perjudican los invertebrados, reduciéndose el suministro de alimentos para los peces (22)

El pH de un saludable lago de agua limpia está típicamente entre 6 y 8.

El lago de Ilopango (San Salvador), no es limpio, pero su origen volcánico le da un carácter alcalino por la gran cantidad de caliza (pomez) que posee, siendo referencia el pH de éste lago igual a 8.0 mayor.

Se han observado anomalías en lagartijas, que debido al pH se afecta su normal desarrollo, pues aparecen con deformidades. También se cree que daña a gusanos, arañas y otros diminutos animales.

Los huevos de salamandra son estropeados en el agua en un pH de 5 o menos, ellos no se desarrollan normalmente. El

desarrollo de las salamandras jóvenes presentan signos de hinchazón cerca del corazón y tienen atrofia en el crecimiento de la cola. Si el pH es de 4.5 los huevos disminuyen (27).

Científicos temen que el agua ácida perturbe el balance de sales en la sangre del pez y causar disminución de calcio de los huesos. Esta debilidad del esqueleto del pez, ocasionaría deformidades y torsiones, resultando en una falta de habilidad para nadar. La disminución de Calcio también afecta la reproducción por la interferencia con la habilidad femenina a producir huevos. Las larvas de peces y salamandras parecen no tener un desarrollo normal en agua ácida (27)

Los peces también son afectados por los desechos industriales primaverales. Este shock ácido puede causar "engomación" de las agallas, que pueden matar al pez. (Referencia)

No obstante que el aluminio puede ser disuelto en el agua que es ácida, el nivel es mas bajo que el nivel del aluminio libre que es peligroso para un pez, aunque hay reportes sobre irritación de agallas de peces, pues como una respuesta el pez produce una sustancia resbalosa llamada mucus. En poco tiempo el mucus se vuelve tan espeso que las agallas se miran blancas. Ellas se bloquean, y el pez no puede respirar. El pez se va en picada hacia el fondo y

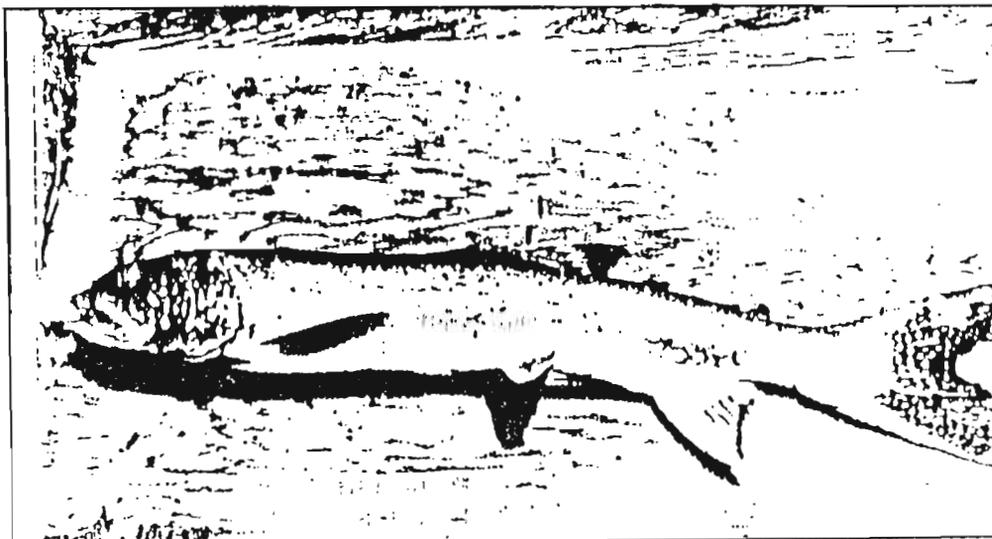


Fig. 3.5 TRUCHA DEFORMADA POR EL AGUA ACIDA.

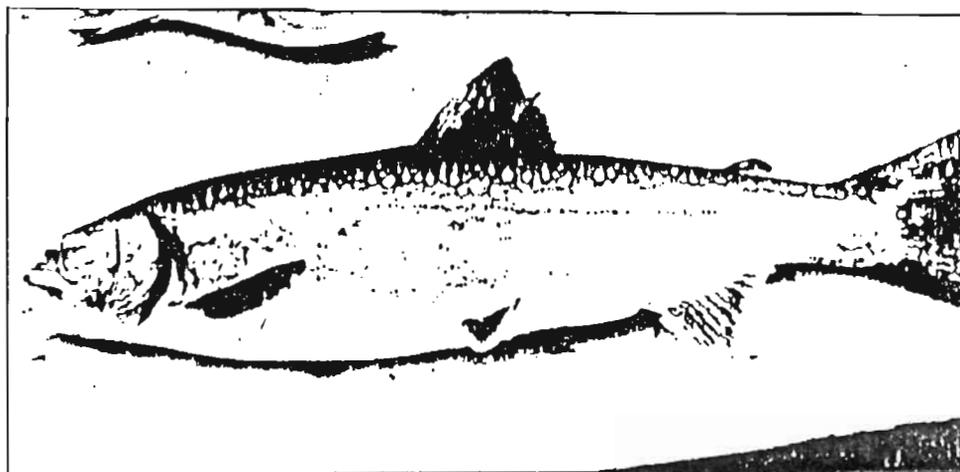


Fig. 3.6 TRUCHA NORMAL

muere de sofocación (14).

Diferentes especies pueden tolerar diferentes niveles de acidez. Los caracoles pueden desaparecer con el incremento de la acidez, debido a que el agua ácida disuelve sus conchas (27).

CUADRO 3.1  
 EFECTOS DEL AGUA ACIDA EN LA VIDA ACUATICA DE LAGOS  
 ESPECIES QUE PUEDEN SOBREVIVIR.  
 Ω ESPECIES QUE EMPIEZAN A MORIR. (14)

pH	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5
Trucha café	■	■	■	Ω			
Trucha de lago	■	■	■	■	Ω		
Libélula	■	■	Ω				
(Mussel)	■	Ω					
Salamandra	■	■	■	Ω			
Barquero de Agua	■	■	■	■	■	■	■
Escarabajo agitador	■	■	■	■	■	■	■

#### 3.4.4 DAÑOS EN LA PERSONA

En una manera menos obvia, la lluvia ácida puede también tener efectos deteriorantes sobre la salud de las personas.

La lluvia ácida puede disolver metales como mercurio y otros que son nocivos para la salud, a los cuales los puede llevar hasta los tanques de captación de agua potable, en donde solo se aplica tratamiento bacteriológico. Además puede corroer con mayor facilidad las tuberías (21)

Doctores en medicina citaron evidencias de que algunos contaminantes a la salud se originaban por la lluvia ácida. Los ingredientes de la lluvia ácida presentan efectos nocivos al sistema respiratorio y en consecuencia a la

salud de los niños, según testimonio del Doctor Richard Markewicz, presidente de la Academia Americana de Pediatría (1988).

El Dr. Philip Landrigan, Director de la división del medio ambiente y Medicina ocupacional de la Escuela de Medicina Monte Sinaí en Nueva York, ha estudiado los efectos en la salud, de la lluvia ácida dice: "La lluvia ácida es probablemente la tercera causa después del fumar pasivo y fumar activo de las enfermedades de Pulmón".

Otro aspecto en que la visibilidad en esta lluvia se reduce, pues las partículas de sulfato esparcen la luz en la atmósfera, lo que provoca accidentes automovilísticos (29).

Los daños en las personas tal vez no pueden ser medidos con exactitud, pero si es más seguro pensar que si disminuye la lluvia ácida entonces se beneficiará la salud humana (29)

#### 3.4.5 DEFINICION DE HIPOTESIS SOBRE LLUVIA ACIDA EN EL SALVADOR

Por las razones anteriores, surgen las siguientes hipótesis:

a- "La existencia de la lluvia ácida, como problema ecológico en la zona metropolitana de San Salvador y sus alrededores, es un hecho en periodos específicos".

b- "Existen la lluvia ácida como consecuencia de acumulación de contaminantes en periodos secos al inicio de las primeras lluvias del invierno".

## C A P I T U L O    I V

## 4.0    MANUAL DE MUESTREO DE AGUAS LLUVIAS

## 4.1    CRITERIOS DE MUESTREO.

Para llevar a cabo el muestreo de agua lluvia se establecieron etapas para su ejecución; algunas se basan en experiencias de estudios similares realizados en otros países (Canadá, E.E.U.U.) y otros según nuestras propias necesidades.

Con ellos se busca que la muestra sea representativa al presentar las verdaderas características del agua lluvia (acidez, contenido de  $\text{CO}_2$ , sólidos disueltos, sulfatos, nitratos, etc), sin que sufran alguna alteración por el ambiente o el equipo utilizado una vez colectada el agua lluvia. A continuación se detallan dichas etapas.

- a-    Diseño del equipo colector
- b-    Ubicación del punto de muestreo
- c-    Ubicación del colector
- d-    Cantidad y volumen de muestra a coleccionar
- e-    Procedimiento para recolectar la muestra
- f-    Transporte de la muestra

Cada uno de ellos es ampliado a continuación:

#### 4.2 DISEÑO DEL EQUIPO COLECTOR.

Es importante seleccionar el material adecuado que reúna las características necesarias para ser utilizado en la construcción del equipo colector de aguas lluvias. Por esa razón se establecen a continuación las características que debe cumplir dicho material así como el equipo colector.

##### CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y EL EQUIPO COLECTOR.

- 1.- El material con que sea construido debe ser resistente a la acción del medio ambiente (corrosión), lluvias, golpes y cualquier mal manejo (durable).
- 2.- Que sea inerte (en otras palabras que no contribuya en la contaminación de la muestra).
- 3.- De peso liviano, para mayor manejo y facilidad de transporte.
- 4.- Que posea un tamaño adecuado y proporcional a la muestra que se desea coleccionar.
- 5.- De fácil obtención y económico.

En países como el Canadá, E.E.U.U. y otros, donde se han efectuado estudios similares han utilizado colectores

especiales para agua lluvia, con dispositivos automáticos para abrir la tapa del colector cuando inicia la lluvia y cerrarse cuando finaliza (21) (ver anexo VI)

En el presente estudio se tomaron en cuenta las características antes mencionadas; llegando a la conclusión de seleccionar colectores plásticos; los cuales cubren los requisitos principales definidos en el diseño del colector; ya que son durables, inertes, livianos y de fácil manejo, así como económicos.

#### DESCRIPCION DEL EQUIPO COLECTOR.

- Como equipo colector se utilizaron recipientes plásticos con las siguientes dimensiones:

Diámetro : 0.30 m.

Altura : 0.12 m. (Figura 4.1)

- La cubierta del recipiente colector es un cedazo de forma redonda y aberturas de 1.10 mm (17 mallas/plg) fijado por un aro de alambre de aluminio forrado de plástico, de 0.30 m de diámetro (figura 4.2). Y es colocada sobre el colector, con el fin de que la muestra no sea contaminada por basura (hojas, flores) y/o partículas extrañas, en el momento de su colección (figura 4.2).

Para almacenar las muestras de agua lluvia se emplearon frascos plásticos de 250 ml. (color lechoso) para protegerlas de la luz solar (figura 4.4). Estos deberán ser de cierre hermético, por lo que su rosca es cubierta con cinta teflón para esta finalidad.

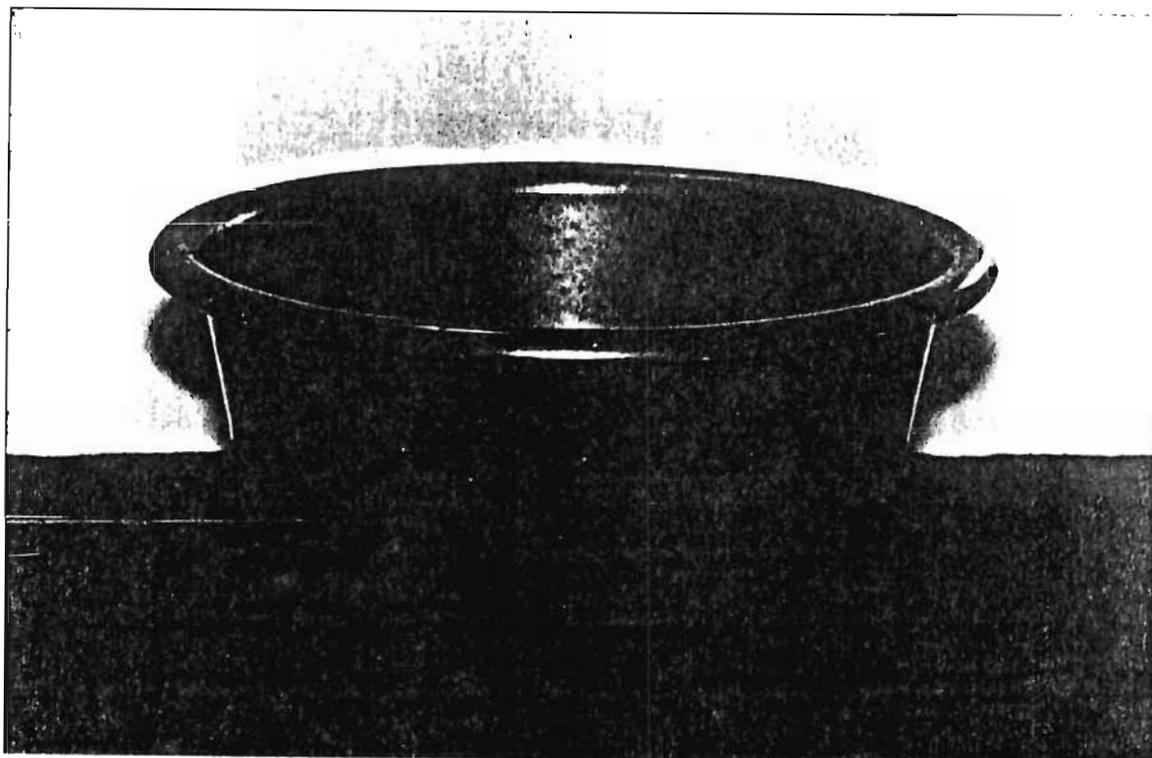


Fig. 4.1 EQUIPO COLECTOR PLASTICO  
SIN CEDAZO

#### 4.3 UBICACION DEL PUNTO DE MUESTREO

El propósito de esta etapa, consiste en dar a conocer la ubicación de los lugares asignados en el área metropo-

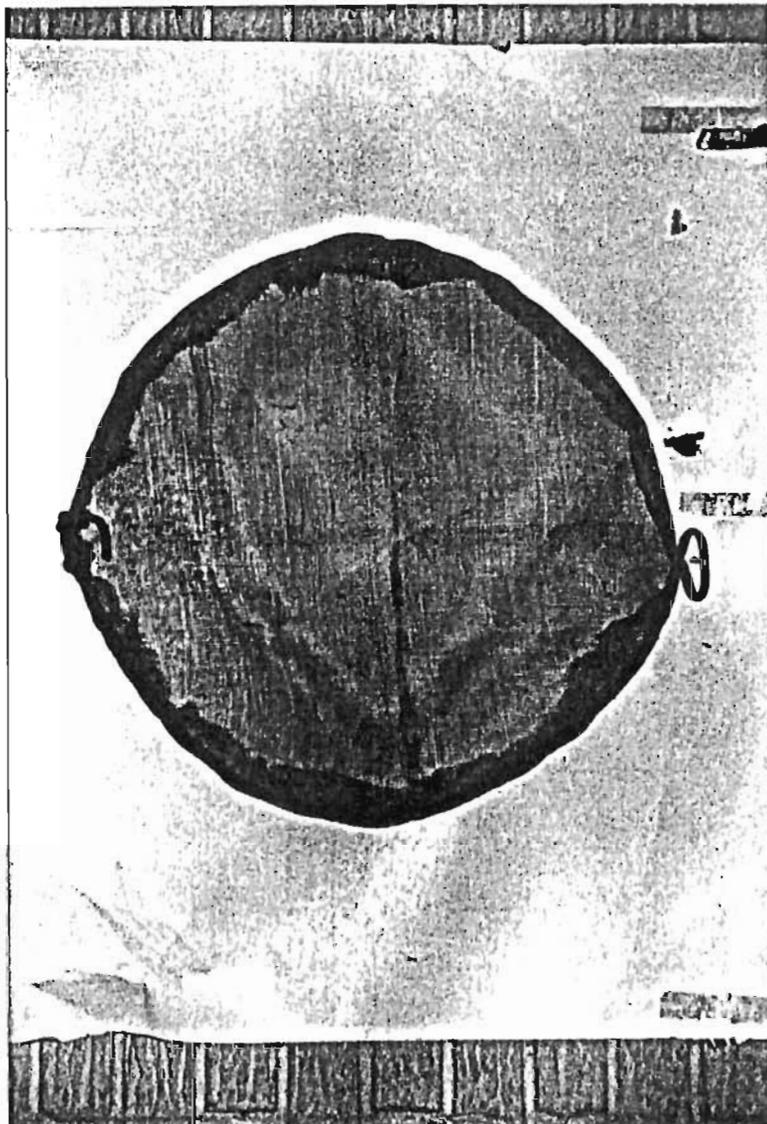


Fig. 4.2 CEDAZO PARA EL EQUIPO COLECTOR

litana de San Salvador y alrededores como puntos de muestreo y además las características que éstos deben cumplir, aclarando que para la selección de dichas posiciones muestreadoras, se toma de base, en que estas deberían ser representativas de los puntos cardinales así como cubrir un área adecuada de la zona de estudio.

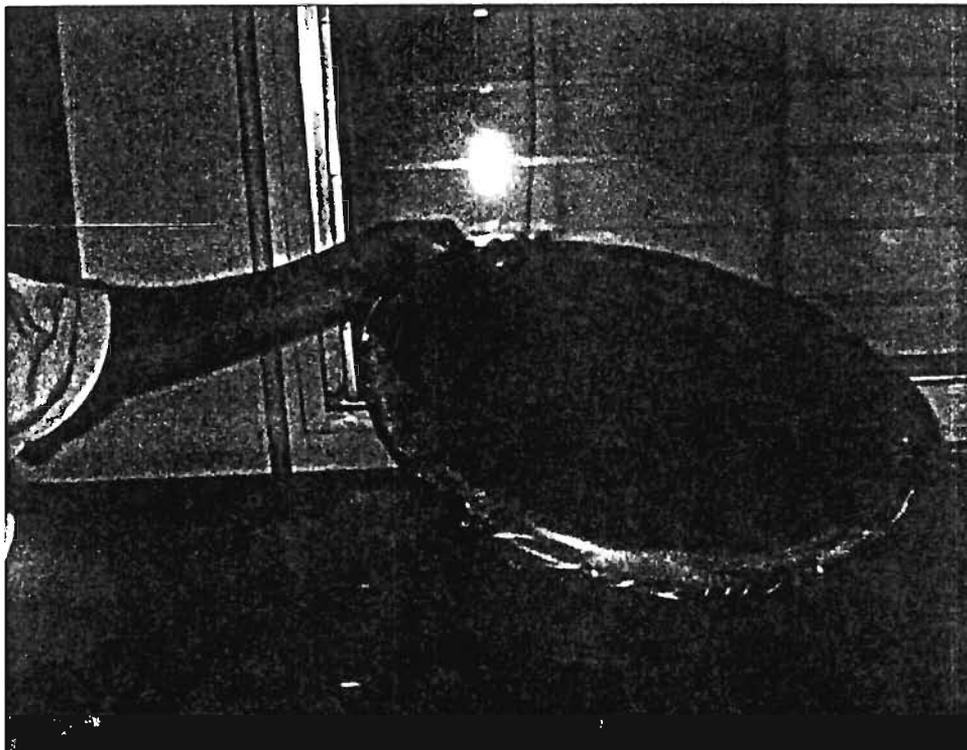


Fig. 4.3 EQUIPO COLECTOR CON SU CEDAZO

#### CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN PUNTO DE MUESTREO

1- En el punto de muestreo deberán haber personas dispuestas a colaborar y las cuales deberán recibir entrenamiento sobre la forma de tomar la muestra. Esta es condición de muestreo estudio.

2- Que el punto de muestreo sea de fácil acceso. Aunque ésta condición no siempre se podrá cumplir.

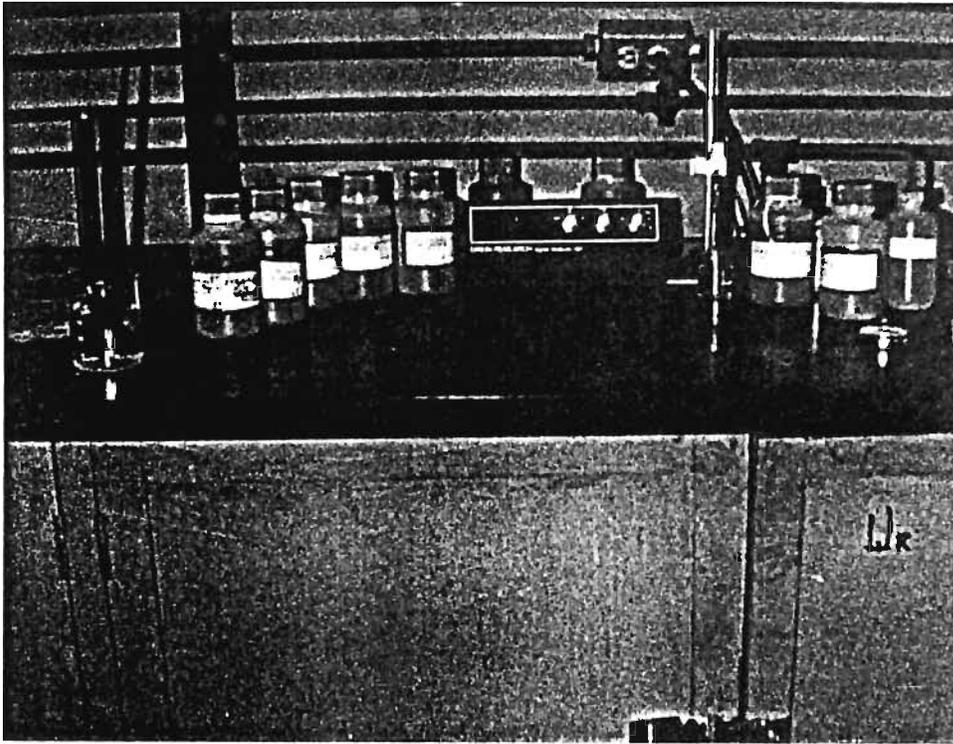


Fig. 4.4 FRASCOS UTILIZADOS PARA ALMACENAR AGUA LLUVIA

- 3- El lugar debe disponer de zonas libres, para facilidad de ubicación del colector.
- 4- Disposición de equipo de refrigeración para preservar y almacenar las muestras, cuando sea necesario.
- 5- El lugar debe ser representativo de una zona residencial, industrial y vehicular.
- 6- El punto de muestreo deberá estar localizado en un sitio pavimentado, en una segunda planta de una casa o edificio, sobre techo. En el caso, de que el sitio es:

tuviera localizado sobre el suelo o grama, se deberá utilizar un banco alto para colocar el colector.

- 7- No debe estar colocado muy cerca de paredes o desagües de las casas.
- 8- No debe estar abajo de la sombra de un árbol o cerca de ellos.
- 9- Debe evitarse cualquier situación o condición que contamine la muestra.

Los puntos distribuidos de esta manera (ver anexo IX) proporcionarán datos representativos del área metropolitana de San Salvador y alrededores, por estar situados en el centro y diferentes puntos cardinales de la zona. De haber lluvia ácida o si de alguna manera se esté generando, podrá ser detectada en cualquiera de los puntos antes mencionados.

#### 4.4 UBICACION DE COLECTOR

Seleccionados los puntos de muestreo, el ubicar el colector es de mucha importancia; ya que de aquí depende la calidad de la muestra recolectada. Para esta investigación se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

Aspectos considerados para ubicar el colector.

1. El colector se instaló en lugar abierto, libre de

CUADRO 4.1  
DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL AREA  
METROPOLITANA Y ALREDEDORES DE SAN SALVADOR.

DESCRIPC. PUNTOS	PUNTO CARDINAL	UBICACION	ZONA REPRESENTADA	LUGAR DE MUESTREO
P-1	Oriente	Col. Bosques del Matazano, Soyapango	Industrial residencial	Fijo
P-2	Centro	Bo. Lourdes San Salvador	Comercial- vehicular	Fijo
P-3	Norte	Residencial "Los Alamos"	Residencial	Fijo
P-4	Sur	Bo. San Jacinto	Comercial- Residencial Vehicular	Fijo
P-5	Poniente	Ciudad Merliot Santa Tecla	Residencial	Fijo

árboles o cualquier cuerpo que interfiera en la precipitación de la lluvia y esta adquiera materias extrañas.

2. Cuando no se dispuso de campos abiertos, estos se ubicaron sobre el techo; a una altura tal que la lluvia que precipita sobre éste, no salpique al recolector y la contamine. De preferencia sobre un lugar pavimentado o encementado. (Fig 4.5 y 4.6)

3. El lugar seleccionado para instalar el colector debe ser de fácil acceso, no incómodo para la hora de manipular el equipo y trasladar la muestra.

Se hizo énfasis en la obtención de muestra de calidad y generar así datos confiables y representativos de cada una de las zonas investigadas.

#### 4.5 CANTIDAD Y VOLUMEN DE MUESTREO A COLECTAR

La cantidad de agua lluvia a recibir en el colector dependerá de la cantidad de lluvia precipitada así como de la capacidad del colector, se ha establecido como norma recolectar el volumen de agua lluvia obtenida de 250 ml, en todos los puntos, este tamaño de muestra es adecuado para la escala de esta investigación podrá variar según su conveniencia, debido a que es la capacidad del frasco muestreador utilizado, además debe ser suficiente para efectuar los análisis fisicoquímicos en la muestra

Con respecto al número de muestras a tomar por lluvia serán uno por cada zona de estudio (5 frascos almacenadores) cuando sea posible, sino solo se dispondrá de los volúmenes obtenidos de los lugares en que se dió la precipitación pluvial

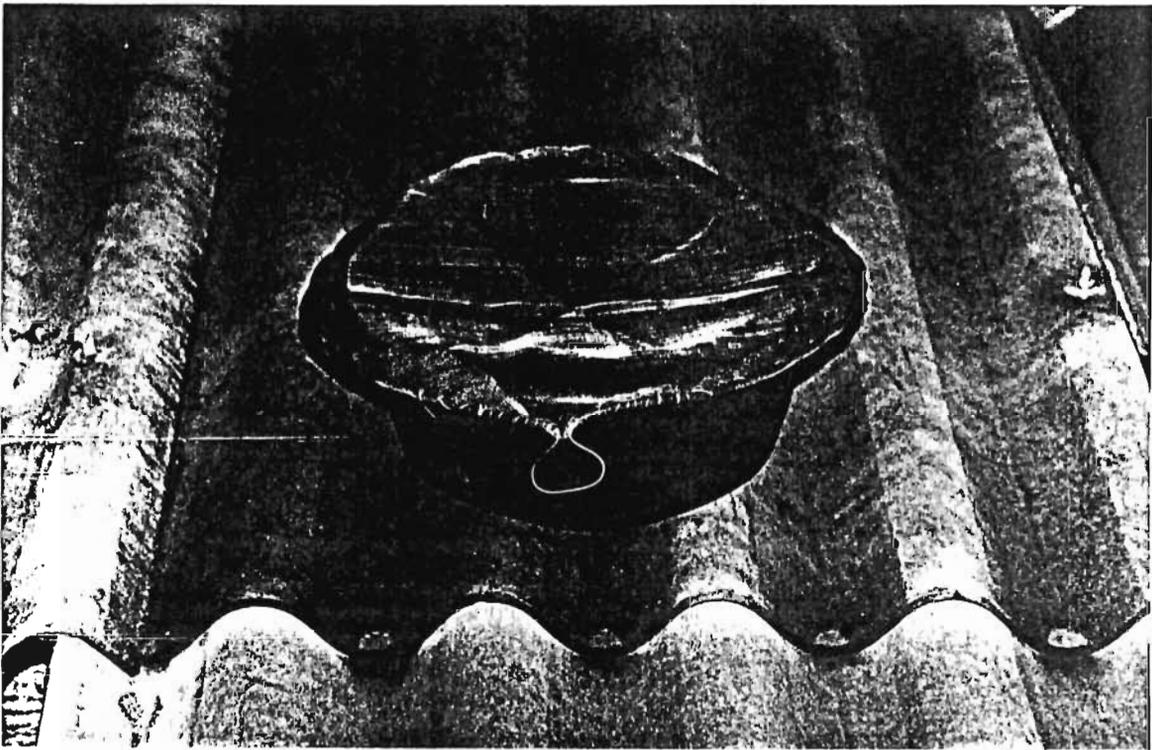


Fig. 4.5 EQUIPO COLECTOR SOBRE TECHO

#### 4.6 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECTAR LA MUESTRA

Es necesario aclarar que tanto el recipiente colector; como los frascos almacenadores de muestras utilizadas, no deben contaminarse en su interior. Los frascos a utilizarse

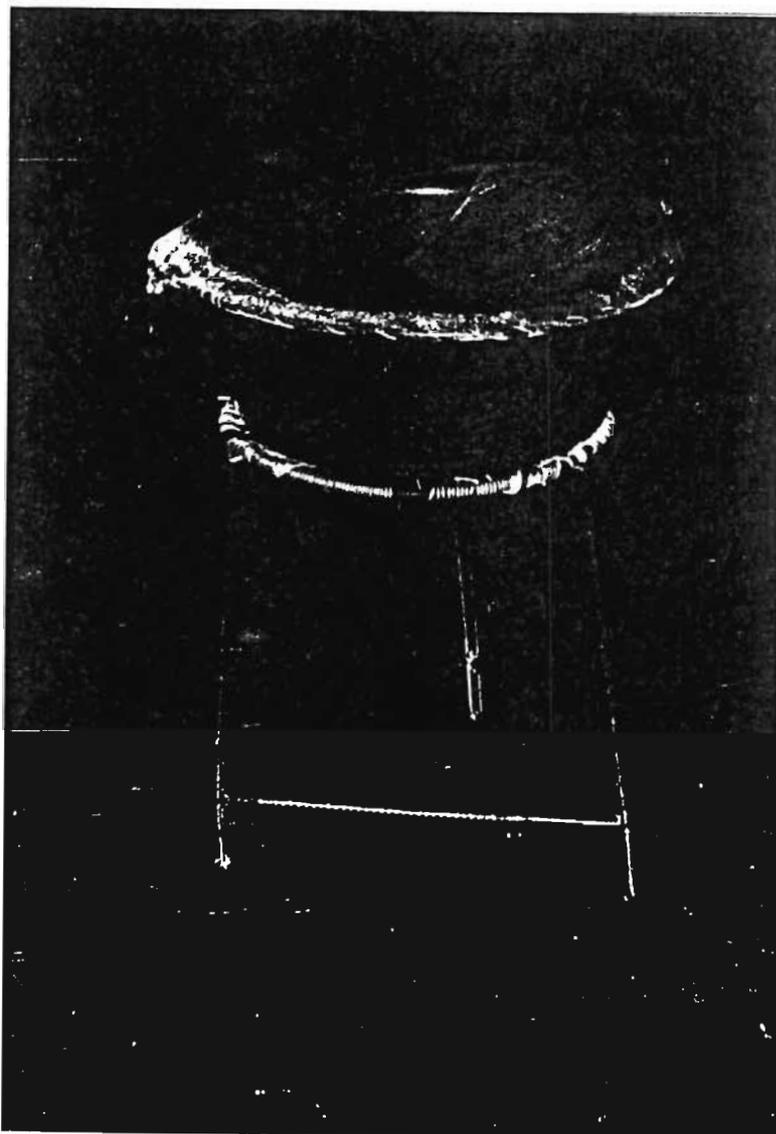


Fig. 4.6 EQUIPO COLECTOR AL AIRE LIBRE

deben ser plásticos y nuevos. Deben inicialmente lavarse con agua lluvia de muestra.

A continuación se presenta el procedimiento a seguir

en el momento de recolectar la muestra.

1. Verificar que el frasco almacenador de muestra disponga de su respectiva viñeta con los siguientes datos:

Punto \_\_\_\_\_

Fecha que llueve : \_\_\_\_\_

Hora de inicio de lluvia : \_\_\_\_\_ fin \_\_\_\_\_

Milímetros precipitados : \_\_\_\_\_

Nombre del colector : \_\_\_\_\_

Observaciones : \_\_\_\_\_

2. Verificada la viñeta, esta se llena según los datos pedidos en el momento oportuno.
3. Luego se quita el cedazo del muestreador, tomándolo por el borde (procurar no tocar áreas internas del cedazo)
4. Con una regla plástica graduada (regla común) medir la precipitación pluvial colectada, colocando la regla desde el fondo del muestreador, los milímetros recolectados será la altura humedecida en la regla. Proceder a reportar este dato en la viñeta.
5. Sin tocar el colector internamente, tomándolo por el borde decantar el agua lluvia, llenando así el reci-

piente almacenador de muestra hasta que revalse, luego taparlo herméticamente utilizando cinta teflón en la rosca del frasco.

6. La muestra deben almacenarse en refrigeración a 4°C y no debe moverse innecesariamente, para evitar fuga de CO<sub>2</sub>.
7. Recolectada la muestra y almacenada, el colector y el cedazo deben lavarse con agua lluvia y decantarse para eliminar residuos de agua; dejar secarse al sol, una vez seco éstos son protegidos con bolsas plásticas para evitar se contamine con grasas, partículas finas y/o extrañas.

NOTA: el muestreador será instalado en el lugar estipulado, cuando se aprecie amenazas de lluvia por el día (si no las hay, estará protegido en su respectiva bolsa). Por las noches quedará listo en su punto de ubicación para la recolección de cualquier precipitación pluvial nocturna.

#### 4.7 TRANSPORTE DE LA MUESTRA

Se debe tener el cuidado de proteger los frascos conteniendo las muestras. Si bien es cierto que éstos son

opacos (lechosos) protegiendo su contenido de la luz solar, es necesario que se transporten en cajas de cartón; cuidando evitar que éstos se muevan bruscamente en el camino.

Al llegar al lugar donde se efectuarán los análisis, las muestras deben siempre ser almacenadas en refrigeración a 4°C.

## C A P I T U L O V

## 5.0 CRITERIOS PARA SELECCIONAR VARIABLES FISICAS Y QUIMICAS

Para la selección de las variables físicas y químicas a medir se toman los siguientes criterios.

1- Que las variables a seleccionar intervengan en el fenómeno de generación de la lluvia ácida, ya sea en forma directa (Ejemplo: Sulfatos, nitratos, dióxido de carbono) o indirectamente (Ejemplo: temperatura y sólidos disueltos).

2- Que estas variables se encuentren en concentraciones tales que puedan ser detectadas, por el método de análisis empleado.

3- Disponer de método de análisis adecuadas para medición de dichas variables y que se adapten a las necesidades requeridas y a los recursos disponibles.

## 5.1 SELECCION DE VARIABLES FISICAS.

En base a los criterios anteriores se han seleccionado las siguientes variables:

## 5.1.1 VARIABLES FISICAS.

### 5.1.1.1 Sólidos disueltos:

Se ha seleccionado esta variable debido a que a través de la conductividad eléctrica puede cuantificarse los sólidos totales ionizables que son representativos de todas las sustancias que intervienen en la acidez del agua lluvia. También están incluidas las sustancias que no influyen en la acidez.

### 5.1.1.2 Temperatura:

Esta variable influye en las reacciones químicas ya que es considerada como un catalizador natural; por lo que se medirá la temperatura de caída al inicio y al final de cada lluvia y verificar si hay alguna incidencia en la generación de la acidez del agua lluvia. También influye en la solubilidad de sustancias químicas en el agua lluvia.

## 5.1.2. VARIABLES QUIMICAS

### 5.1.2.1 El pH:

Con el potencial del ión hidrógeno (pH), se estará determinando la acidez del agua lluvia, la cual

podría ser provocada por los ácidos disueltos en ellos: como: ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ), ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ) y ácido clorhídrico ( $HCl$ ).

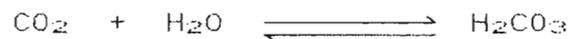
Siendo unos más abundantes que otros.

#### 5.1.2.2 Dióxido de carbono libre:

El  $CO_2$  es un componente natural del aire, (Cuadro 2.1), y es el producto de oxidación del monóxido de carbono ( $CO$ ).



el cual en presencia de humedad forma ácido carbónico que aporta acidez al agua lluvia



por ser el  $CO$  y  $CO_2$  producidos antropogénicamente y que por lo general el  $CO_2$  sobrepasa el nivel de 0.03 % v/v es considerado un contaminante atmosférico que estará aportando acidez al agua lluvia y que para este estudio es necesaria su determinación para cuantificar su aporte a la acidez.

#### 5.1.2.3 NITRATOS.

Estos provienen principalmente del monóxido y dióxido de nitrógeno, emanados principalmente por el

transporte y procesos industriales los cuales se convierten finalmente en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y de esta forma aportan acidez al agua lluvia. Se cuantificarán los nitratos.

#### 5.1.2.4 SULFATOS:

Esta variable se ha seleccionado debido a que es el resultado de la oxidación de los compuestos azufrados, proveniente del carbón, gasolina, gas propano así como de procesos industriales que se pueden estar usando en el área metropolitana y alrededores de San Salvador los cuales en contacto de la humedad forman ácido sulfúrico que incide en la acidez al agua lluvia.

#### 5.1.2.5 CLORUROS:

Se ha seleccionado esta variable debido a que es probable que en San Salvador y alrededores se genere ácido clorhídrico a partir de atmósferas salinas procedentes del mar y el cual entra en contacto con ácido sulfúrico, formándose ácido clorhídrico por lo que no se descarta esta posibilidad. Se cuantificarán los cloruros. efectuará su respectivo análisis.

## 5.2 PRIORIDAD DE ANALISIS

Al hablar de prioridad de análisis, se entendera aquellas mediciones que son necesarias de efectuar en forma casi inmediata o tan rápidamente como fuere posible; ya que la demora en su ejecución repercute en los resultados obtenidos. A continuación se presenta el orden prioritario de realización de análisis físicoquímicos.

- 1- Temperatura
- 2- Dióxido de Carbono libre ( $\text{CO}_2$ )
- 3- pH
- 4- Conductividad eléctrica (sólidos disueltos)
- 5- Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )
- 6- Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )
- 7- Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )

Se aclara que lo detallado anteriormente es sólo una guía de qué análisis deberían efectuarse y el orden, pero que ésta en un momento dado pueda sufrir modificaciones de acuerdo a las circunstancias que se dispongan en el momento de realizar los análisis.

## C A P I T U L O VI

6.0 MANUAL DE METODOLOGIAS DE ANALISIS FISICOQUIMICO  
DE AGUAS LLUVIAS.

## 6.1 DETERMINACION DE DIOXIDO DE CARBONO LIBRE.

FUNDAMENTO: "La determinación de CO<sub>2</sub> libre del agua lluvia es llevada a cabo por la valoración de una solución patrón álcali de hidróxido de sodio. Aunque estén presentes otros ácidos en la muestra el resultado de los análisis es reportado como la acidez total expresada como CO<sub>2</sub>".

REACCION QUIMICA:  $\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$  (35)

EQUIPO DE VIDRIO Y MATERIAL DE LABORATORIO

Beaker DE 100 ml

Bureta de 25 ml

Erlenmeyer de 125 ml

Pipeta de 5 ml

Soporte

Agitador de vidrio

Gooch

Papel filtro Whatman #1

REACTIVOS

Solución de hidróxido de sodio 0.0025 N

Fenolftaleína 1 % P/V

Biftalato de potasio calidad reactivo (patrón primario)

Agua destilada libre de CO<sub>2</sub>.

PREPARACION DE SOLUCION DE HIDROXIDO DE SODIO 0.1 N

- 1- Ebullición 2 Lt de agua destilada y enfriar.
- 2- Preparar un gooch, previamente lavado y con material filtrante (asbesto).
- 3- Pesar 10 gr de hidróxido de sodio en pellets
- 4- En un erlenmeyer de 125 ml, agregar 10 ml de agua destilada y agitar hasta lograr una disolución total del hidróxido de sodio.
- 5- Enfriar a temperatura ambiente.
- 6- Filtrar y recibir en un beaker el filtrado.
- 7- Medir con una pipeta 4.0 ml del filtrado y trasladarlo a un volumétrico de 1.0 Lt, luego aforar con el agua destilada preparada al inicio. Se tendrá una solución 0.1N de hidróxido de sodio, de concentración aproximada (33).

ESTANDARIZACION DE LA SOLUCION DE HIDROXIDO DE SODIO 0.1N APROXIMADA, CON BIFTALATO DE POTASIO.

- 1- Pesar 0.5 gr de biftalato de potasio KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub> secado por 2 horas a 110°C ó 230°F.
- 2- En un erlenmeyer de 125 ml, disolver con 50 ml de agua destilada el biftalato de potasio.

3- Agregar 2 gotas de fenolftaleína y titular con la solución de hidróxido de sodio preparada anteriormente, hasta que aparezca el primer vire rosado (33)

Cálculo :

$$\text{Normalidad (N}_{\text{NaOH}}) = \frac{\text{gr de biftalato de potasio}}{\text{ml NaOH} * 0.204229} \quad (33)$$

Donde : ml de NaOH = mililitros de solución de hidróxido de sodio consumidos en la estandarización.

PREPARACION DE UNA SOLUCION DE HIDROXIDO DE SODIO 0.0025N

Una vez conocida la normalidad exacta de la solución de NaOH 0.1N, se procede a obtener por dilución la solución de hidróxido de sodio 0.0025 N

1- Tomar 12.5 ml de la solución de hidróxido de sodio 0.1 N si es exacta o el volumen equivalente de acuerdo a la normalidad real.

Ejemplo: Cálculo de la normalidad del NaOH a preparar a partir de un volúmen inicial de 12.5 ml de de NaOH 0.1N.

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 N_2}{N_1}$$

$$N_2 = \frac{12.5 \text{ ml} \times 0.1 \text{ N}}{500 \text{ ml}}$$

$$N_2 = 0.0025 \text{ N}$$

- Donde :  $V_1$  = Volumen de hidróxido de sodio a utilizar  
 $N_1$  = Normalidad de hidróxido de sodio a utilizar  
 $V_2$  = Volumen final de hidróxido de sodio  
 $N_2$  = Normalidad final de hidróxido de sodio
- 2- Aforar el volumétrico a 500 ml con agua destilada libre de  $\text{CO}_2$ .
  - 3- Se procede a estandarizar la solución con biftalato; tomando una muestra de biftalato de potasio de 0.01gr diluido en 25 ml de agua destilada. Luego seguir los pasos del proceso anterior a partir del paso No.3 (ver estandarización).

#### PROCEDIMIENTO.

- 1- Tomar 20 ml de muestra de agua lluvia.
- 2- Agregue 2 gotas de fenolftaleína 1% P/V
- 3- Titule con la solución de hidróxido de sodio 0.0025 N hasta que se de el primer vire o cambio de color (de incoloro a rojo tenue).
- 4- Anote el volumen gastado de NaOH 0.0025 N ( $V_{\text{NaOH}}$ ).

Cálculo :

$$\text{PPM CO}_2 = \frac{V_B * N_B * \text{mg/meq CO}_2}{\text{Vol. muestra}} * 1000$$

Donde :

PPM CO<sub>2</sub> = partes por millón de CO<sub>2</sub>

V<sub>B</sub> = Volumen de hidróxido de sodio consumido en la titulación

N<sub>B</sub> = Normalidad real del hidróxido de sodio consumido en la titulación

mg/meq CO<sub>2</sub> = 44/2 miligramos por miliequivalente de CO<sub>2</sub>

Vol. muestra = Volumen de muestra analizada (20 ml)

## 6.2 DETERMINACION DE pH

FUNDAMENTO: "Para la mayoría de los propósitos prácticos el pH de una solución acuosa se puede tomar como el logaritmo base 10 del inverso de la concentración de ión hidrógeno. La escala práctica de pH se extiende desde cero (muy ácida) a 14 (muy alcalina), con el valor medio de 7 correspondiente a la neutralidad exacta a 25°C (32) en el cual los iones hidrógeno e hidróxido existen a la misma concentración. La concentración del ión hidrógeno es usada para expresar la acidez o la alcalinidad en gramo litro [H<sup>+</sup>]

$$\text{pH} = - \text{Log} [\text{H}^+] = \text{Log} \quad 1/[\text{H}^+]$$

El pH de las aguas naturales entre estas el agua lluvia normal natural, está gobernado por el equilibrio dióxido de carbono, bicarbonato, carbonatos y otros (32) se encuentran en un rango entre 4.0 y 8.5.

El pH se determina por la medición de la fuerza electromotriz, de una celda que comprende un electrodo indicador (electrodo vidrio) sumergido en una solución de prueba, y el electrodo de referencia ("generalmente el de calomel").

#### Interferencias

El electrodo de vidrio es relativamente inmune a las interferencias por calor, turbiedad, cloro libre, agentes oxidantes o reductores, así como a salinidad alta (32).

#### Equipo de vidrio y material de laboratorio

Medidor de pH, eléctrico de estandarización simple

Electrodo de vidrio (plata/cloruro de plata) y de calomel (referencia)

Beaker de 50 ml

Termómetro ambiental rango 0.1°C

#### Reactivo

Solución Buffer pH-7, Tritrisol, marca Merck.

#### Procedimiento

1. Conectar a la corriente eléctrica el medidor de pH y

dejar que caliente por 5 min, antes de usarlo.

- 2- Poner la solución buffer pH-7 en un beaker de 50 ml, de tal forma que el nivel esté a 5 cm aproximadamente del fondo hacia arriba.
- 3- Leer la temperatura de la solución buffer. Si el equipo tiene control de temperatura, fije con él a la temperatura del buffer.
- 4- Lavar los electrodos con agua destilada e introduzcalos en el buffer, luego estandarice el equipo al valor del pH del buffer de 7.
- 5- Una vez estandarizado el equipo; lave los electrodos con agua destilada, posteriormente secalos con papel suave.
- 6- Tome una porción de agua lluvia de 50 ml y colóquela en un beaker de 50 ml; tome la temperatura. Si se utilizará compensador de temperatura fije el control a la temperatura de la muestra de agua lluvia. Los electrodos deben quedar adecuadamente cubiertos con la muestra.
- 7- Coloque los electrodos en la muestra de agua lluvia, cuidando de efectuar la lectura de pH cuando el equipo proporcione una lectura estable, es decir que el valor leído no cambie.
- 8- Efectuar la medición por duplicado y sin agitar la muestra para evitar la pérdida de  $\text{CO}_2$  y otros componentes volátiles, los cuales alteran el valor del pH (33).

### 6.3 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA.

FUNDAMENTO: "La medición de la temperatura de caída del agua lluvia es obtenida al poner en contacto un termómetro con una porción de muestra de agua lluvia, el cual proporcionará la lectura", de temperatura (32) de caída del agua lluvia la cual será el promedio aritmético de los valores abtenidos al inicio y al final de la lluvia.

#### Equipo y material de laboratorio

Termómetro tipo ambiental y rango de 0.1°C

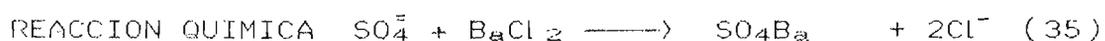
Beaker de 50 ml.

#### Procedimiento

- 1- Tomar una muestra de agua lluvia de 20 ml y colocarla en un beaker de 50 ml.
- 2- Coloque el termómetro sumergiéndolo en la muestra de agua.
- 3- Espere un período de tiempo (3 min) o el suficiente que permita obtener una lectura constante en el termómetro.
- 4- Una vez constante la lectura en el termómetro, reporte-la como la temperatura de la muestra.
- 5- Repita el procedimiento (hacer dos lecturas), siguiendo el proceso descrito (32) al inicio de la lluvia y cuando finaliza.

## 6.4 DETERMINACION DE SULFATOS

FUNDAMENTO: "La concentración de sulfatos en agua lluvia puede determinarse por la formación y medición de la turbidez, generada por los sulfatos del agua lluvia al reaccionar con el cloruro de bario, siendo el sulfato de bario el responsable de la turbidez formada en la muestra, la cual será medida espectrofotométricamente a 410 nm".

Equipo y materiales de laboratorio

- 1- Espectrofotómetro visible, eléctrico.
- 12- Cubetas para espectrofotómetro
- 1- Espátula
- 2- Goteros
- 1- Volumétrico de 1000 ml
- 4- Volumétricos de 100 ml
- 1- Pipeta de 5 ml
- 1- Beaker de 500 ml
- 12- tubos de ensayo.

Reactivos

Acido clorhídrico 1 + 1

Cloruro de bario en cristales (calidad reactivo)

Sulfato de sodio anhidrido (calidad reactivo)

Glycerina concentrada

Agua destilada libre de sulfato o agua desmineralizada  
Alcohol (calidad reactivo)

PREPARACION DE UNA SOLUCION PATRON MADRE DE SULFATO DE SODIO  
(100 mg/Lt)

DEMOSTRACION: Disolver 0.1479 gr de sulfato de sodio-  
anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) desecado en estufa, en 500 ml de agua  
destilada en un beaker de 500 ml, trasladarlo  
cuantitativamente a un volumétrico de 1 lt y aforar hasta  
ese volumen (32)

$$1 \text{ ml} = 0.1 \text{ mg SO}_4^{\bar{2}}$$

PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DILUIDAS A PARTIR DE LA  
SOLUCION PATRON MADRE

En el cuadro 6.1 se detallan los ml de solución patrón de  
sulfato de sodio (100 mg/Lt), que se toman y son colocados  
en volumétricos de 100 ml posteriormente se afora a 100 ml  
(34).

PROCEDIMIENTO (35)

- 1- Tomar 5 ml de muestra de agua lluvia y rotularlo como  
"muestra", lavar con una solución de alcohol (1 + 1)  
las cubetas que serán utilizadas en el espectrofotóme-  
tro
- 2- Tomar 5 ml de agua destilada y rotularlo como "blanco"

CUADRO 6.1  
PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DILUIDOS A PARTIR  
DE SOLUCION PATRON MADRE

ml tomados de solución Madre	Cantidad de agua destilada a agregar en volúmetrics de 100 ml	concentración patrón diluida ppm
2.5	97.5	2.5
5.0	95.0	5.0
7.5	92.5	7.5
10.0	90.0	10.0

- 3- Tomar 5 ml de las soluciones patrón diluidas preparadas (2.5, 5.0, 7.5, 10 ppm) y colocarlas en diferentes tubos, cuidando de rotularlas con sus respectivas concentraciones.
  - 4- Agregar 3 gotas de ácido clorhídrico (1 + 1) con un gotero, a la muestra, blanco y los patrones diluidos.
  - 5- Luego añadir 0.005 gr de cloruro de bario en cristales a la muestra, blanco y los estándares, agitar los tubos hasta disolver los cristales. Espere 10 min.
  - 6- Una vez transcurrido este tiempo; agregue 1 gota de glicerina concentrada para cada cubeta (muestra, blanco y estándares) en el momento oportuno; primeramente para el blanco y agite vigorosamente, calibre el espectrofotómetro a 0.00A, el espectrofotómetro debe estar listo al realizar el análisis.
- Encender el espectrofotómetro y espere que esté

caliente por 5 min y poner 0% T o infinito de absorbancia.

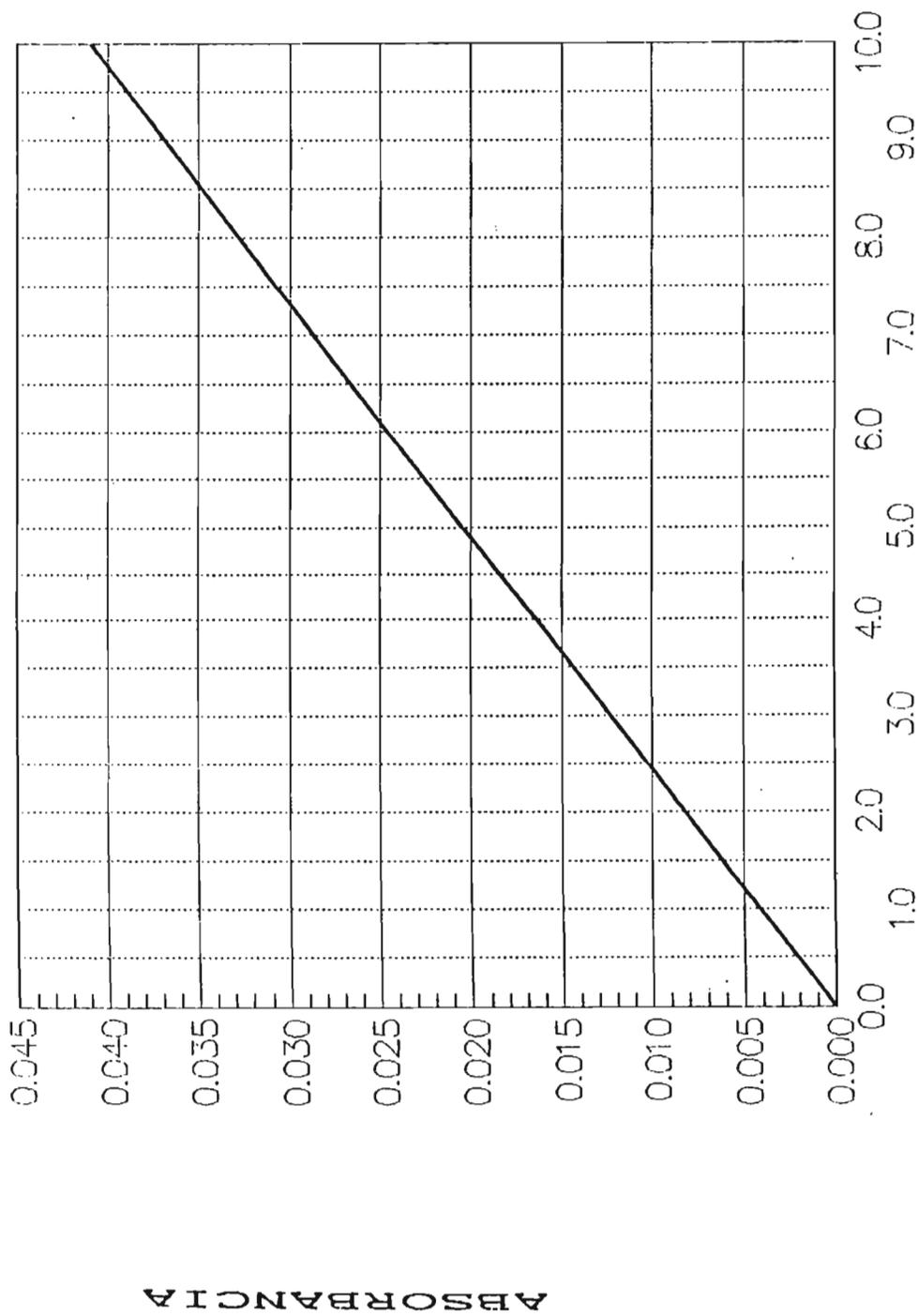
- Seleccione longitud de onda 410 nm.

- 7- Luego leer absorbancia; primeramente para las distintas soluciones de los patrones diluidos, agitando cada cubeta antes de efectuar la lectura; tomando como el valor correcto el mayor dato leído en el dial del espectrofotómetro, instante después de colocarle la cubeta. Con estos datos graficar curva de calibración.
- 8- Leer absorbancia para las muestras de agua lluvia, agitando la cubeta conteniéndola, la lectura mayor obtenida es el valor buscado.
- 9- Con los datos de absorbancia y utilizando la curva de calibración, se puede conocer la concentración de sulfatos en la muestra de agua lluvia (35).

#### 6.5 DETERMINACION DE CLORUROS

FUNDAMENTO: "La concentración de cloruros en el agua lluvia, puede determinarse por la formación y medición de la turbidez, generada por los cloruros del agua lluvia al reaccionar con el nitrato de plata, siendo el cloruro de plata el responsable de la turbidez formada en la muestra, la cual sera medida espectrofotométricamente a 410 nm" (35)

REACCION QUIMICA:  $\text{Cl}^- + \text{NO}_3\text{Ag} \longrightarrow \text{ClAg} + \text{NO}_3^-$



Sulfatos (ppm)

FIG. 6.1 CURVA DE CALIBRACION PARA SULFATOS 125

EQUIPO Y MATERIALES DE LABORATORIO.

- 1- Espectrofotómetro visible, eléctrico
- 1- Cubeta para baño de agua caliente
- 1- Cubeta para baño de agua fría
- 12- Cubetas para el espectrofotómetro
- 1- Gradilla
- 1- Pipeta 5.0 ml
- 1- Gooch
- 1- Termómetro ambiental rango 0.1°C
- 2- Goteros
- 1- Agitador de vidrio
- 1- Volumétrico de 1000 ml
- 5- Volumétricos de 100 ml
- 12- Tubos de ensayo

Reactivos

Agua destilada libre de cloruros

Peróxido de hidrógeno 30 %

Solución de ácido sulfúrico (1+1)

Solución de Nitrato de plata 0.1N

Fenolftaleína 1% P/V

Solución patrón madre de cloruro de sodio (1000 ppm cl )

PREPARACION DE SOLUCION DE ACIDO SULFURICO (1+1)

Demostración: Tomar 20 ml de ácido sulfúrico y agrégueselos

a 20 ml de agua destilada. Esta solución debe ser almacenada en un frasco de vidrio con tapón bien sellado.

#### PREPARACION DE UNA SOLUCION DE NITRATO DE PLATA 0.1N

Se disuelve 1.6988 gr  $\text{AgNO}_3$  calidad reactivo en agua destilada y diluir a 100 ml en un frasco volumétrico aforando hasta ese volumen.

#### PREPARACION DE ESTANDAR PARA CURVA DE CALIBRACION.

Solución patrón madre de cloruro de sodio (1000 ppm  $\text{Cl}^-$ )

Disolver 0.1648 gr de cloruro de sodio seco desecado en estufa, en agua destilada libre de cloruro y diluir a 100 ml

Donde :

$$1\text{ml de solución} = 1.0 \text{ mg } \text{Cl}^-$$

Para la curva de calibración:

1- Tome 10 ml de la solución anterior y colocarla en un volumétrico de 100 ml Aforar a ese volumen. Se tiene una solución de 100 ppm  $\text{Cl}^-$

En el cuadro 6.2 se resumen los diferentes volúmenes a tomar de la solución de cloruro de sodio de 100 ppm  $\text{Cl}^-$ ; donde cada volumen de solución tomada será llevada a un volumétrico de 100 ml y se aforará a ese volumen.

#### PROCEDIMIENTO (35)

El espectrofotómetro debe estar listo al realizar el análisis:

CUADRO 6.2  
 PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON DE CLORUROS A PARTIR  
 DE SOLUCION PATRON MADRE DE CLORURO

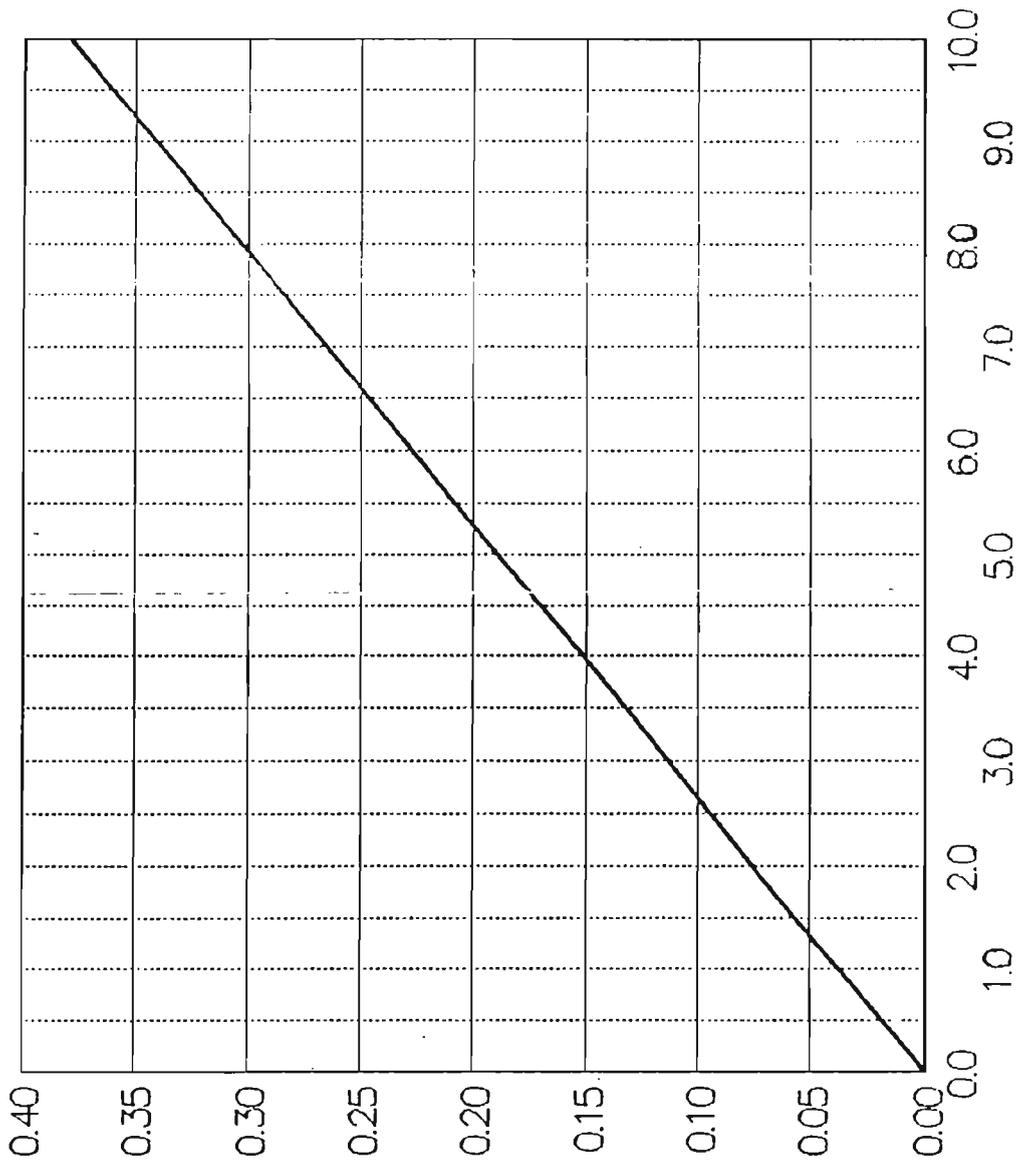
ml tomados de solución 100 ppm cl	Cantidad de agua destilada a agregar en volumétricos de 100 ml	concentración de la dilución ppm
2.5	97.5	2.5
5.0	95.0	5.0
7.5	92.5	7.5
10.0	90.0	10.0

- Encender el espectrofotómetro y espere que caliente por 5 min y poner 0% T o infinito de absorbancia

- Seleccione longitud de onda 410 nm.

- 1- Tomar 5 ml de agua destilada sin cloruro y rotule el tubo que la contiene como "blanco"
- 2- Tomar 5 ml de las soluciones preparadas anteriormente (2.5, 5.0, 7.5, 10 ) ppm y colocarlas en tubos diferentes cada una, cuidando de anotar su concentración para prevenir errores.
- 3- Tomar 5 ml de muestra de agua lluvia y rotule "muestra".
- 4- Agregar a cada tubo conteniendo las muestras y soluciones respectivas 1 gota de peróxido de hidrógeno al 30%, preparar baño de agua caliente ( $T = 80^{\circ}\text{C}$ ) y un baño frío ( $T = 4^{\circ}\text{C}$ ) antes de iniciar el análisis.
- 5- Colocar los tubos en una gradilla, luego calentar los

- tubos en el baño de agua caliente por 5 min ( $T=80^{\circ}\text{C}$ )
- 6- Luego enfriar a temperatura ambiente, con un baño de agua a  $4^{\circ}\text{C}$ .
  - 7- Una vez alcanzada la temperatura ambiente en la muestra y soluciones, se agrega 1 gota de ácido sulfúrico al (1+1).
  - 8- Agregar también 1.0 gota de la solución de  $\text{AgNO}_3$  0.1 N y esperar por 5 minutos.
  - 9- Transcurrido este tiempo, utilizando el blanco y una vez agitado; calibrar el espectrofotómetro a 0.00A (100% T)
  - 10- Luego leer absorbancia; primero para las distintas soluciones de los patrones diluidos, agitando cada cubeta antes de efectuar la lectura; tomando como el valor correcto el mayor dato leído en el dial del espectrofotómetro, instantes después de colocarle la cubeta. Con estos datos graficar curva de calibración .
  - 11- Leer absorbancia para la muestra de agua lluvia, agitando el tubo conteniéndola. La lectura mayor obtenida con la cubeta es el valor buscado.
  - 12- Con el dato de absorbancia de la muestra y utilizando la curva de calibración; se puede conocer la concentración de la muestra de agua lluvia (35).



ABSORBANCIA

CLORUROS (ppm)

Fig. 6.2 CURVA DE CALIBRACION PARA CLORUROS

## 6.6 - DETERMINACION DE NITRATOS

FUNDAMENTOS: " La determinación de nitrato en el agua lluvia es posible debido a la reacción entre el nitrato del agua lluvia y la brucina proveniente del reactivo ácido sulfanílico brucina, la cual produce un color amarillo que puede ser usado para la determinación espectrofotométrica de nitrato a 410 nm. El grado de color desarrollado es significativamente afectado por la cantidad de calor generado durante la prueba. El control de temperatura y tiempo son por consiguiente, extremadamente críticos"(35)

EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO

- 1- Espectrofotómetro visible, eléctrico
- 12- Tubos de ensayos
- 12- Cubetas para espectrofotómetro
- 2- Gradilla
- 2- Cubetas para baño de agua fría y caliente
- 1- Termómetro ambiental rango 0.1°C
- 1- Pipeta 5ml
- 1- Beaker 500 ml
- 1- Beaker 250 ml
- 1- Frasco oscuro
- 1- Volumétrico 1000 ml
- 4- Volumétricos 100 ml
- 1- Vidrio reloj

## REACTIVOS

Agua destilada libre de nitratos

Solución ácido sulfúrico (4+1)

Brucina

Acido sulfúrico concentrado

Acido sulfanílico

Acido clorhídrico

Nitrato de potasio anhidro (calidad reactivo)

## PREPARACION DE REACTIVOS

Solución de ácido sulfúrico (4+1)

Se añade cuidadosamente 100 ml de ácido sulfúrico (densidad 1.84 gr/cm<sup>3</sup>) a 25 ml de agua destilada, se enfría a temperatura ambiente antes de usar y se guarda bien tapado para prevenir la humedad atmosférica (32)

Preparando sulfato de brucina (35)

Pesar 0.856 gr de brucina y colocarla en un vidrio reloj, agregarle agua hasta formar una pasta fluida a la cual se le añade una gota (0.058ml) de ácido sulfúrico concentrado, luego se deseca por 24 horas. El vidrio de reloj contendrá 1 gr de sulfato de brucina.

Preparación de reactivo ácido sulfanílico-brucina.

Disolver 1 gr de sulfato de brucina y 0.1 gr de ácido sulfanílico en 70 ml de agua destilada caliente. Se añade 3.0 ml de HCl densidad 1.18 gr/cm<sup>3</sup>. Se enfría; se mezcla y diluye a 100 ml con agua destilada. Se almacena en frasco oscuro a 5°C. Esta solución es estable por varios meses, el color rosado que se desarrolla lentamente no afecta su utilidad.

Precaución: El sulfato de brucina es tóxico, tenga cuidado y evite su ingestión.

PREPARACION DE UNA SOLUCION PATRON MADRE DE NITRATO DE POTASIO (100 ppm NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Disolver 0.7218 gr de nitrato de potasio anhidro (KNO<sub>3</sub>) en agua destilada y se diluye a 1 lt en un frasco volumétrico.

Donde:

$$1.0 \text{ ml} = 0.1 \text{ mg NO}_3$$

Soluciones patrones diluidas de nitrato de potasio.

En frascos volumétricos de 100 ml se prepara las siguientes soluciones aforando a 100 ml con agua destilada.

CUADRO 6.3  
PREPARACION DE SOLUCION PATRON DE NITRATOS  
A PARTIR DE SOLUCIOIN PATRON MADRE

ml tomados de solución Patrón Madre	Cantidad de agua destilada a agregar en volumétricos de 100 ml	concentración de la dilución ppm
2.5	97.5	2.5
5.0	95.0	5.0
7.5	92.5	7.5
10.0	90.0	10.0

#### PROCEDIMIENTO

El espectrofotómetro debe estar listo al iniciar el análisis.

- Encender el espectrofotómetro y espere que caliente por 5 min calibrar 0% T o infinito de absorbancia
- Seleccionar longitud de onda 410 nm.

- 1- Medir 1.5 ml de agua lluvia y colóquela en un tubo de ensayo rotule "muestra"
- 2- Medir 1.5 ml de agua destilada y colóquela en un tubo de ensayo rotulando como "blanco".
- 3- Tomar 1.5 ml de las soluciones patrones diluidas preparadas en (2.5, 5.0, 7.5, 10) ppm colocadas en diferentes tubos rotulando su concentración.
- 4- Ubicar los tubos conteniendo las muestras en una gradilla. Colocarlos espaciados para permitir el flujo uniforme del baño de agua, entre los tubos. Este debe

ayudar a alcanzar un calentamiento uniforme de todos los tubos por 5 min a 60°C.

Si es necesario corregir por color o materia orgánica disuelta los cuales causarán color por calentamiento, debe correrse un juego duplicado de muestras a las cuales se han añadido todos los reactivos excepto el ácido sulfanílico brucina.

- 5- Pipetear 3 ml de solución ácido sulfúrico dentro de cada tubo y mezclar con movimientos rotatorios. Permitir que los tubos alcancen el equilibrio térmico en el baño frío. Asegurándose que las temperaturas se han equilibrado en todos los tubos antes de continuar.
  
- 6- Añadir 2 gotas del reactivo ácido sulfanílico brucina para muestras, blanco y patrones diluidos; mezclar cuidadosamente por movimientos rotatorios, si se forma un color rosado intenso inmediatamente después de la adición del reactivo ácido Sulfanílico brucina, es una indicación de una concentración demasiado alta de nitrato, lo cual podría exceder el rango del método. Tales alicuotas de muestra deben descartarse en este punto y volver a analizar la muestra usando una alicuota más pequeña y agregar agua desmineralizada hasta llevar a 1.5 ml de muestra.

- 7- Colocar la gradilla con los tubos en el baño de agua a  $100^{\circ}\text{C}$  por 25 minutos exactamente.

Precaución: La sumersión de la gradilla con los tubos dentro del baño, no debe disminuir la temperatura del baño más de 1 a  $2^{\circ}\text{C}$ . Con el objeto de que esta temperatura disminuya lo menos posible. El flujo del baño de agua entre los tubos no debe restringirse por colocar demasiados tubos en la gradilla. Si el desarrollo del color en los patrones diluidos revelan discrepancia en el procedimiento, el operador debe repetir el procedimiento después de revisar los pasos de control de temperatura (32).

- 8- Sacar la gradilla con los tubos del baño de agua caliente y dejar alcanzar el equilibrio térmico ( $20-25^{\circ}\text{C}$ ).
- 9- Usando el blanco, calibrar el espectrofotómetro 0.00A
- 10- Leer absorbancia para los patrones diluidos. Con estos datos y la concentración conocida se puede gráficar la curva de calibración para nitratos
- 11- Leer absorbancia para la muestra
- 12- Con el valor de absorbancia de la muestra y con la ayuda de la curva de calibración se puede conocer la concentración de nitratos en la muestra (35).

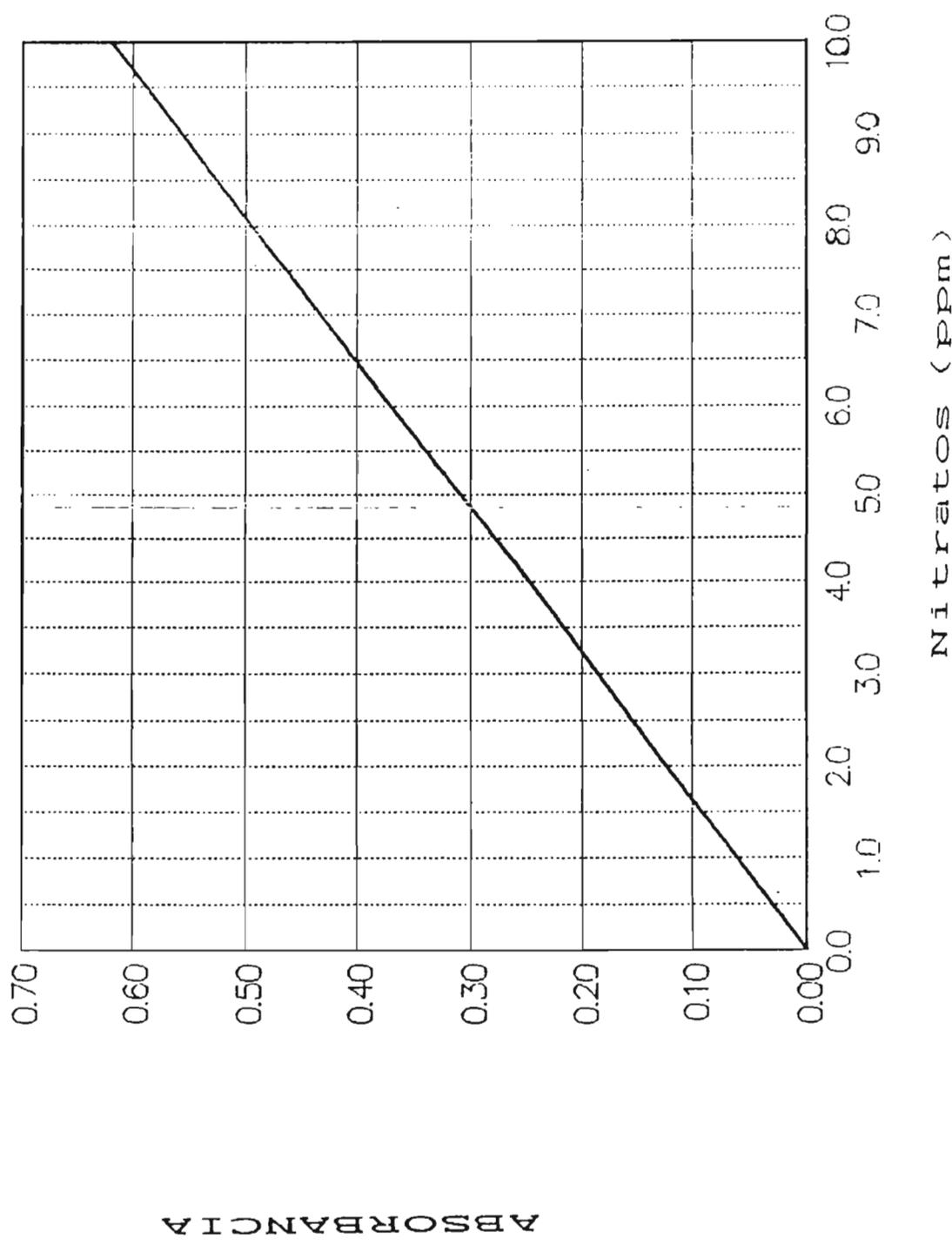


Fig. 6.3 CURVA DE CALIBRACION PARA NITRATOS

ABSORBANCIA

## 6.7 DETERMINACION DE SOLIDOS DISUELTOS

FUNDAMENTO: " La determinación de los sólidos disueltos en el agua lluvia es posible a través de la medición de la conductividad eléctrica (si conduce o no la corriente eléctrica) esta propiedad depende de la fuerza iónica del agua y está muy relacionada con la naturaleza de las diversas sustancias disueltas con ella".

La temperatura afecta la conductividad a razón del 2% por cada °C. La muestra debe ser almacenada bajo condiciones que no favorezcan la pérdida de dióxido de carbono, el análisis debe realizarse dentro de las 24 horas siguientes a su recolección. No se permite la preservación química de las muestras (32).

### EQUIPO Y MATERIALES DE LABORATORIO

- 1- Conductivímetro de escala expandida
- 1- Celda de conductividad (constante =1)
- 1- Beaker de 125 ml

### REACTIVOS

Agua destilada libre de CO<sub>2</sub>

Solución estándar de cloruro de potasio 0.01M

### PREPARACION DE UNA SOLUCION DE CLORURO DE POTASIO 0.01M

Esta solución se utiliza para calibrar los electrodos

del conductivímetro, para ello disolver: 0.7456 gr del cloruro de potasio anhidro (secado 105°C) en agua destilada libre de dióxido de carbono y llevarlo a 1000 ml a 20°C. Almacenar en un frasco de vidrio. La conductividad eléctrica de esta solución a 20°C es 1278 microhmos/cm (32).

#### PROCEDIMIENTO

- 1- Encender el conductivímetro y esperar 5 min antes de usarlo (para que caliente).
- 2- Luego calibrar el aparato utilizando la solución de cloruro de potasio 0.01M (ver manual de equipo)
- 3- Enjuague la celda de conductividad minuciosamente con una porción de la muestra
- 4- Tomar la temperatura de la muestra
- 5- Si la "T" es mayor que 20°C. bajar la temperatura de la muestra, hasta ese valor (20°C), utilizando un baño de agua fría.
- 6- En un beaker de 125 ml tomar una porción de 50 ml de muestra, introducir la celda (los electrodos) de conductividad y proceder a efectuar la lectura
- 7- Con el valor de conductividad corregido en microhmos/cm y utilizando la figura 6.4 se puede determinar la cantidad de sólidos disueltos (32)

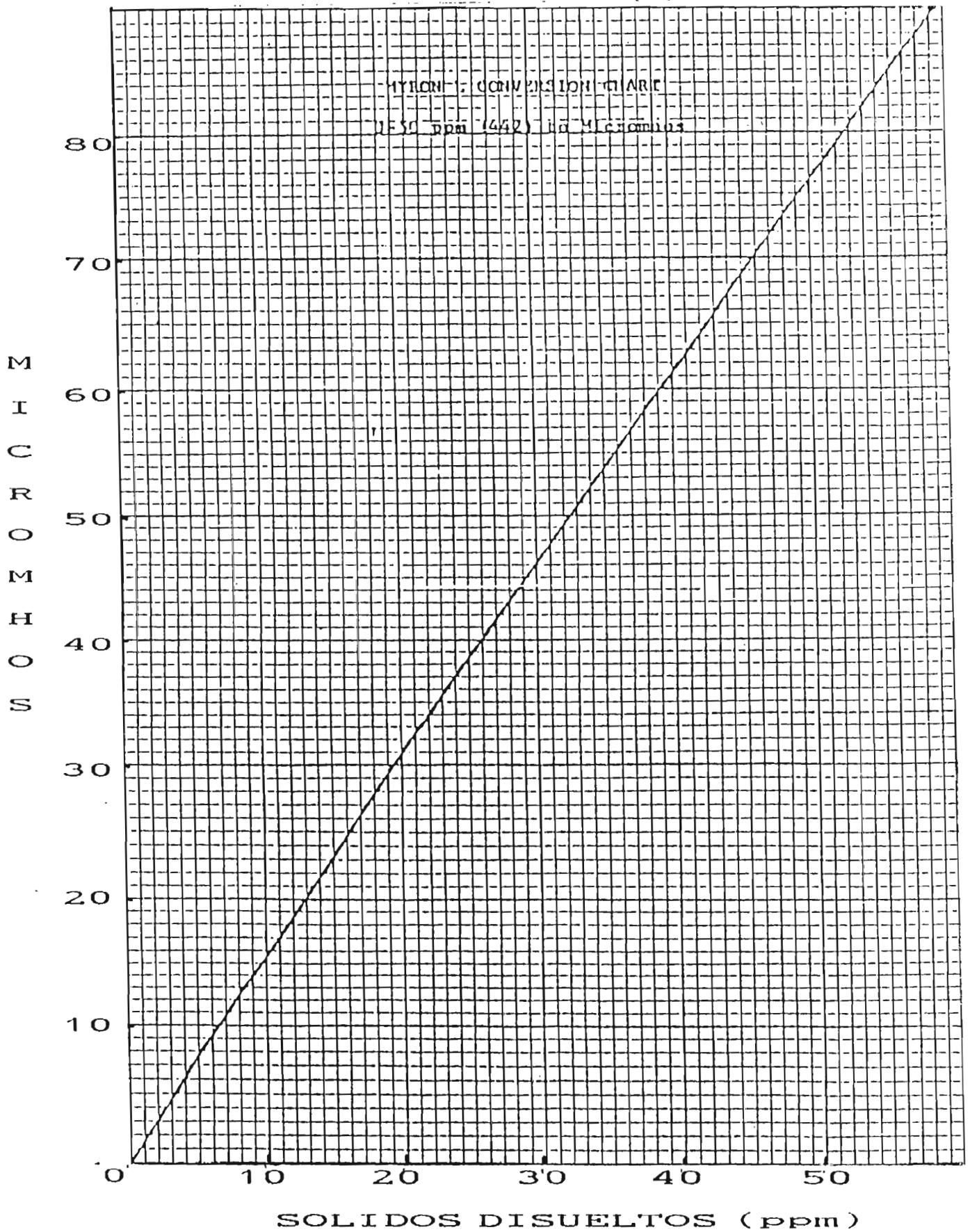


Fig. 6.4 GRAFICA DE CONVERSION PARA  
 SOLIDOS DISUELTOS EN AGUAS LLUVIAS

## C A P I T U L O VII

7.0 RESULTADOS OBTENIDOS DE VARIABLES FISICOQUIMICAS  
EN AGUA LLUVIA

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los análisis químico físicos de agua lluvia recolectados desde septiembre de 1990 hasta el 31 de mayo de 1991. Se exponen los datos obtenidos en tablas por orden cronológico; reportándolos en los diferentes puntos de muestreo para una sola variable\*, utilizando para ello una sola tabla. Además se incluye información estadística como: El valor promedio, coeficiente de variación, valor máximo, valor mínimo y el número de datos obtenidos. Esto se proporciona en forma local y global (punto de muestreo y área metropolitana respectivamente).

Nomenclatura utilizada.

pH = Potencial del ión hidrógeno, valor promedio de dos repeticiones

ppm = Partes por millón

T(°C)= Temperatura en grados centígrados, valor promedio de temperatura inicial con la final.

X = Valor promedio de dos repeticiones

---

\* Variable: Son los factores que teóricamente influyen en la acidez de la lluvia, como: la temperatura; la concentración de sólidos disueltos.

%c.v.= Coeficiente de variación (porcentaje)

Vmax.= Valor máximo obtenido

Vmin.= Valor mínimo obtenido

CO<sub>2</sub> : Dióxido de carbono, valor promedio de dos  
repeticiones

Prom = Promedio

Sol. Dis = Sólidos disueltos

NO<sub>3</sub> = Nitratos

SO<sub>4</sub> = Sulfatos

n = Número total de resultados promedios

TABLA 7.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE PH, EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES

PUNTO No.1		PUNTO No. 2		PUNTO No.3		PUNTO No. 4		PUNTO No.5	
FECHA	PH(PROM)	FECHA	PH(PROM)	FECHA	PH(PROM)	FECHA	PH(PROM)	FECHA	PH(PROM)
11.09.90	6.095	18.09.90	5.950	01.09.90	5.790	18.09.90	5.650	05.09.90	5.300
12.09.90	5.910	23.09.90	5.800	18.09.90	6.380	23.09.90	5.200	23.09.90	5.950
18.09.90	6.120	27.09.90	5.690	26.09.90	5.730	27.09.90	5.800		
23.09.90	6.055	28.09.09	6.200						
05.10.90	5.635	11.10.90	6.500	01.10.90	6.840	15.10.90	5.600	05.10.90	5.650
15.10.90	5.775	21.10.90	5.730	15.10.90	5.880	18.10.90	5.400	13.10.90	5.430
22.10.90	5.825			18.10.90	6.840	27.10.90	6.900	16.10.90	5.400
16.11.90	6.450	06.11.90	6.050	06.11.90	5.000	28.11.90	4.750	05.11.90	5.650
28.11.90	4.750	28.11.90	4.450	28.11.90	6.600	30.11.90	4.150	29.11.90	4.250
30.11.90	4.350								
30.11.90	4.350								
02.12.90	4.550	02.12.90	5.830					02.12.90	5.450
16.01.91	5.750							16.01.91	6.000
21.01.91	5.450								
16.04.91	5.840	21.04.91	6.010	05.04.91	5.900	16.04.91	5.600	14.04.91	5.750
21.04.91	6.040	30.04.91	5.600	17.04.91	6.150	17.04.91	5.675	15.04.91	5.900
30.04.91	5.350			21.04.91	5.830	30.04.91	6.355		
02.05.91	5.325	02.05.91	5.430	02.05.91	5.190	02.05.91	5.480		
10.05.91	6.170	03.05.91	5.280	04.05.91	5.310	21.05.91	5.430	12.05.91	5.095
17.05.91	5.260	24.05.91	6.130	17.05.91	5.000	24.05.91	5.740	24.05.91	5.560
24.05.91	5.125	27.05.91	5.050			28.05.91	5.170		
26.05.91	5.055								
$\bar{X}$	5.51		5.71		5.92		5.53		5.56
% C.V.	11.05		8.90		9.83		11.34		8.26
Vmax	6.17		6.50		6.84		6.90		6.00
Vmin	4.35		4.45		5.00		4.15		4.25
n	22.00		15.00		14.00		15.00		15.00
TOTAL	n=81 ;	$\bar{X}=5.63$ ;	% C.V.=10.15 ;	V Max=6.90 ;	V Min=4.15				

TABLA 7.2 RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE CO<sub>2</sub>, EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES

PUNTO No.1		PUNTO No. 2		PUNTO No.3		PUNTO No. 4		PUNTO No.5	
FECHA	CO <sub>2</sub> (ppm)	FECHA	CO <sub>2</sub> (ppm)	FECHA	CO <sub>2</sub> (ppm)	FECHA	CO <sub>2</sub> (ppm)	FECHA	CO <sub>2</sub> (ppm)
16.04.91	4.090	02.12.90	2.800	06.11.90	3.00	16.04.91	2.700	14.04.91	3.810
21.04.91	3.810	21.04.91	3.900	05.04.91	4.00	17.04.91	2.700	15.04.91	3.810
30.04.91	2.500	30.04.91	3.000	17.04.91	3.00	30.04.91	2.450	17.04.91	2.720
02.05.91	2.200	02.05.91	4.000	02.05.91	5.00	02.05.91	2.450	20.04.91	2.180
10.05.91	1.030	03.05.91	2.450	04.05.91	1.390	21.05.91	1.390	12.05.91	3.100
17.05.91	1.040	24.05.91	1.380	17.05.91	1.410	24.05.91	1.410	24.05.91	3.100
24.05.91	1.210	27.05.91	1.030			28.05.91	1.380		
26.05.91	3.450								
$\bar{X}$	2.416		2.651		2.967		2.070		3.120
% C.V.	52.203		43.022		47.939		30.933		10.254
V <sub>max</sub>	4.090		4.000		5.000		2.700		3.810
V <sub>min</sub>	1.030		1.38		1.390		1.380		2.180
n	8.00		7.00		6.00		7.00		6.00
TOTAL	n=34 ;	$\bar{X}$ =2.64 ;	% C.V.=41.150 ;	V Max=5.000 ;	V Min=1.030				

## PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES

PUNTO No.1		PUNTO No. 2		PUNTO No.3		PUNTO No. 4		PUNTO No.5	
FECHA	Sol/Dis	FECHA	Sol/Dis.	FECHA	Sol/Dis.	FECHA	Sol/Dis.	FECHA	Sol/Dis.
11.09.90	3.870	18.09.90	3.750	01.09.90	5.940	18.09.90	10.620	05.09.90	54.120
12.09.90	2.490	23.09.90	2.750	18.09.91	2.950	23.09.91	2.920	23.09.90	45.870
18.09.90	3.940	27.09.90	2.430	26.09.90	9.220	27.09.90	8.630		
23.09.9	3.250	28.09.90	2.900						
05.10.90	2.420	11.10.90	2.750	01.10.90	3.770	15.10.90	6.480	05.10.90	58.070
15.10.90	2.430	21.10.90	2.490	15.10.90	5.660	18.10.90	15.440	13.10.90	59.690
22.10.90	2.120			18.10.90	7.140	27.10.90	60.350	16.10.90	39.720
16.11.90	5.540	06.11.90	2.750						
28.11.90	26.750	28.11.90	19.500	06.11.90	3.280	28.11.90	44.650	05.11.90	40.600
30.11.90	60.380			28.11.90	22.150	30.11.90	44.300	29.11.90	46.540
30.11.90	27.750	02.12.90	3.180						
02.12.90	10.270								
16.01.91	2.290								
21.01.91	1.850								
16.04.91	2.350	21.04.91	1.320	05.04.91	16.260	16.04.91	41.500	14.04.91	46.500
21.04.91	3.900	30.04.91	11.300	17.04.91	8.020	17.04.91	10.500	15.04.91	44.450
30.04.91	2.650			21.04.91	14.990	30.04.91	11.600	17.04.91	52.500
02.05.91	2.100	02.05.91	13.650	02.05.91	19.950	02.05.91	19.150	20.04.91	76.850
10.05.91	3.920	03.05.91	15.150	04.05.91	5.850	21.05.91	6.650	12.05.91	15.850
17.05.91	3.820	24.05.91	2.880	17.05.91	5.730	24.05.91	6.950	24.05.91	20.900
24.05.91	3.880	27.05.91	1.365						
26.05.91	1.800								
$\bar{X}$	8.171		6.078		9.35		19.768		47.914
% C.V.	167.66		94.919		67.76		92.370		32.166
$V_{max}$	60.380		19.500		22.15		60.350		78.850
$V_{min}$	1.800		1.320		2.95		2.920		15.850
$\sigma$	22.00		15.00		14.00		15.00		15.00
TOTAL	n=31	$\bar{X}=17.46$	% C.V.=114.15	%	$V_{Max}=76.85$	%	$V_{Min}=1.800$		

## LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES.

PUNTO No.1		PUNTO No. 2		PUNTO No.3		PUNTO No. 4		PUNTO No.5	
FECHA	T (°C)	FECHA	T (°C)	FECHA	T (°C)	FECHA	T (°C)	FECHA	T (°C)
11.09.90	21.50	18.09.90	23.00	01.09.91	22.00	18.09.90	21.00	05.09.91	22.00
12.09.90	21.50	23.09.91	20.00	18.09.90	22.00	23.09.90	22.00	23.09.91	22.00
18.09.90	22.00	27.09.90	22.50	26.09.90	23.00	27.09.91	22.00		
23.09.90	22.50	28.09.90	22.00						
05.10.90	22.50	11.10.90	19.00	01.10.90	22.5	15.10.90	22.00	05.10.90	19.50
15.10.90	21.00	21.10.90	18.00	15.10.90	22.00	18.10.90	20.00	13.10.90	22.00
22.10.90	18.50			18.10.90	18.00	27.10.90	16.00	16.10.90	22.00
16.11.90	18.00	06.11.90	21.00	06.11.90	18.50	28.11.90	20.00	05.11.90	17.00
28.11.90	18.00	28.11.90	20.00	28.11.90	20.00			29.11.90	22.00
30.11.90	17.00								
30.11.90	16.50								
02.12.90	16.00	02.12.90	23.00					02.12.90	17.00
16.01.91	19.00							16.01.91	18.00
21.01.91	20.00								
16.04.91	23.00	21.04.91	24.00	05.04.91	24.00	16.04.91	23.00	14.04.91	22.00
21.04.91	23.50	30.04.91	23.00	17.04.91	23.00	17.04.91	22.50	15.04.91	22.00
30.04.91	23.50			21.04.91	23.00	30.04.91	22.50	17.04.91	23.00
02.05.91	24.00	02.05.91	24.00	02.05.91	22.50	02.05.91	23.00	20.04.91	23.00
10.05.91	24.00	03.05.91	23.00	04.05.91	23.50	21.05.91	24.10	12.05.91	23.80
17.05.91	24.50	24.05.91	23.50	17.05.91	23.25	24.05.91	23.25	24.05.91	22.10
24.05.91	23.50	27.05.91	23.00			28.05.91	22.40		
26.05.91	22.50								
$\bar{X}$	21.023	21.90	21.946						21.16
% C.V.	18.766	6.463	6.337						10.33
$V_{max}$	24.500	24.00	24.00						23.80
$V_{min}$	16.000	18.00	18.00						17.00
n	22.00	15.00	14.00						15.00

TOTAL n=81 :  $\bar{X}$ =21.41 : % C.V.=10.38 : V Max=24.50 : V Min=16.00

MODELO 7.0 RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE "NITRATOS EN AGUAS LLUVIAS", EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES

PUNTO No.1		PUNTO No. 2		PUNTO No.3		PUNTO No. 4		PUNTO No.5	
FECHA	NO <sub>3</sub> (ppm)	FECHA	NO <sub>3</sub> (ppm)	FECHA	NO <sub>3</sub> (ppm)	FECHA	NO <sub>3</sub> (ppm)	FECHA	NO <sub>3</sub> (ppm)
11.09.90	0.550	18.09.90	0.400	01.09.90	0.670	18.09.90	0.190	05.09.90	0.200
12.09.90	0.300	23.09.90	0.500	18.09.90	0.100	23.09.90	0.230	23.09.90	0.800
18.09.90	0.550	27.09.90	0.300	26.09.90	0.150	27.09.90	0.320		
23.09.90	0.570	28.09.90	0.500						
05.10.90	0.370	11.10.90	0.500	01.10.90	0.300	15.10.90	0.150	05.10.90	0.245
15.10.90	0.410	21.10.90	0.325	15.10.90	1.050	18.10.90	0.450	13.10.90	0.200
22.10.90	0.280			18.10.90	0.300	27.10.90	0.000	16.10.90	0.150
16.11.90	0.000	06.11.90	0.100	06.11.90	0.400	28.11.90	0.450	05.11.90	0.250
28.11.90	0.400	28.11.90	0.400	28.11.90	0.150	30.11.90	0.280	29.11.90	0.300
30.11.90	0.350								
30.11.90	0.670								
02.12.90	0.600	02.12.90	0.300					02.12.90	0.200
16.01.91	1.00							16.01.91	0.300
21.01.91	0.900								
16.04.91	0.750	21.04.91	0.200	05.04.91	0.950	16.04.91	0.400	14.04.91	2.400
21.04.91	0.400	30.04.91	0.100	17.04.91	0.200	17.04.91	1.230	15.04.91	0.170
30.04.91	1.080			21.04.91	0.300	30.04.91	1.500	17.04.91	0.450
02.05.91	1.800	02.05.91	0.200	02.05.91	0.950	02.05.91	1.500	20.04.91	0.410
10.05.91	1.325	03.05.91	0.650	04.05.91	1.000	21.05.91	1.750	12.05.91	0.425
17.05.91	0.000	24.05.91	0.530	17.05.91	1.800	24.05.91	0.275	24.05.91	0.275
24.05.91	1.550	27.05.91	0.730			28.05.91	1.000		
28.05.91	1.100								
$\bar{X}$	0.697		0.382		0.594		0.694		0.452
$\sigma$ CV	51.617		49.391		63.114		62.339		124.694
$V_{max}$	1.55		0.730		1.800		1.75		0.450
$V_{min}$	0.280		0.100		0.100		0.190		0.150
n	20.0		15.0		14.0		14.0		16.0
TOTAL	n=78	$\bar{X}=0.57$	$\sigma$ C.V.=60.124	$V_{Max}=1.80$	$V_{Min}=0.100$				

## 7.2 PRESENTACION GRAFICA DE RESULTADOS VARIABLE VRS TIEMPO PARA AGUAS LLUVIAS, EN LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y SUS ALREDEDORES.

Lo que se pretende presentar, es la informacion obtenida a lo largo del periodo de muestreo en forma gráfica. Así se tienen definidos bloques de gráficas ordenados de la siguiente manera:

Primer bloque:

- pH VRS Tiempo. Para los cinco puntos de muestreo en estudio.

Segundo bloque:

- Sólidos disueltos VRS Tiempo. Se muestran para los cinco puntos de muestreo en estudio

Tercer bloque:

- Dióxido de carbono VRS Tiempo. Se muestra para los cinco puntos de muestreo

Cuarto bloque:

- Sulfato VRS Tiempo. Se presenta para los cinco puntos de muestreo

Quinto bloque:

- Nitrato VRS Tiempo. Al igual que los anteriores se presenta para los cinco puntos de muestreo

7.2.1 PRIMER BLOQUE DE GRAFICOS.

pH VRS TIEMPO

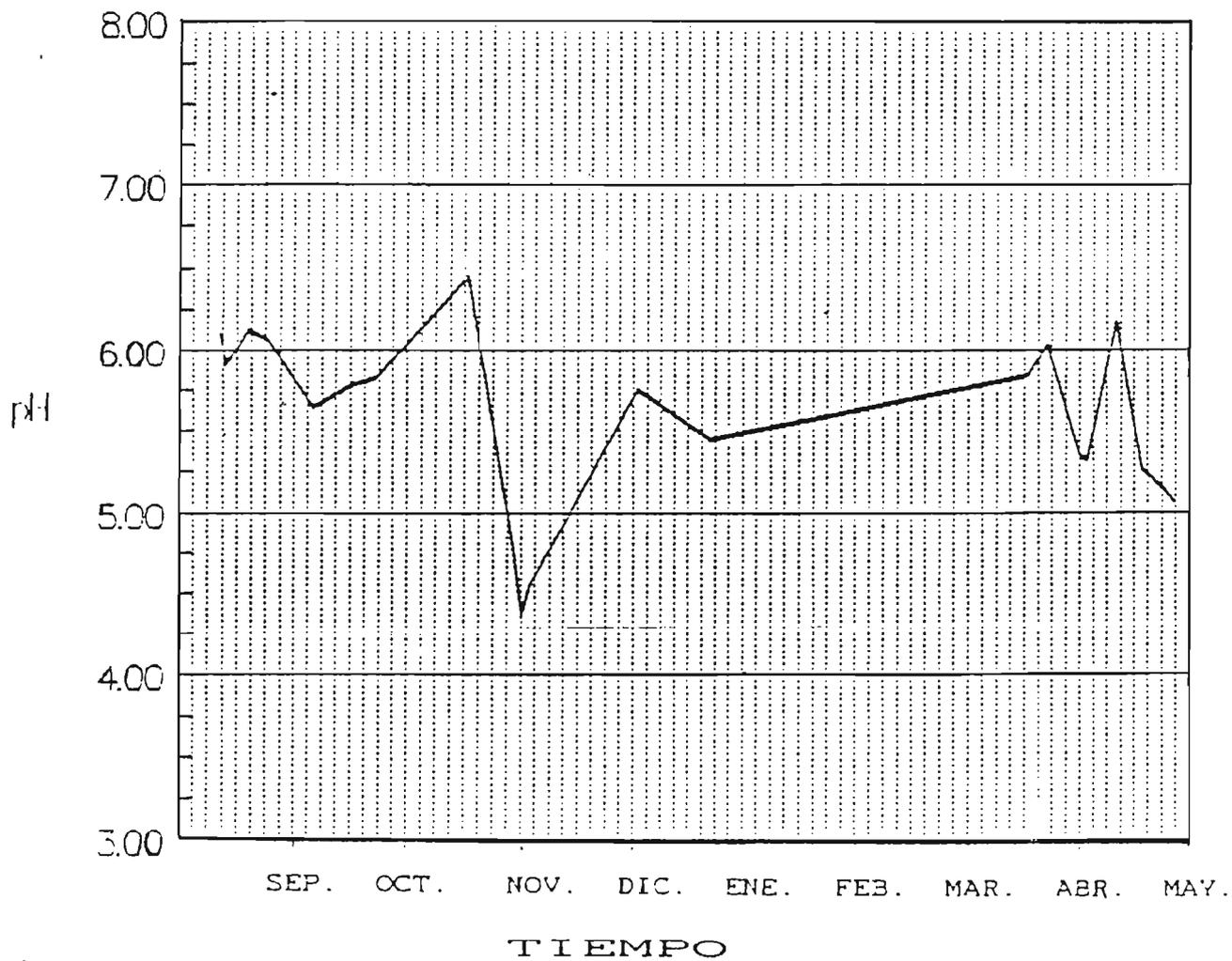


Fig.7.1 GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1  
(SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.



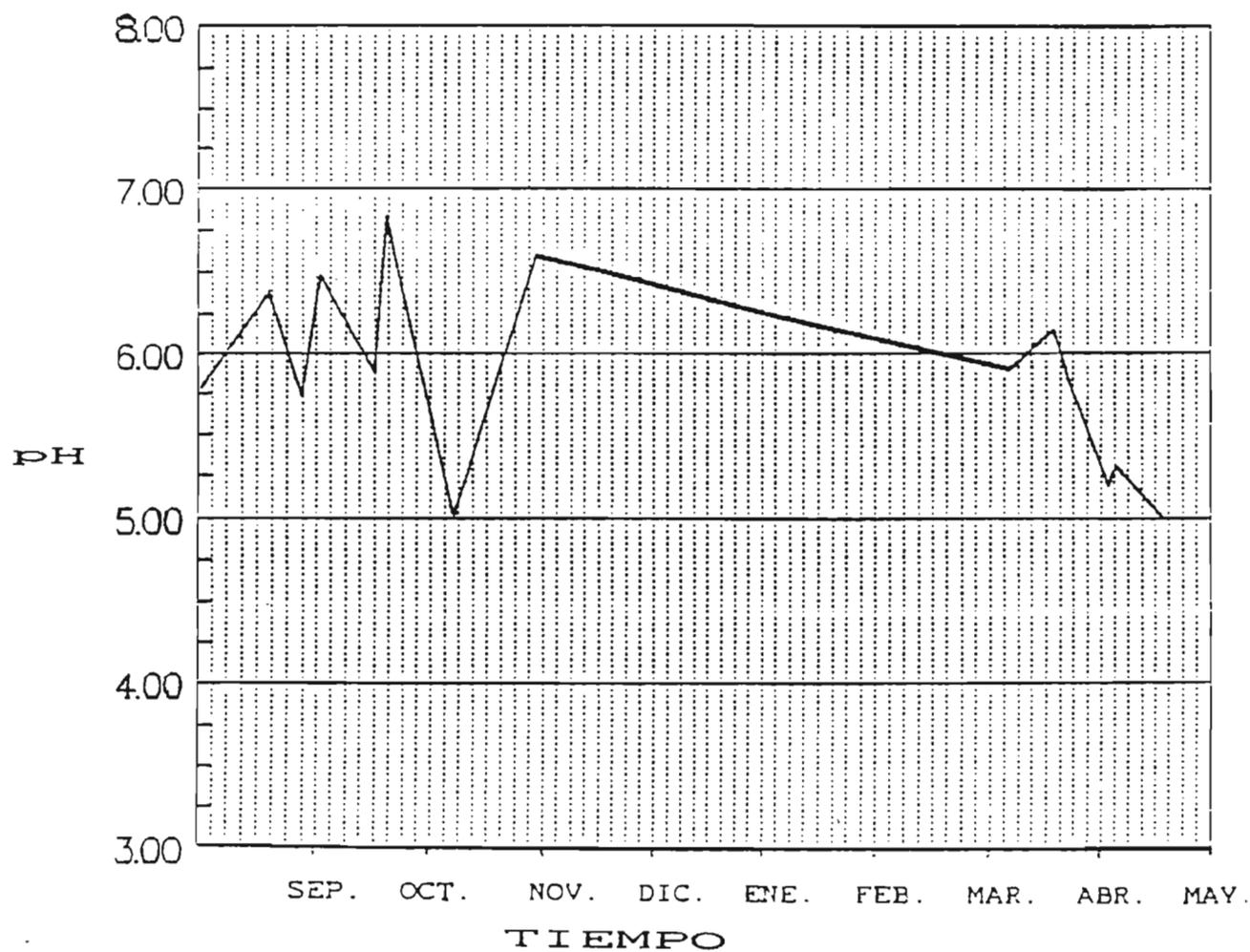


Fig.7.3 GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3  
(ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

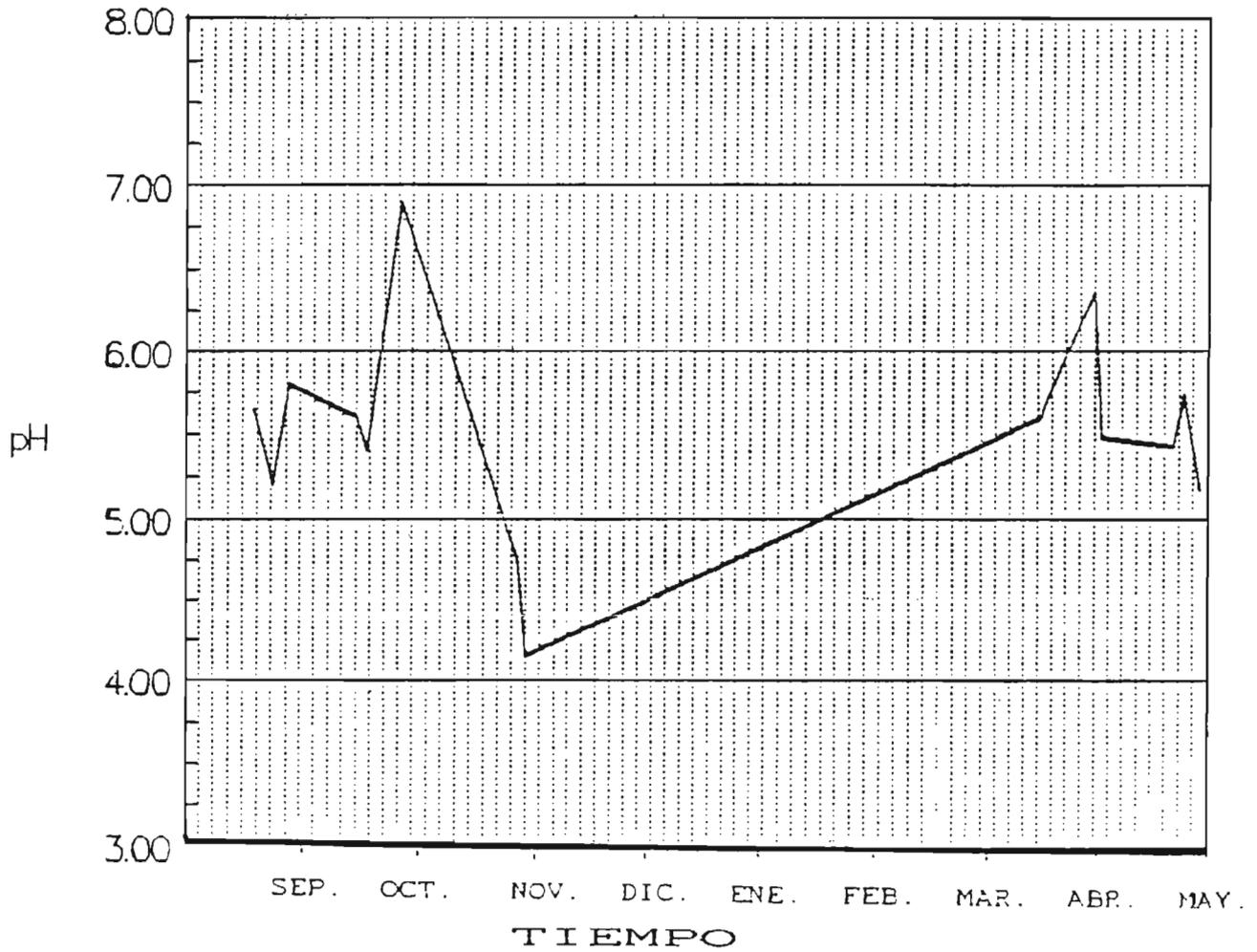


Fig.7.4 GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4  
(SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

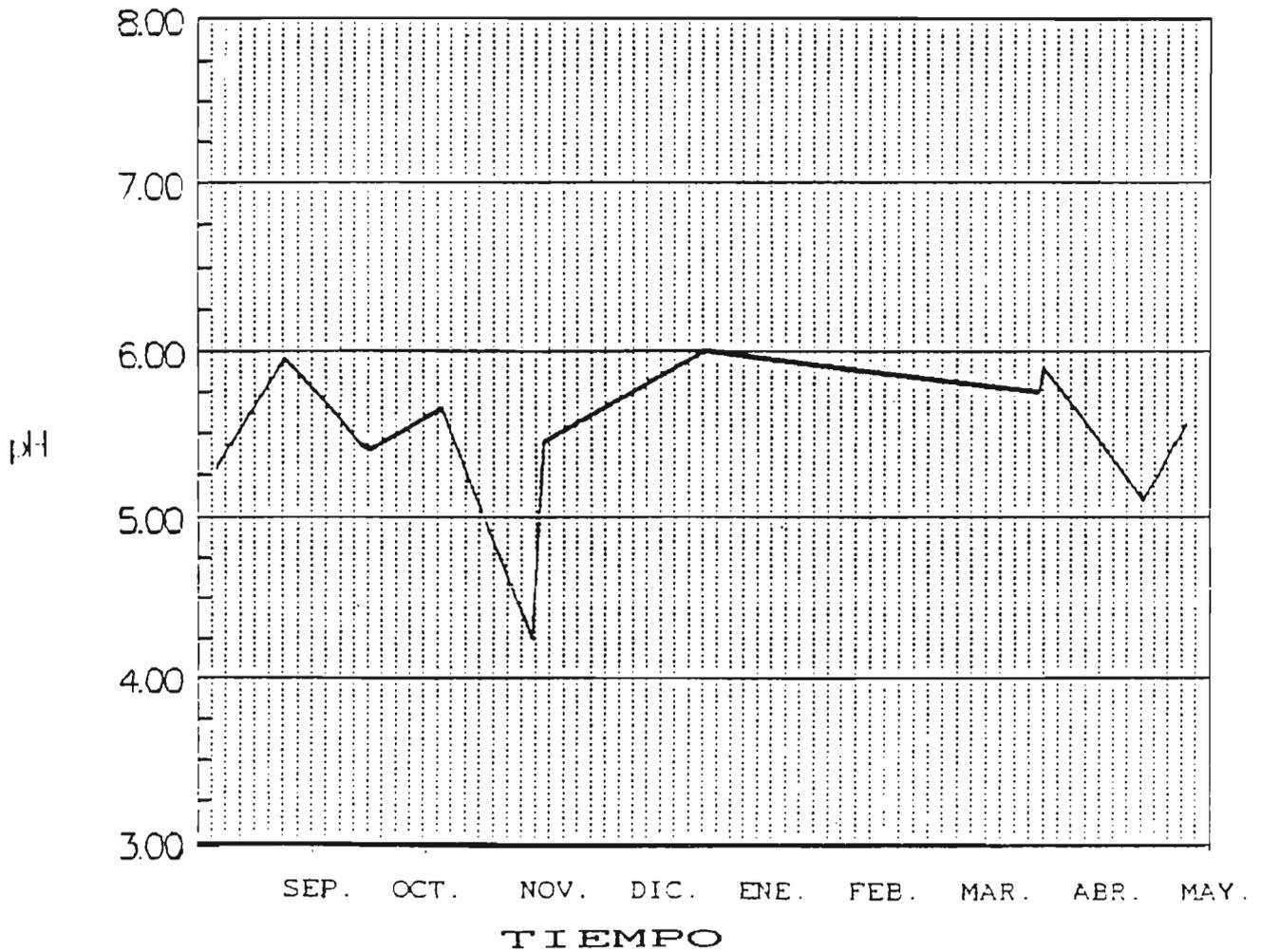


Fig.7.5 GRAFICA DE RESULTADOS DE pH OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5  
(CDAD. MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

7.2.2. SEGUNDO BLOQUE DE GRAFICOS  
SOLIDOS DISUELTOS VRS TIEMPO

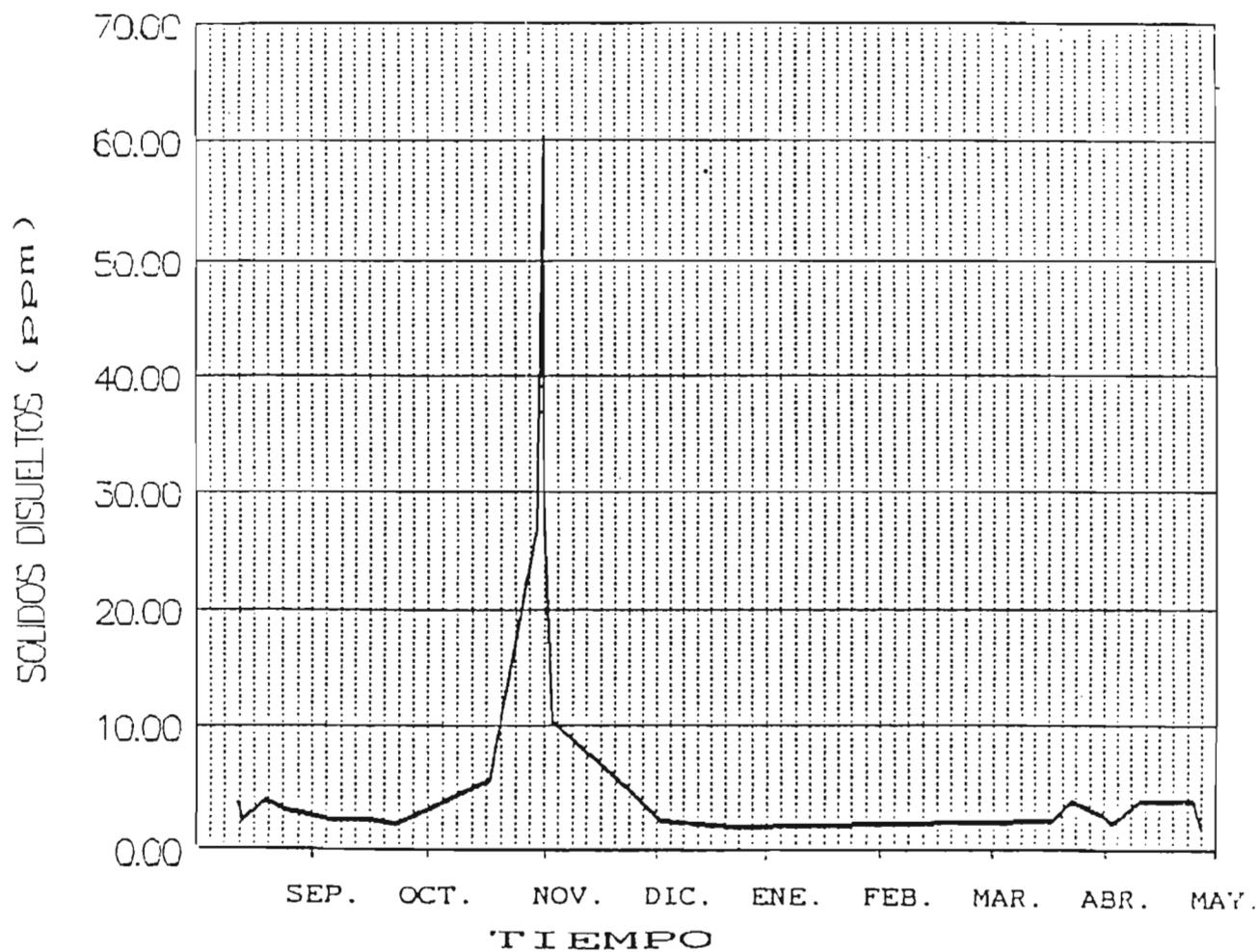


Fig.7.6 GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES-  
Treo P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991.

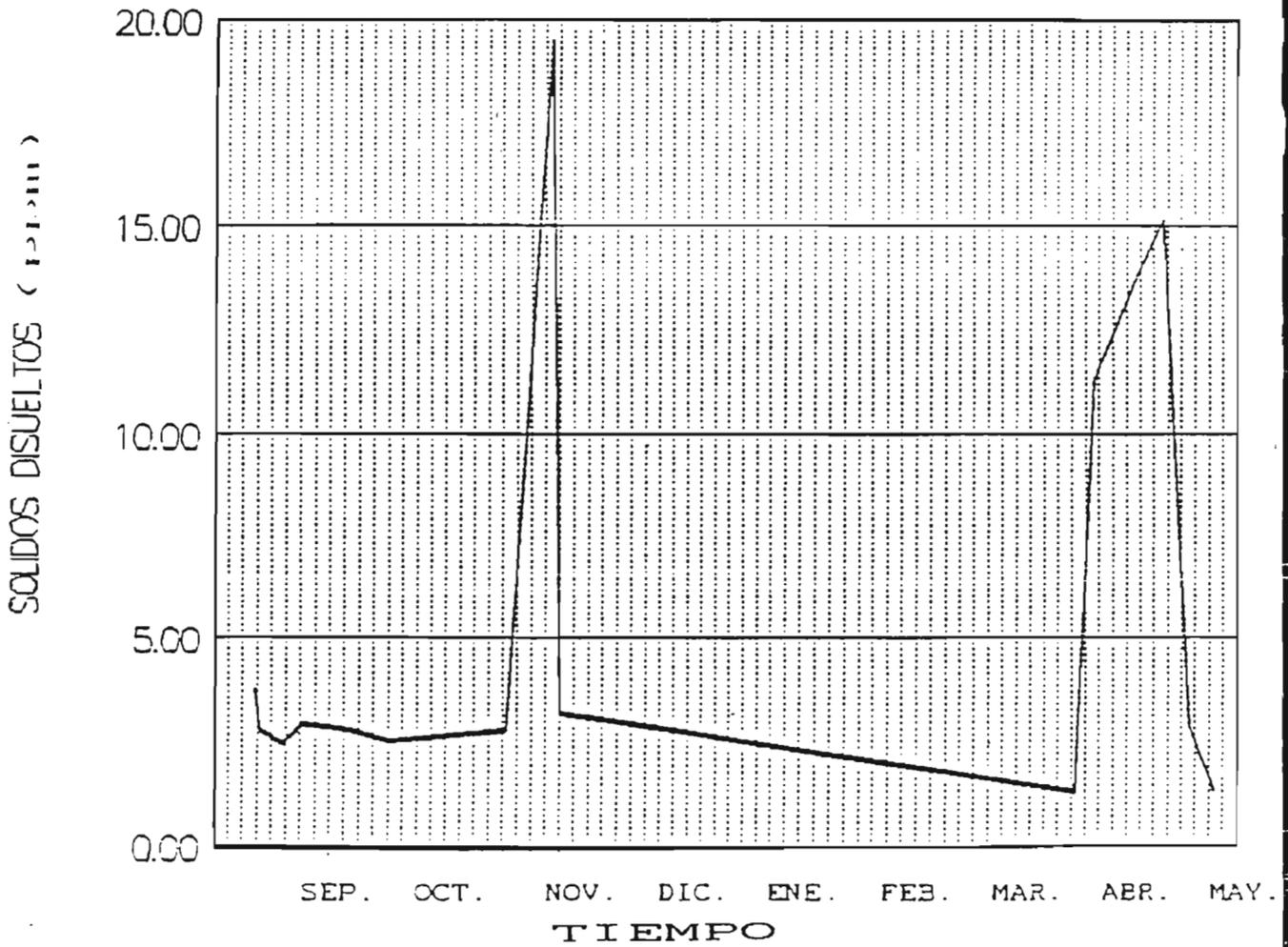


Fig.7.7 GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES-  
TREGO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

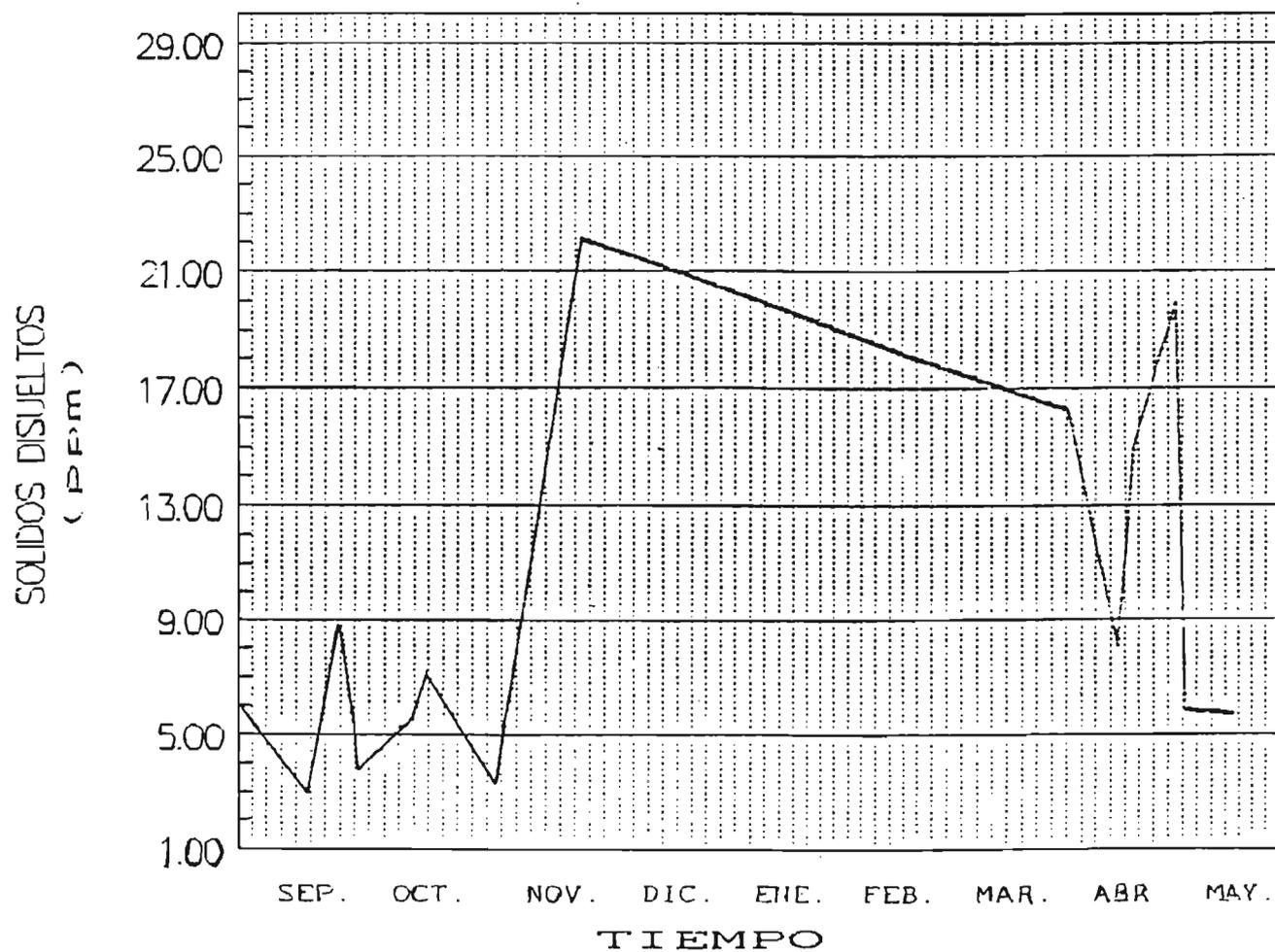


Fig.7.8 GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES\_  
TREGO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

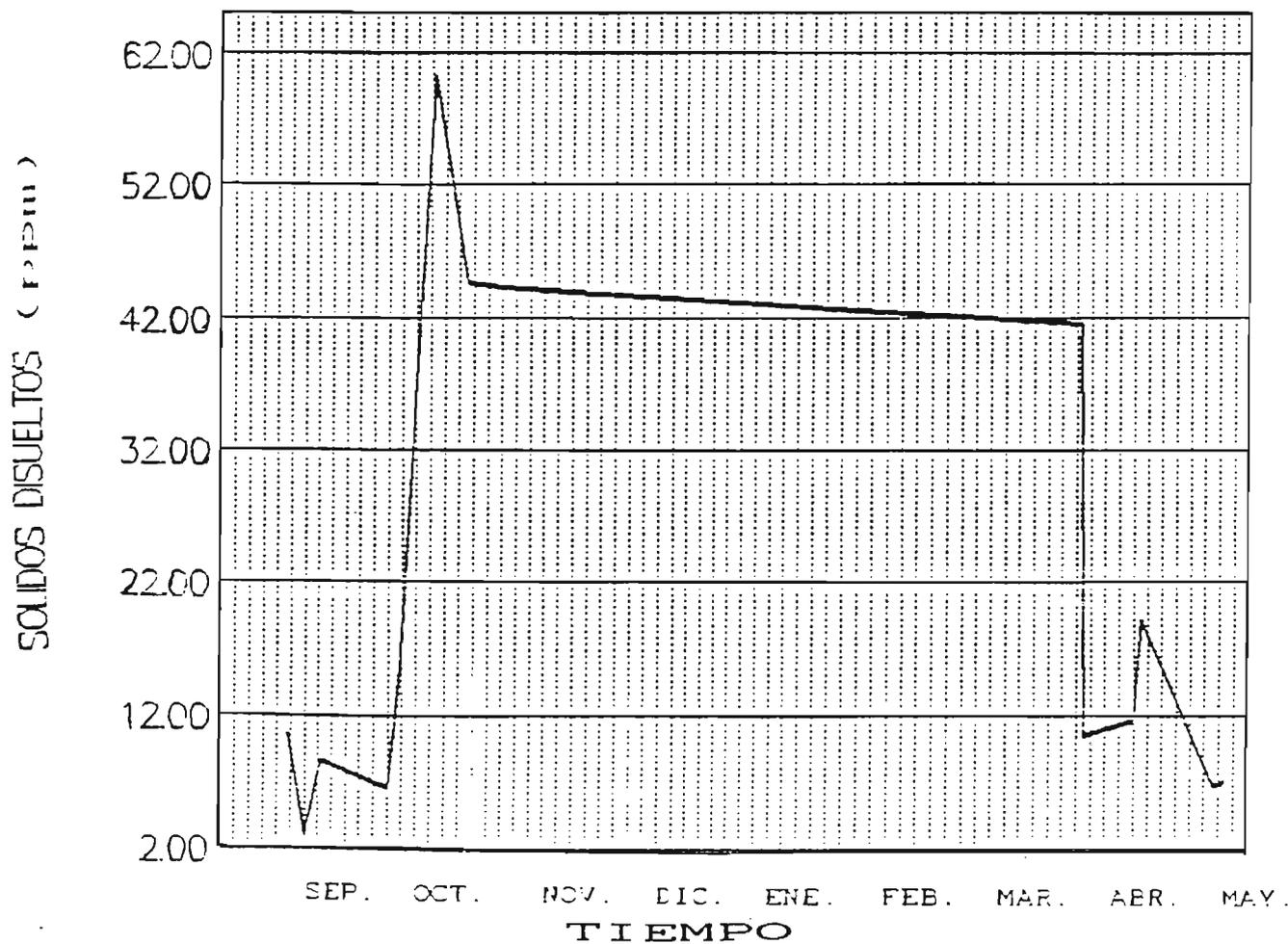


Fig.7.9 GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES-  
Treo P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

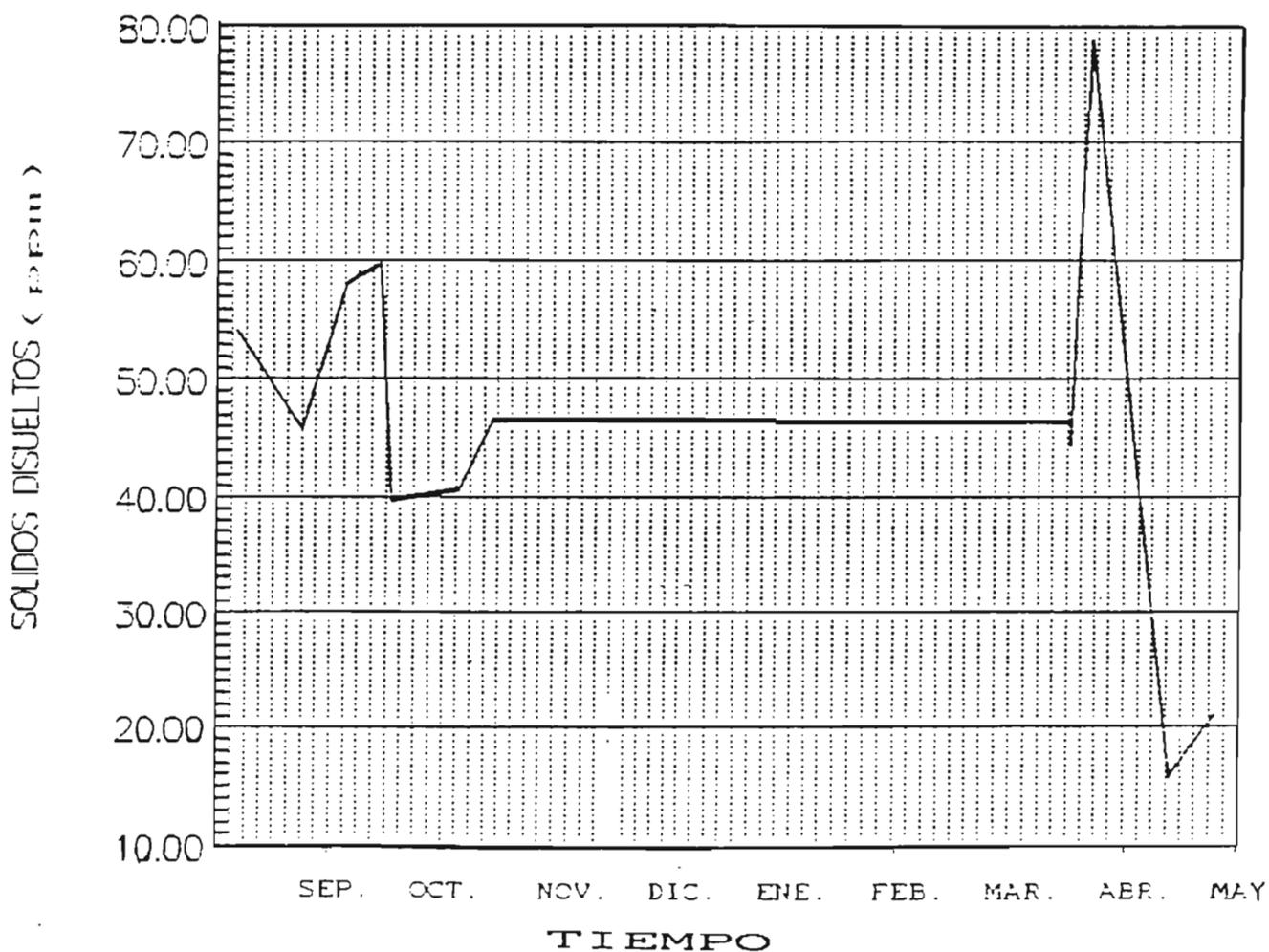


Fig.7.10 GRAFICA DE RESULTADOS SOLIDOS DISUELTOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUES-  
TREGO P-5 (CDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

7.2.3 TERCER BLOQUE DE GRAFICOS DIOXIDO  
DE CARBONO VRS TIEMPO

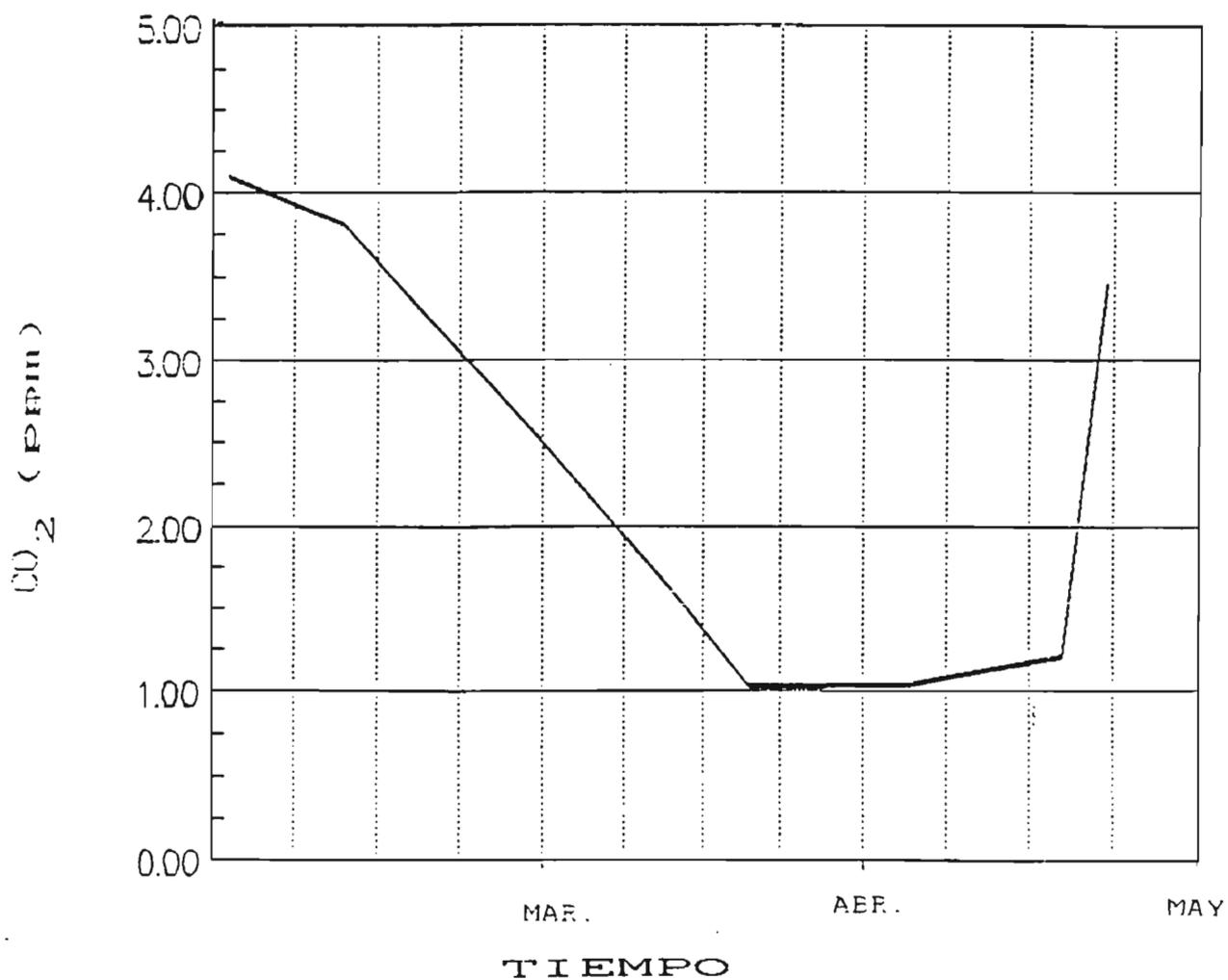


Fig.7.11 GRAFICA DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO).MARZO 1991-MAYO 1991

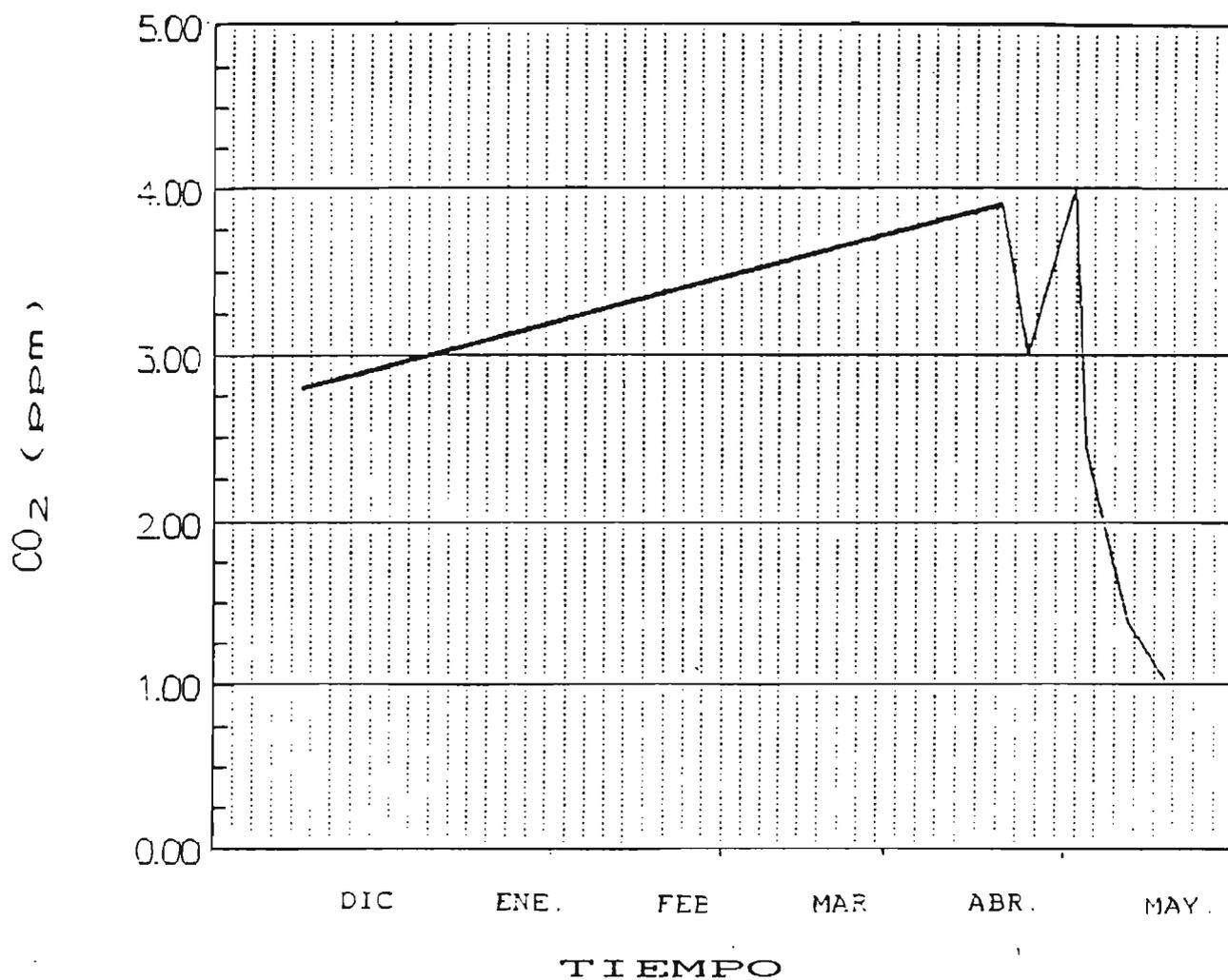


Fig.7.12 GRAFICA DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). DICIEMBRE 1990-MAYO 1991.

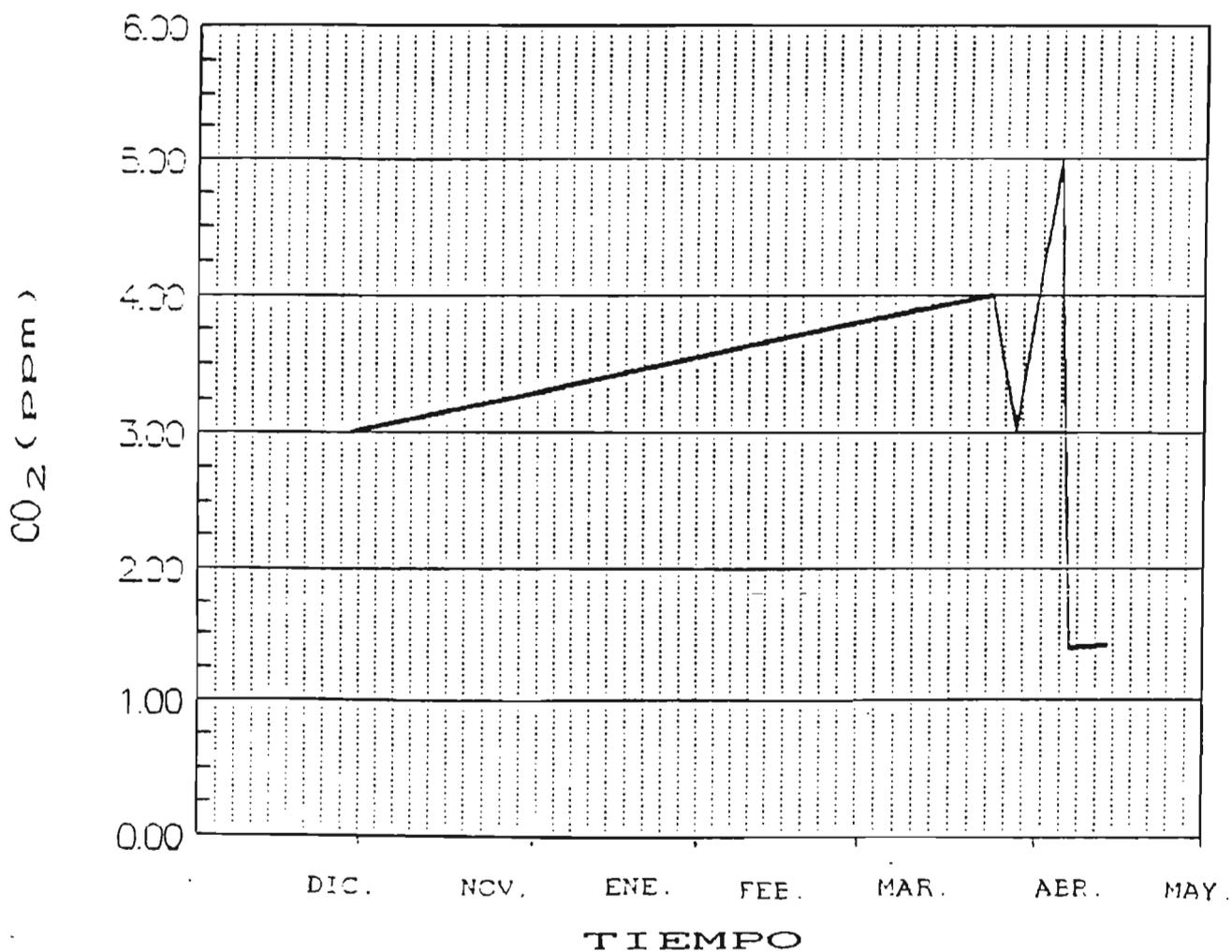


Fig.7.13 GRAFICA DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE-MUESTREO P-3 (ZACAMIL). DICIEMBRE 1990-MAYO 1991.

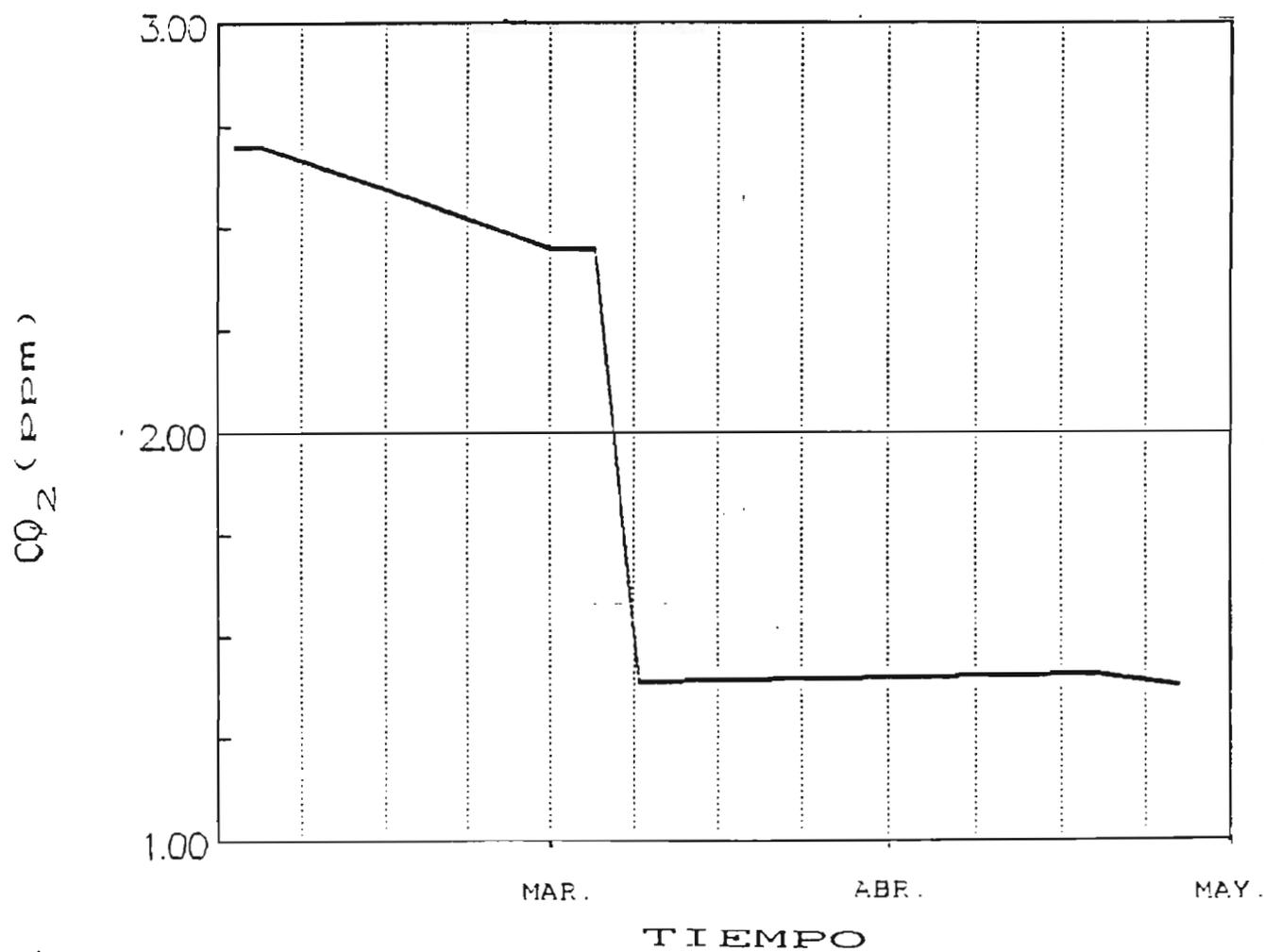


Fig.7.14 GRAFICA DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE-MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). MARZO 1991-MAYO 1991

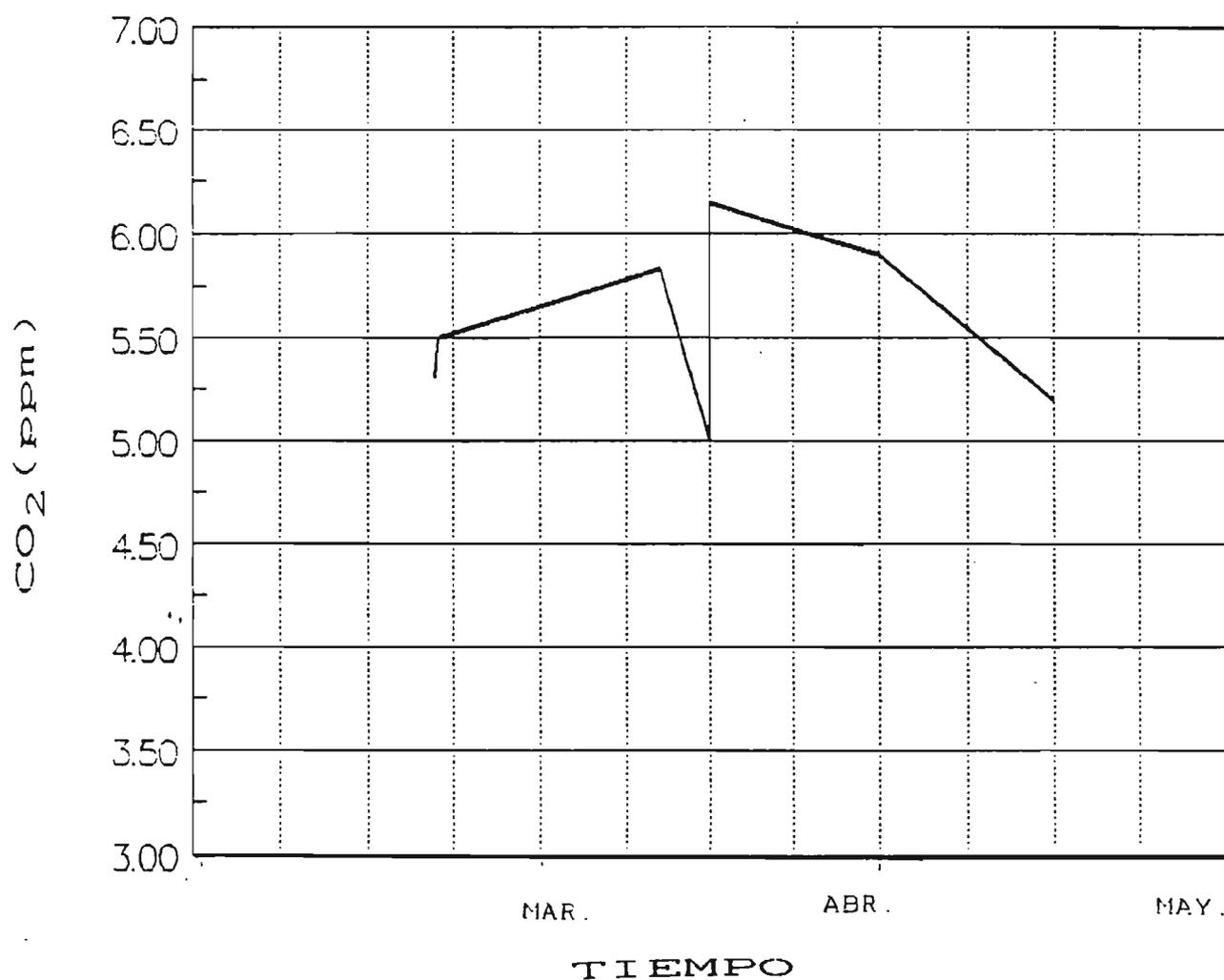


Fig.7.15 GRAFICA DE RESULTADOS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE-MUESTREO P-5 (CDAD. MERLIOT). MARZO 1991-MAYO 1991

7.2.4 CUARTO BLOQUE DE GRAFICOS  
SULFATOS VRS TIEMPO

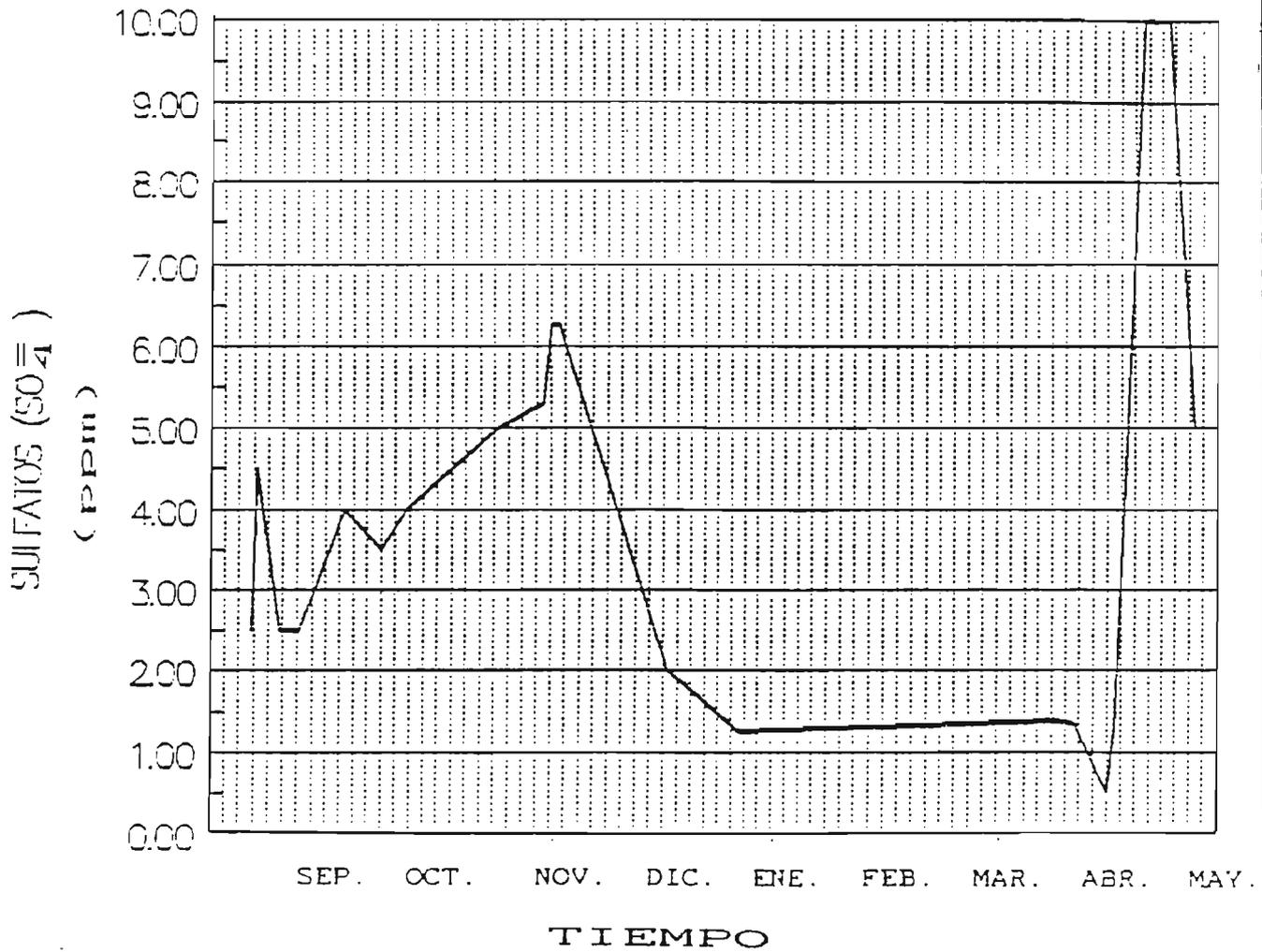


Fig.7.16 GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS  
 OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE  
 MUESTREO P-1 (SOYAPANGO).SEPTIEMBRE 1990 -  
 MAYO 1991

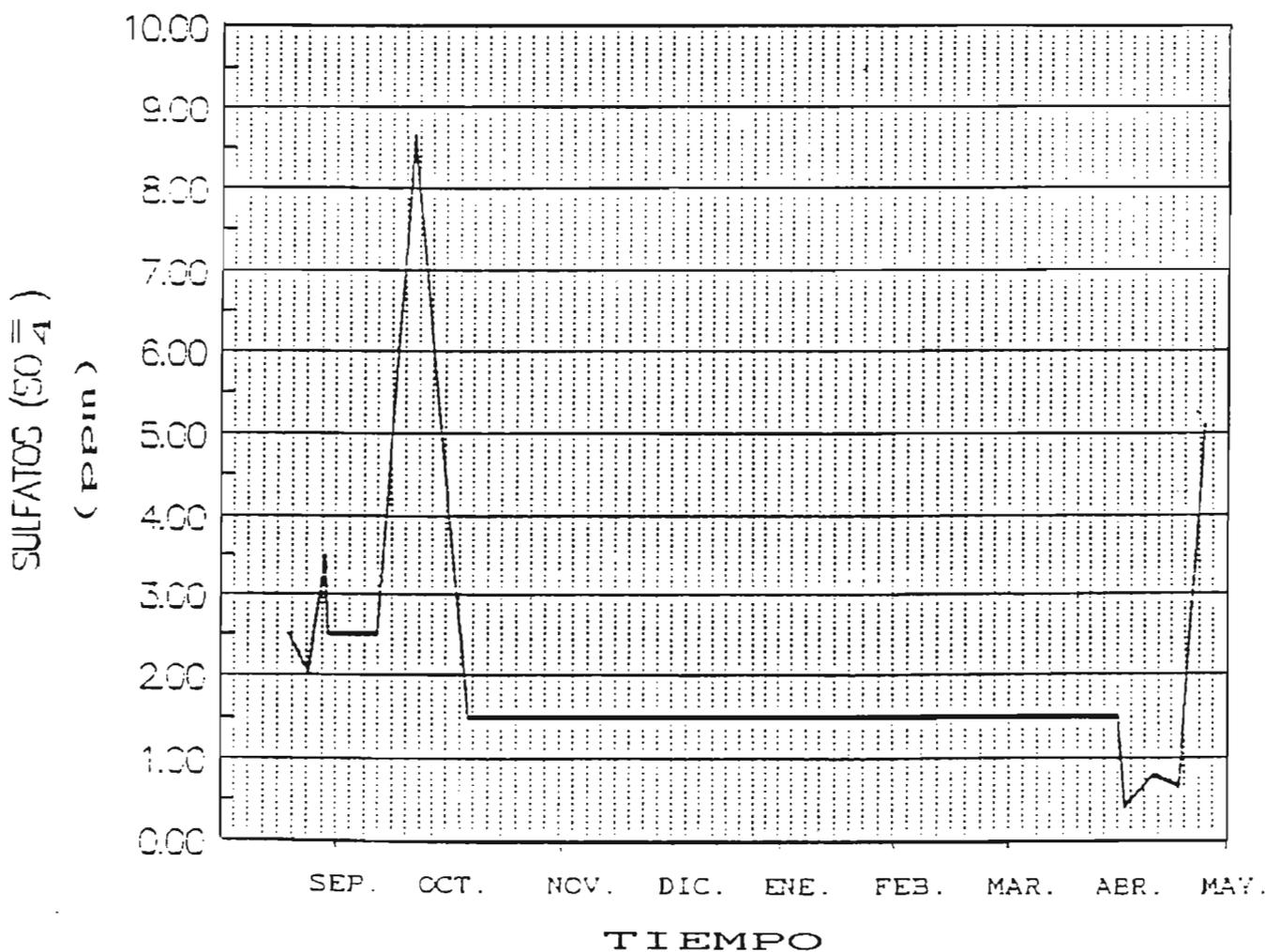


Fig.7.17 GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS  
 OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE  
 MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990 -  
 MAYO 1991.

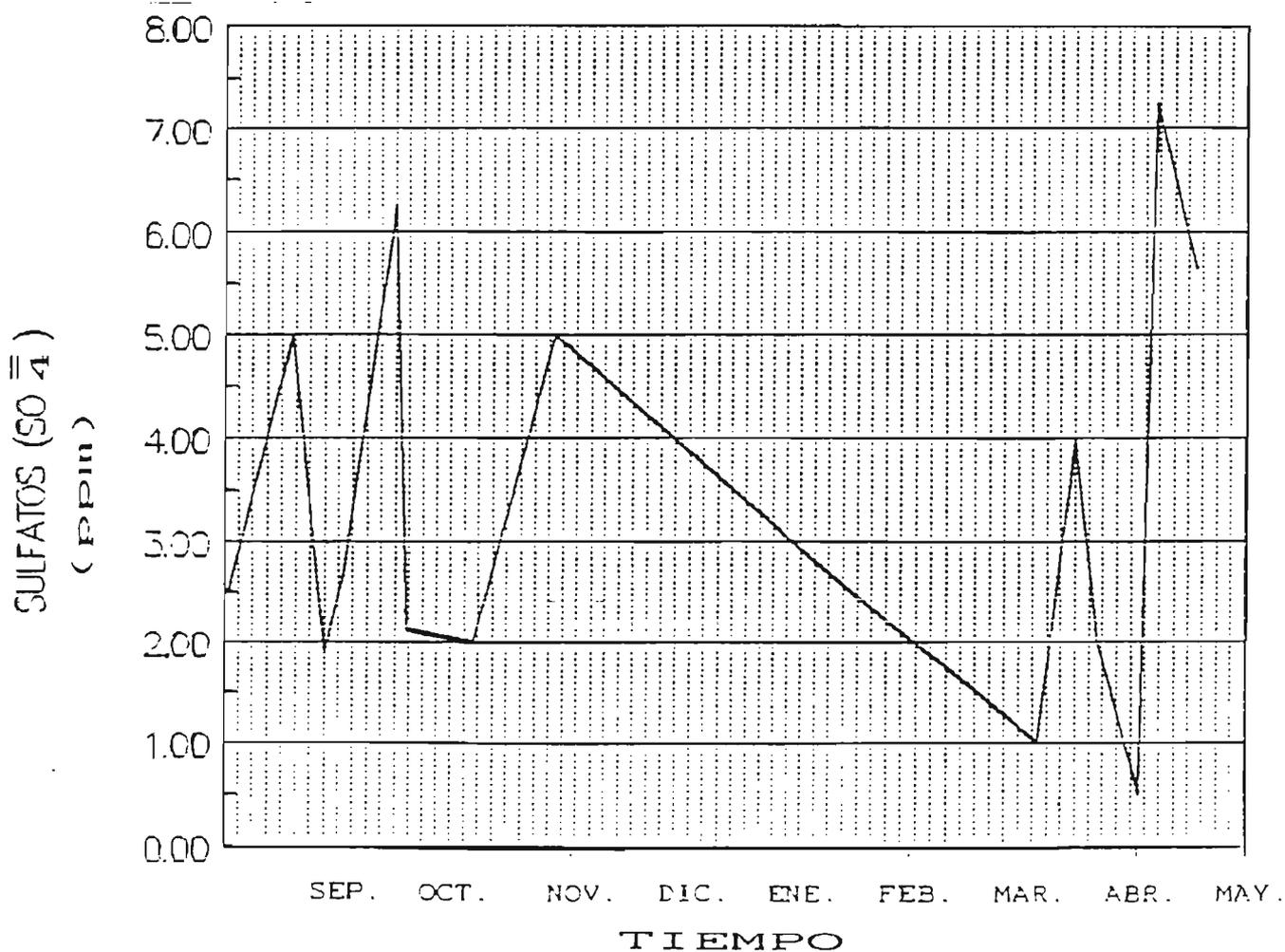


Fig.7.18 GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE  
MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990 -  
MAYO 1991.

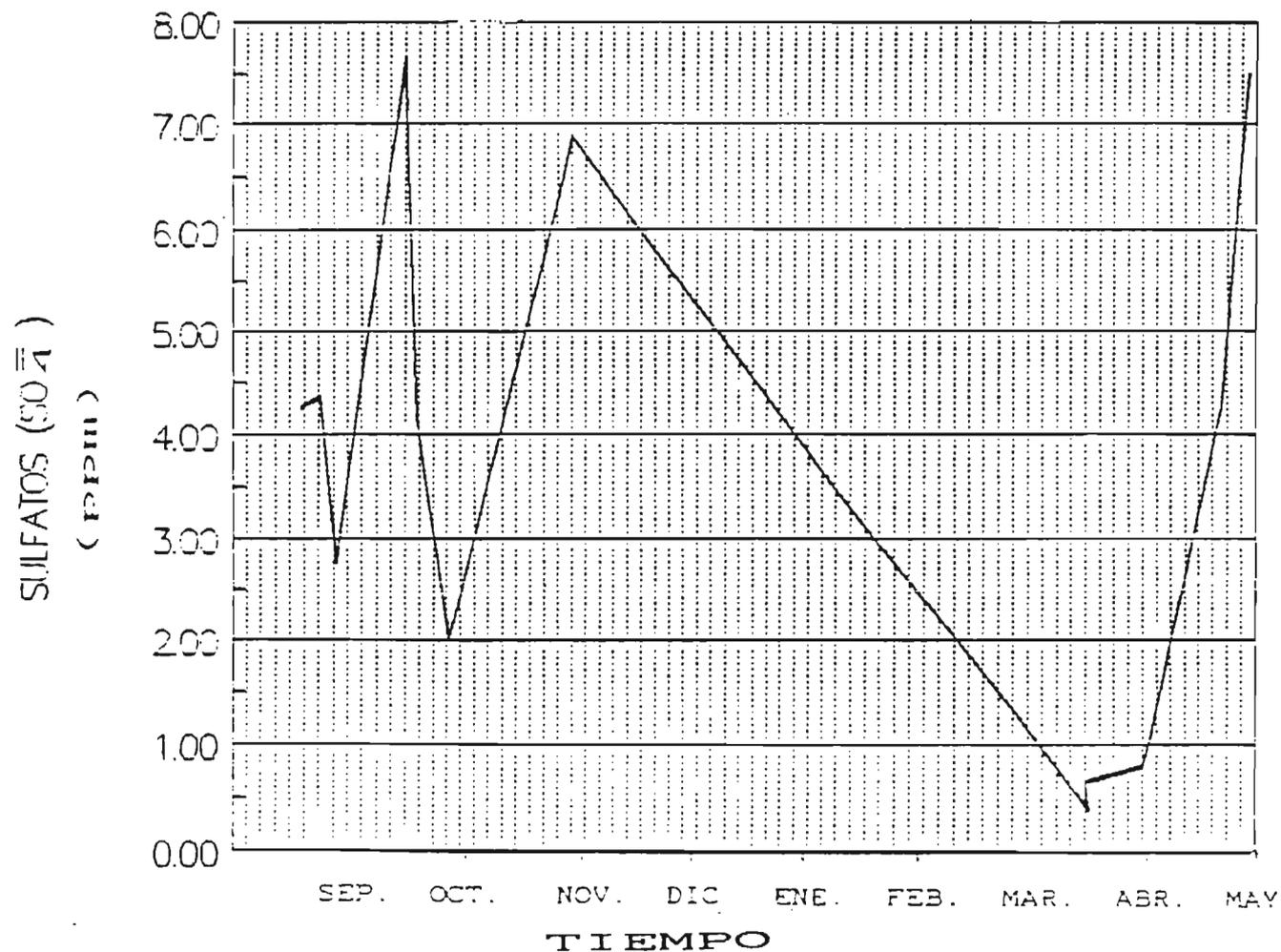


Fig.7.19 GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS  
OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE  
MUESTREO P-4 ( SAN JACINTO ). SEPTIEMBRE 1990  
MAYO 1991

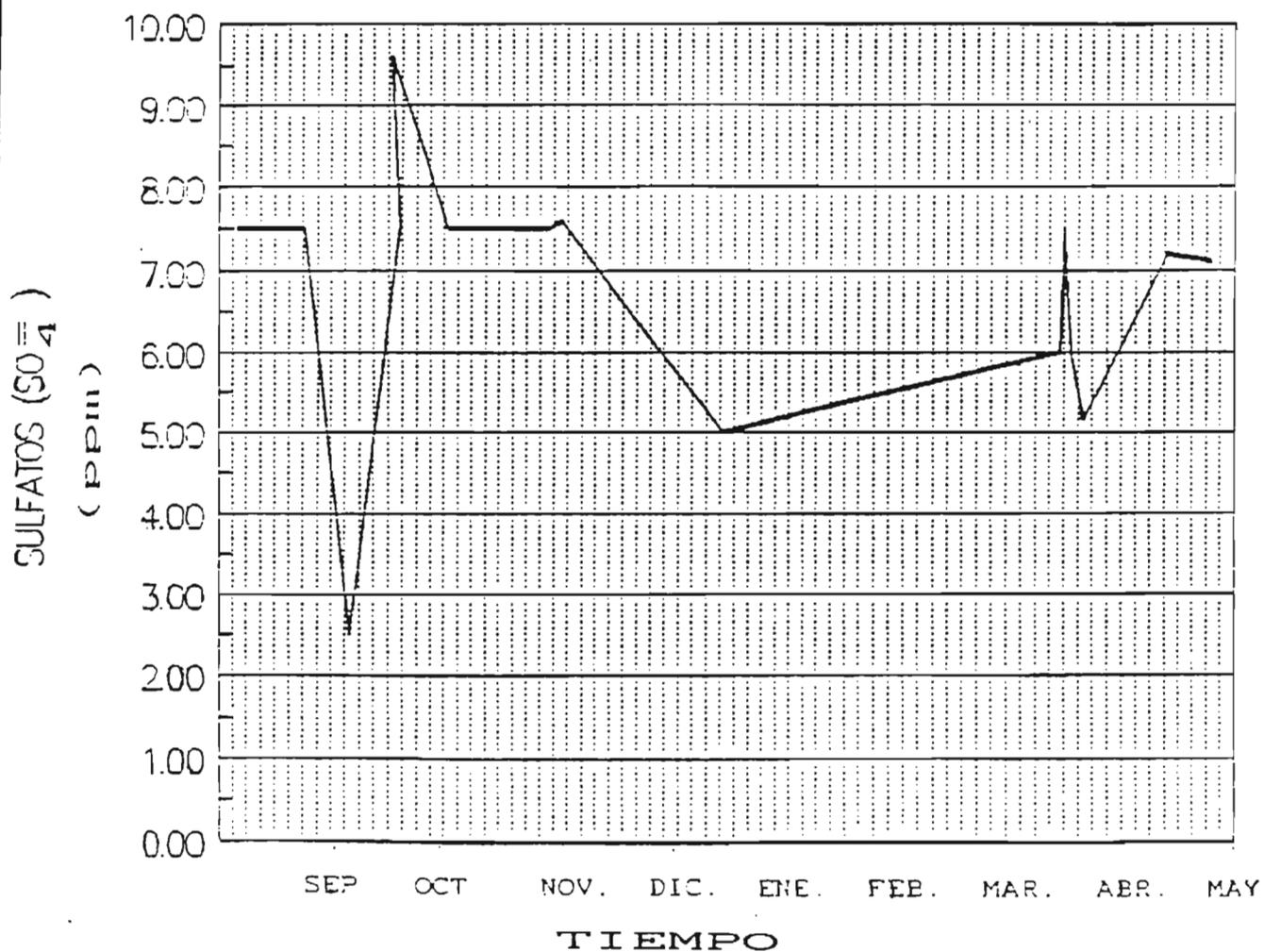


Fig. 7.20 GRAFICA DE RESULTADOS DE SULFATOS  
 OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE  
 MUESTREO P-5 (CDAD. MERLIOT).SEPTIEMBRE 1990  
 MAYO 1991.

7.2.5 QUINTO BLOQUE DE GRAFICOS  
NITRATO VRS TIEMPO

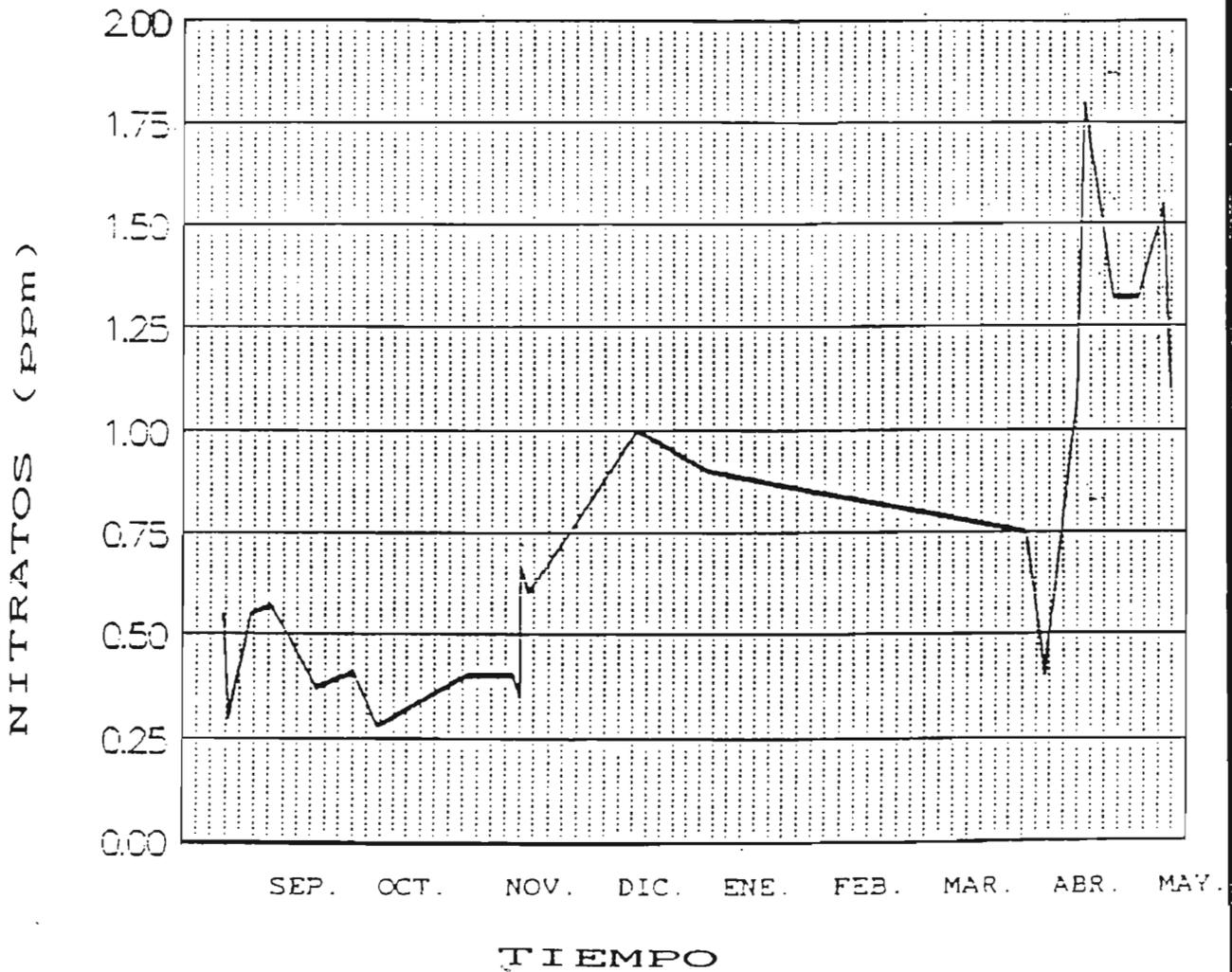


Fig.7.21 GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

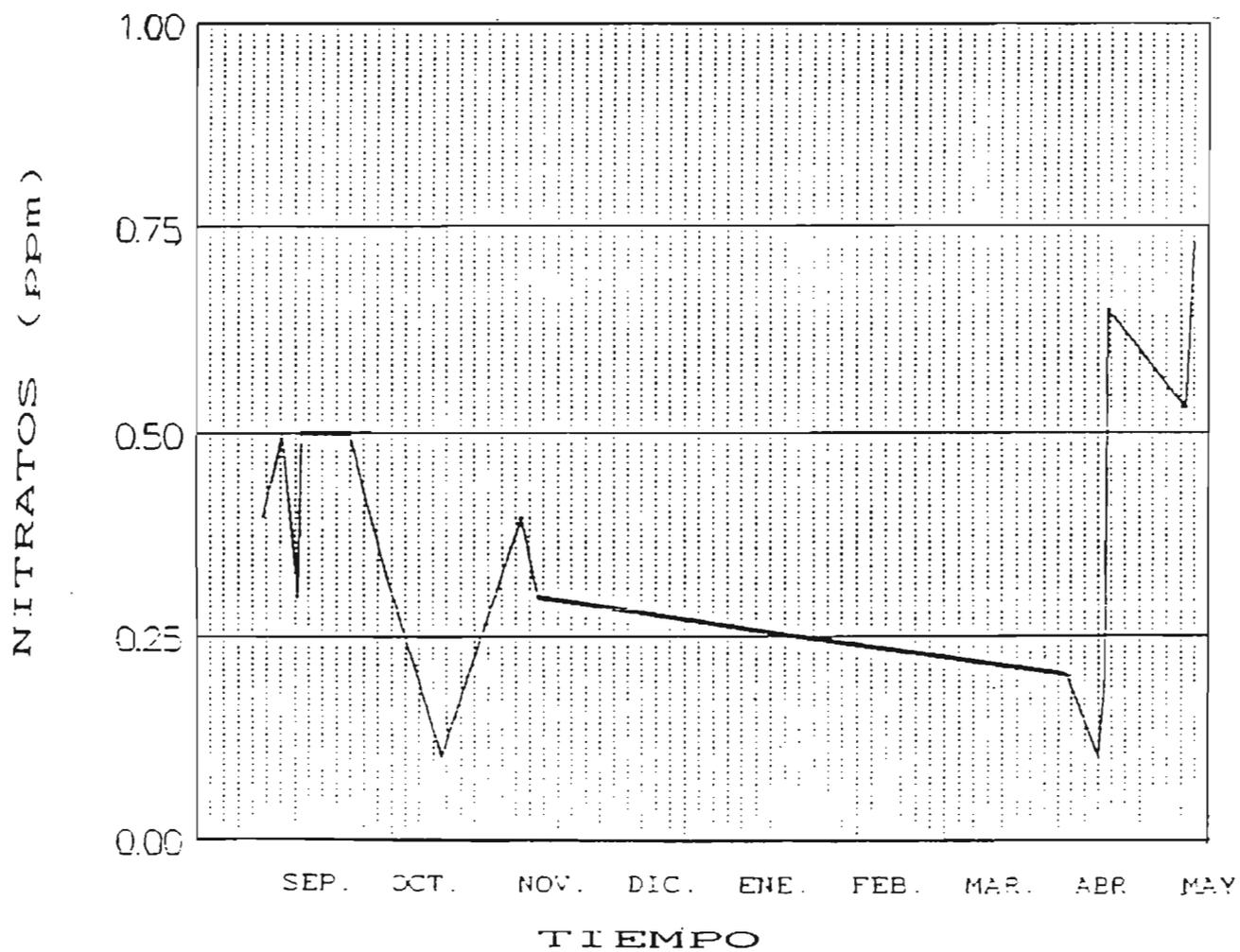


Fig.7.22 GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

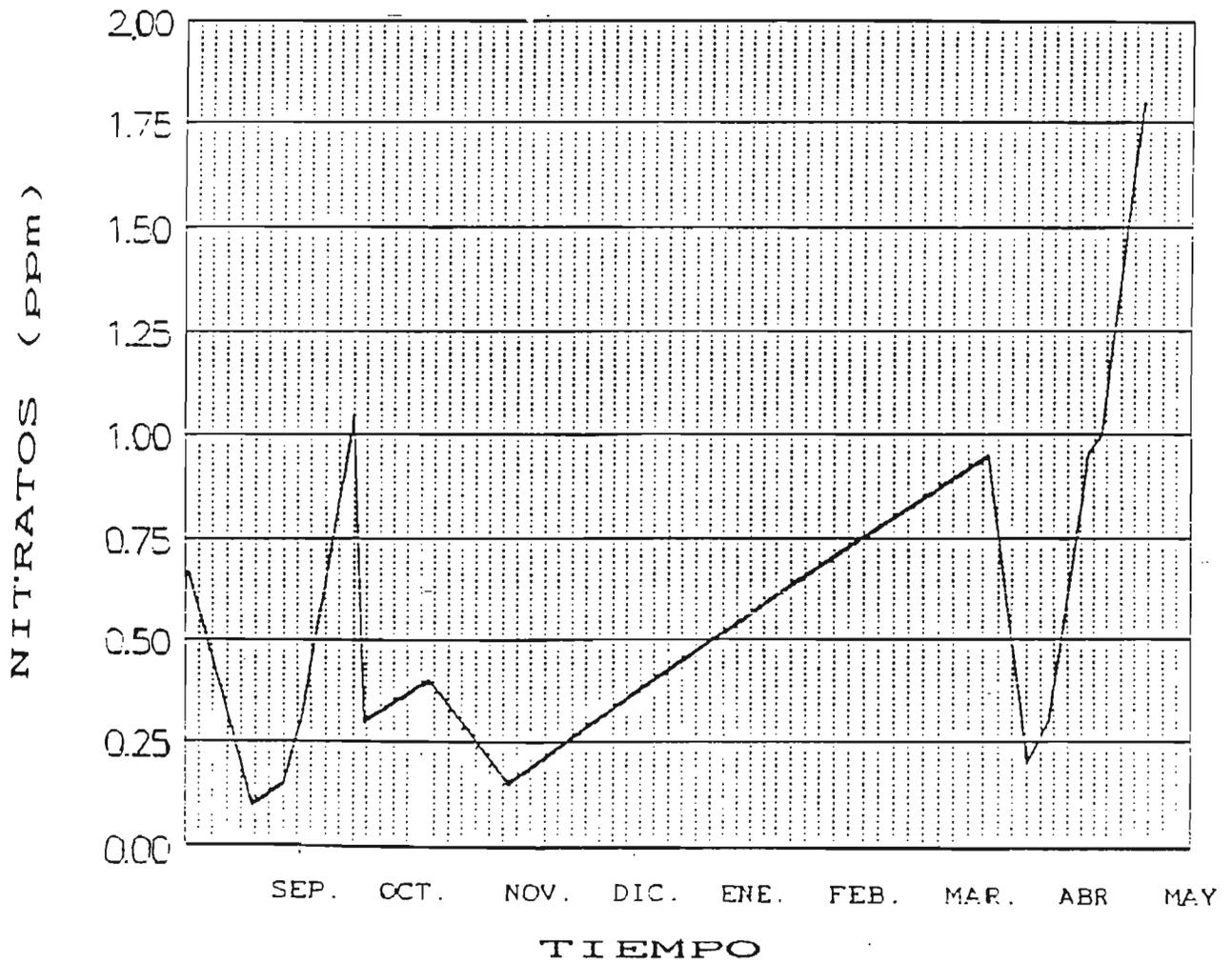


Fig. 7.23 GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

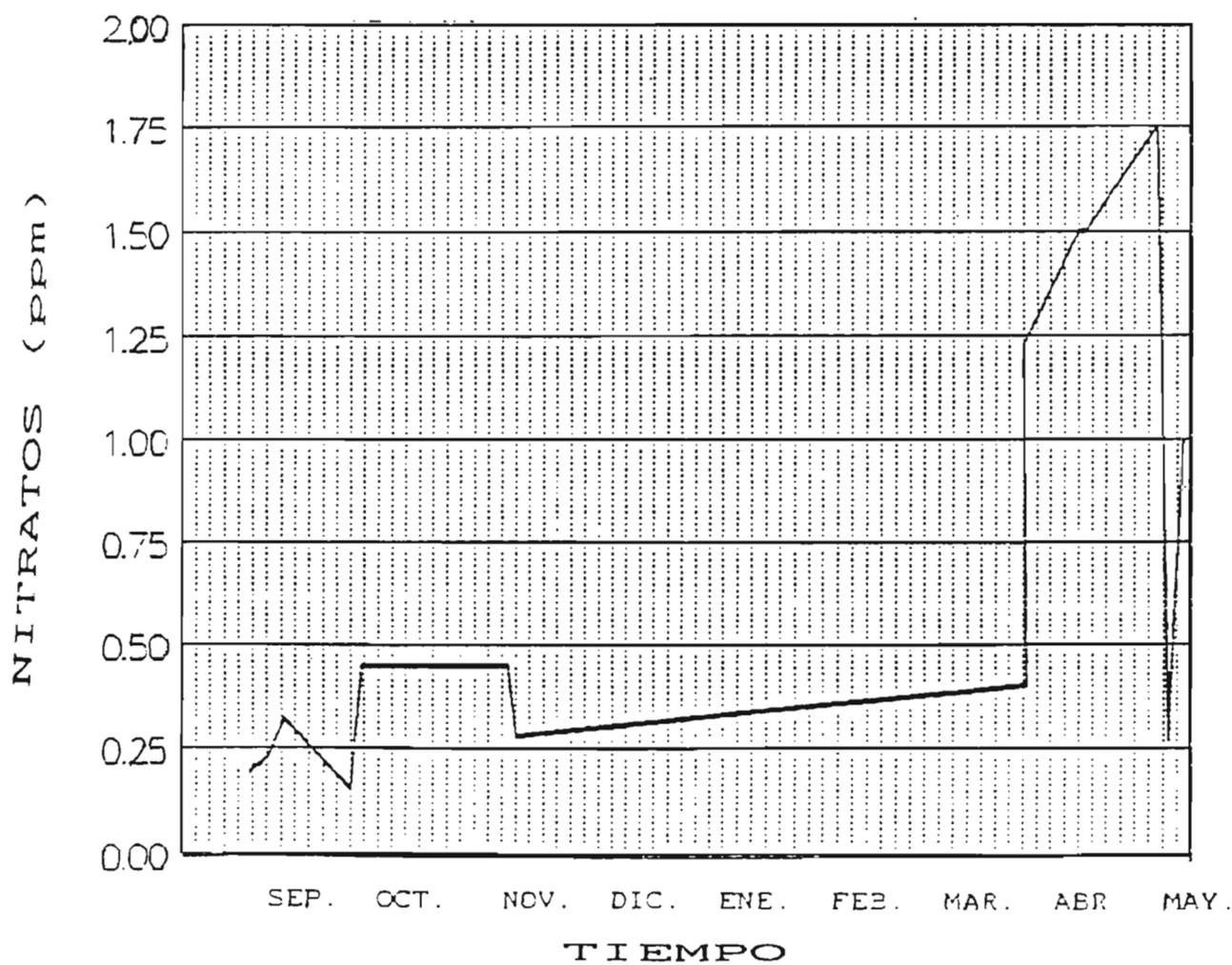


Fig.7.24 GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO).SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

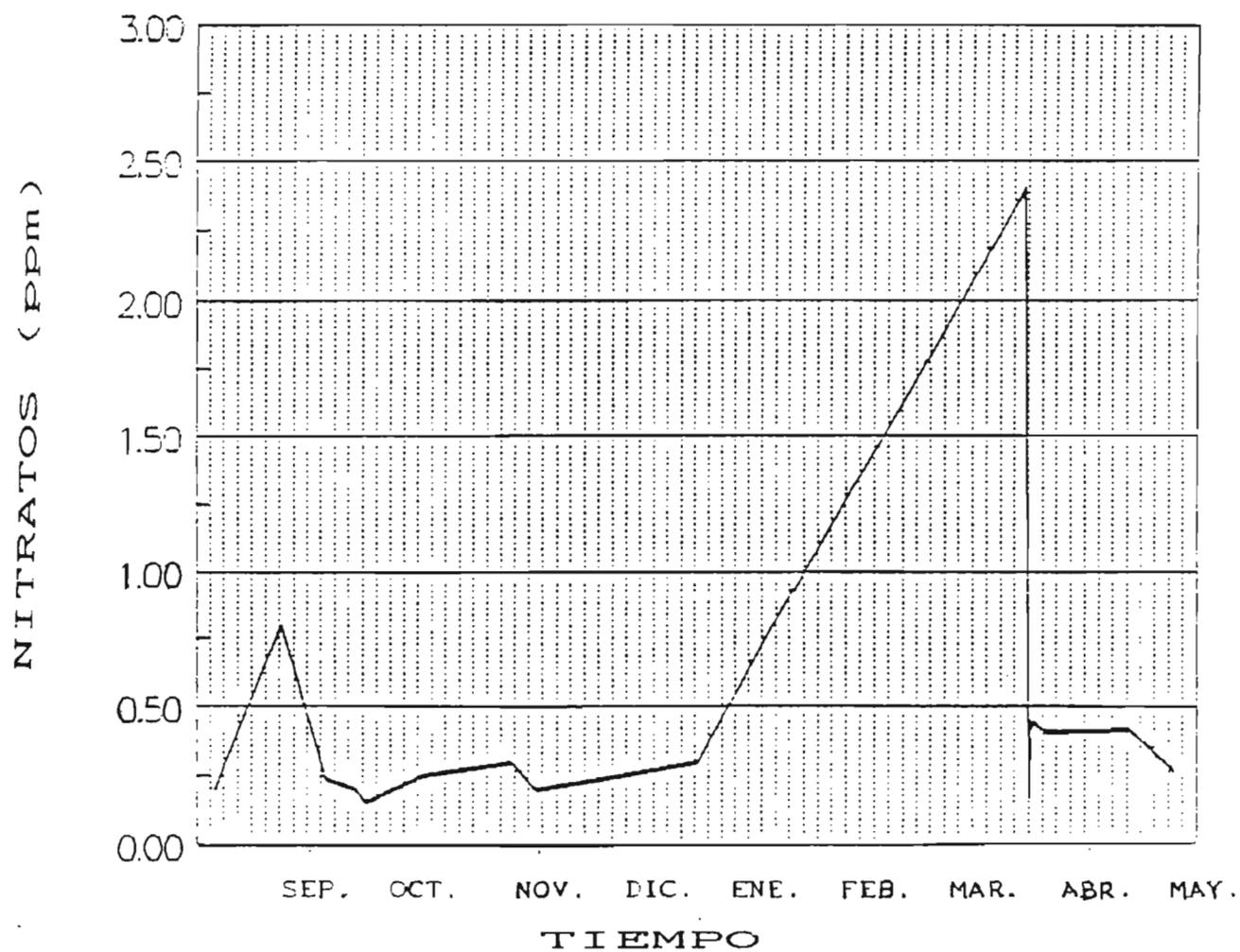


Fig.7.25 GRAFICA DE RESULTADOS DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CDAD. MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

### 7.3 PRESENTACION GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS VARIABLE EN AGUA LLUVIA, PARA LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y SUS ALREDEDORES

Nuevamente en esta sección se clasifican los gráficos por bloques, lo que se pretende es mostrar la incidencia que cada variable pueda presentar en la disminución del pH en el agua lluvia.

Primer bloque:

- pH VRS Sólido disueltos. Se muestran en forma local para los cinco puntos de muestreo

Segundo bloque:

- pH VRS Dióxido de Carbono. Se presentan en forma local para los cinco puntos de muestreo

Tercer bloque:

- pH VRS Nitrato. Se muestra en forma local para los cinco puntos de muestreo

Cuarto bloque:

- pH VRS Sulfato. Se presentan en forma local para los cinco puntos de muestreo

7.3.1 PRIMER BLOQUE DE GRAFICOS  
PH VRS SOLIDOS DISUELTOS

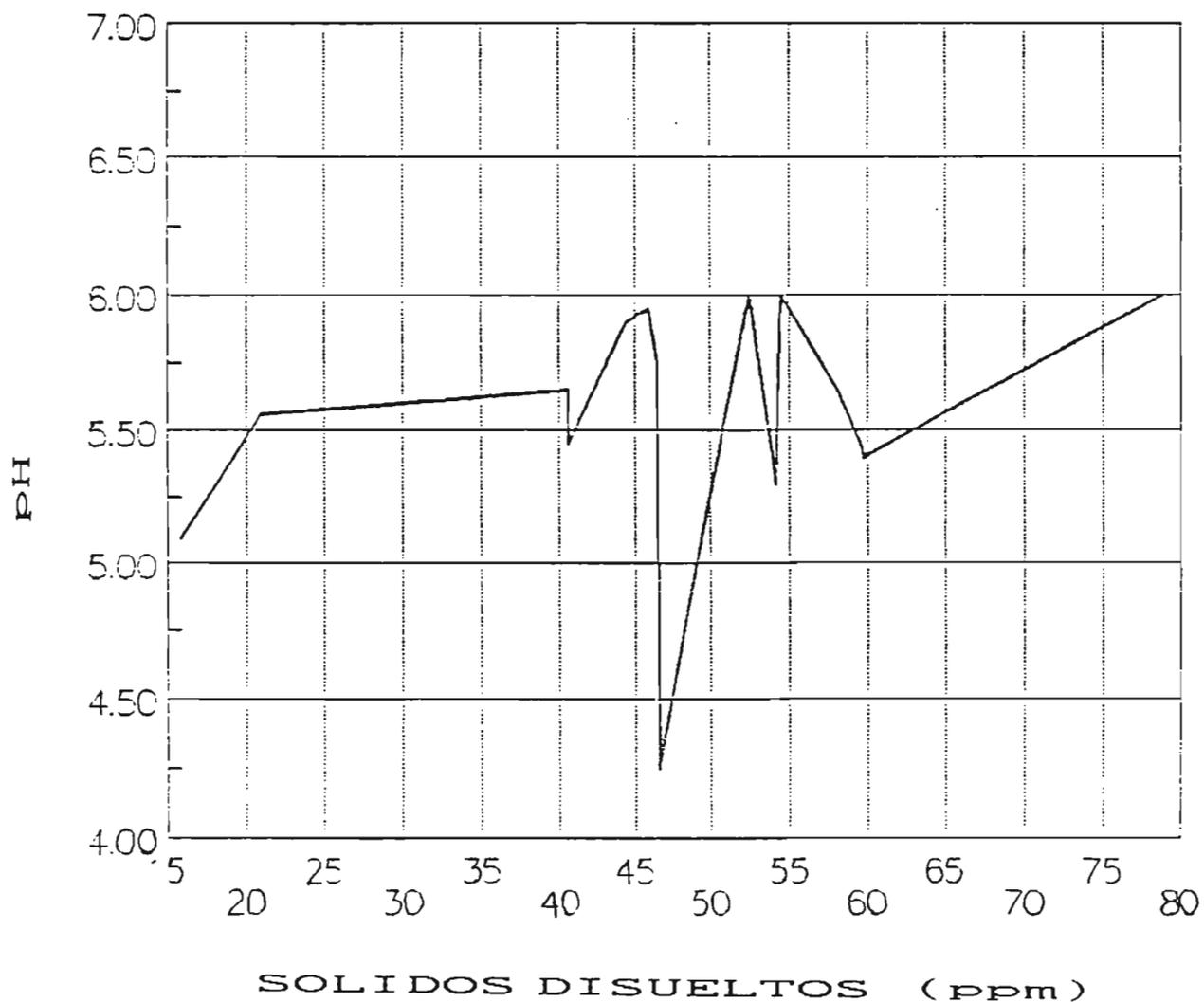


Fig. 7.26 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

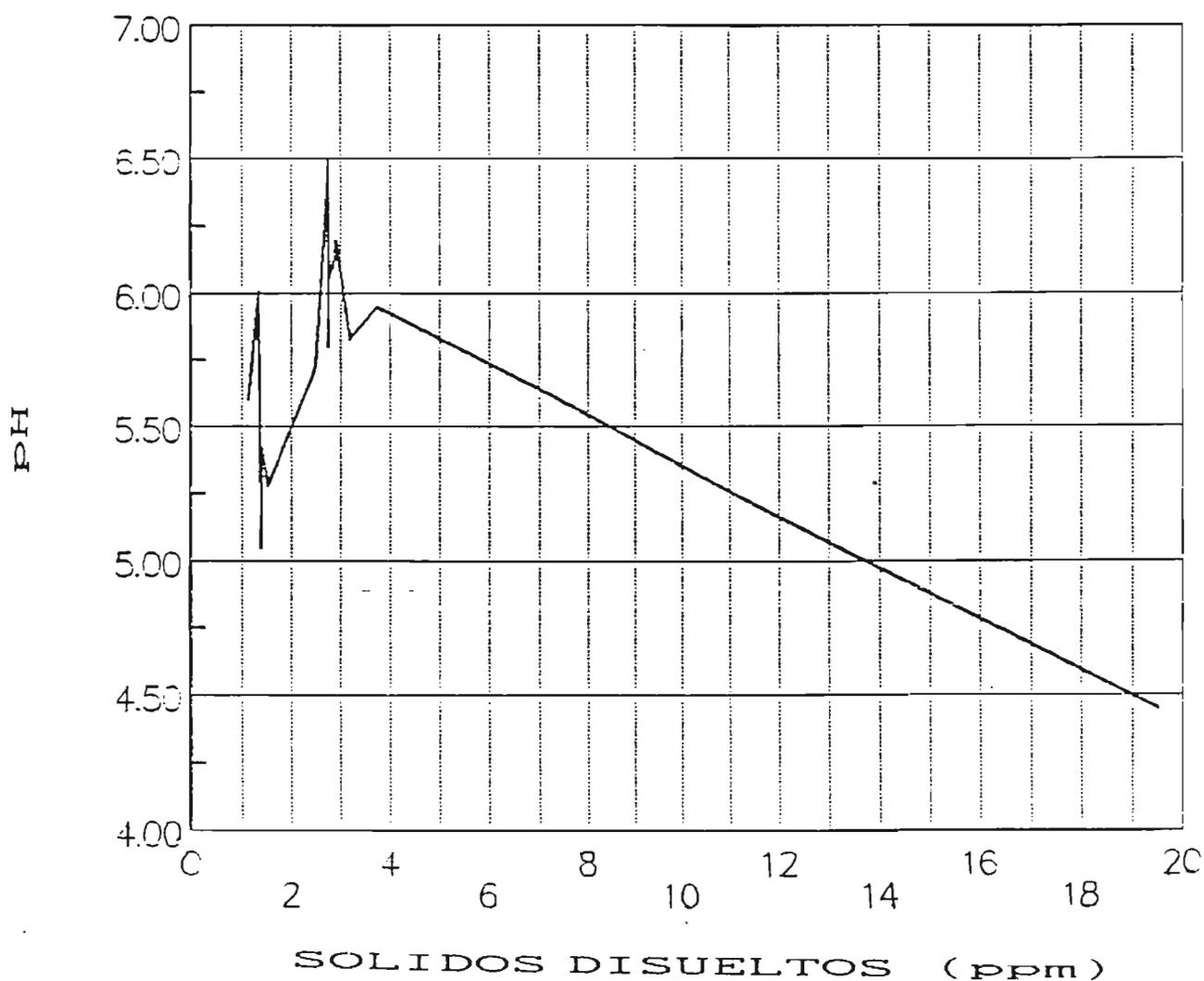


Fig.7.27 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES). SEPTIEMBRE 1990-MAYO '1991.

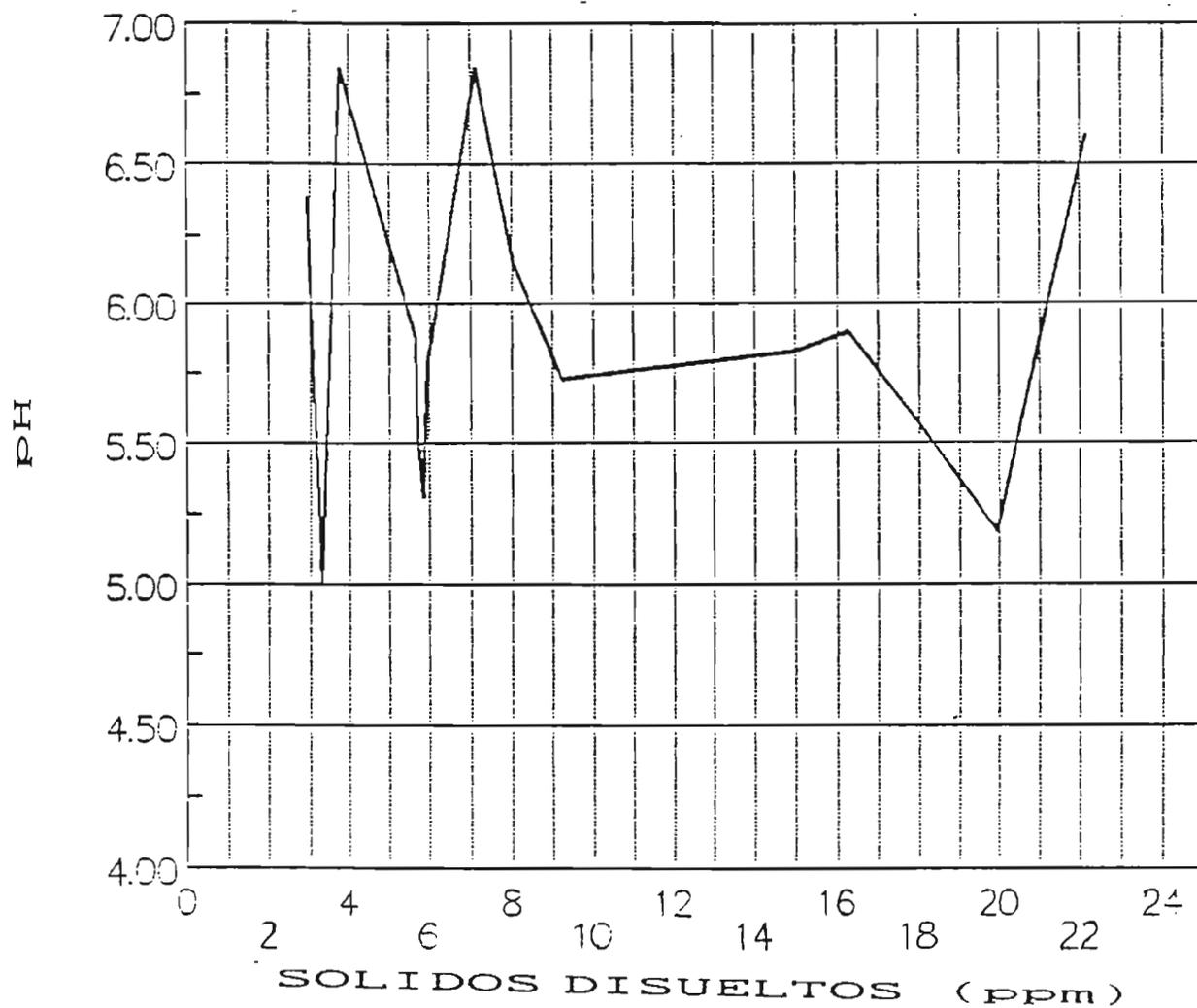


Fig. 7.28 GRAFICA DE RESULTADOS pH vrs SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

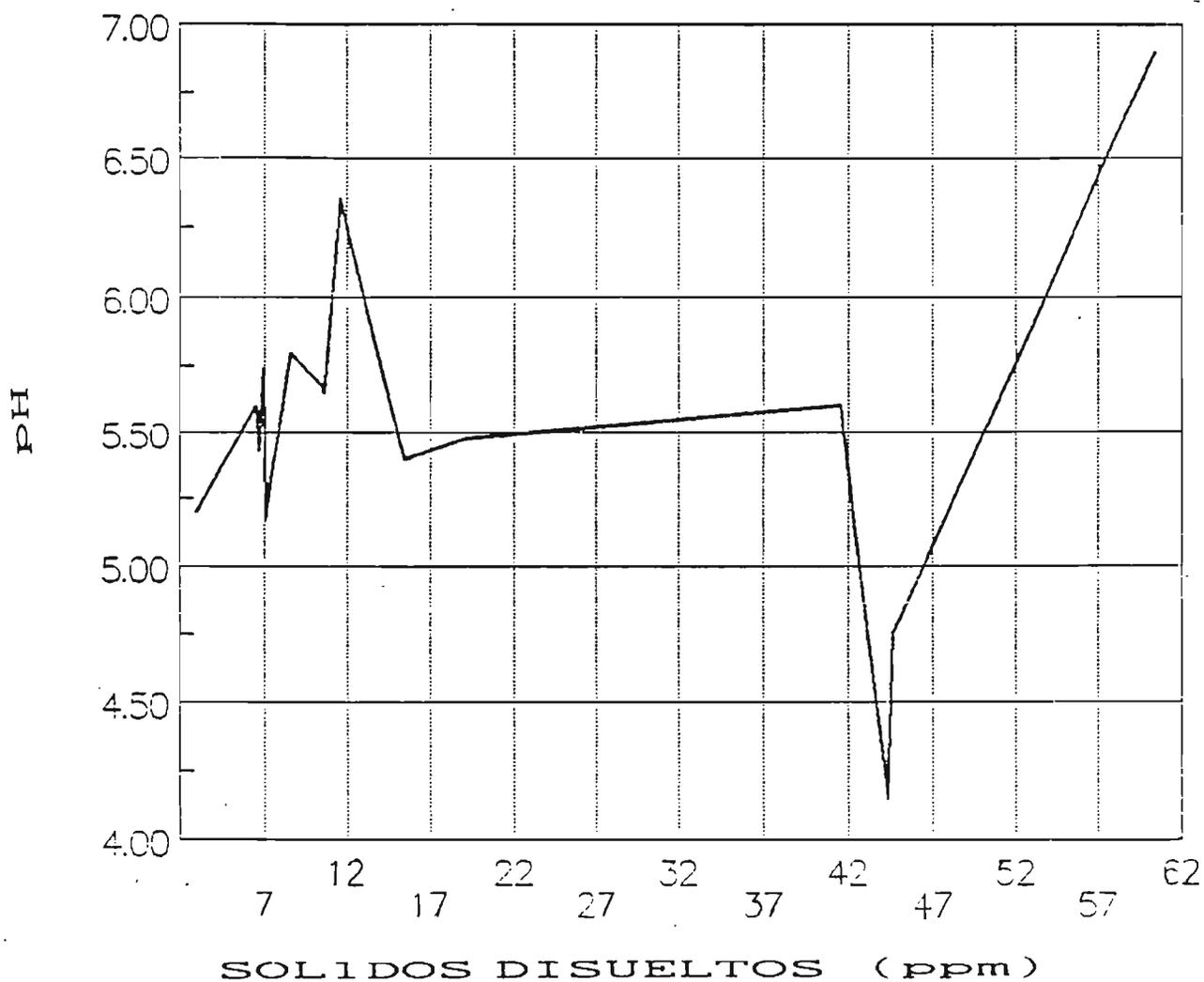


Fig.7.29 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

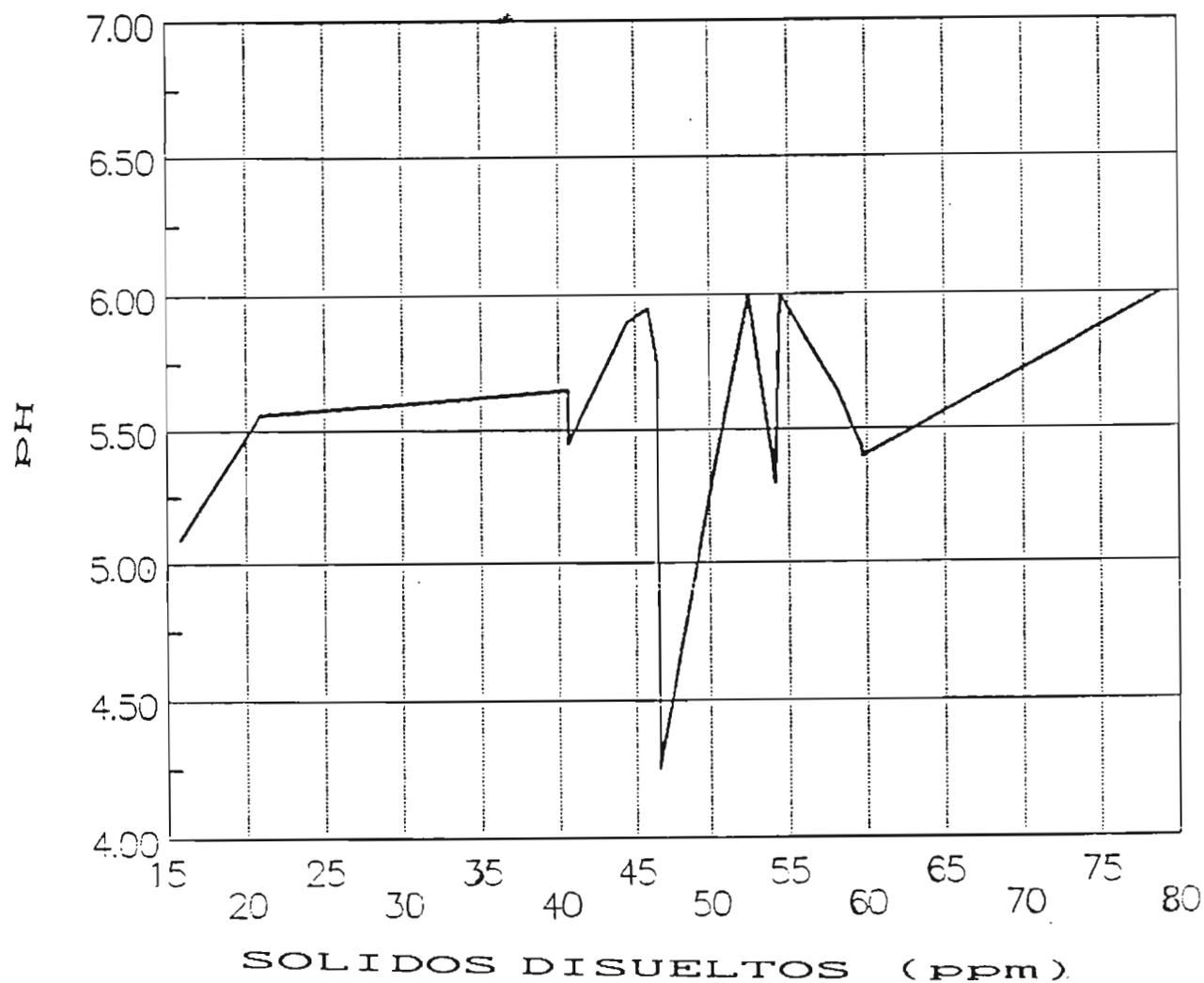
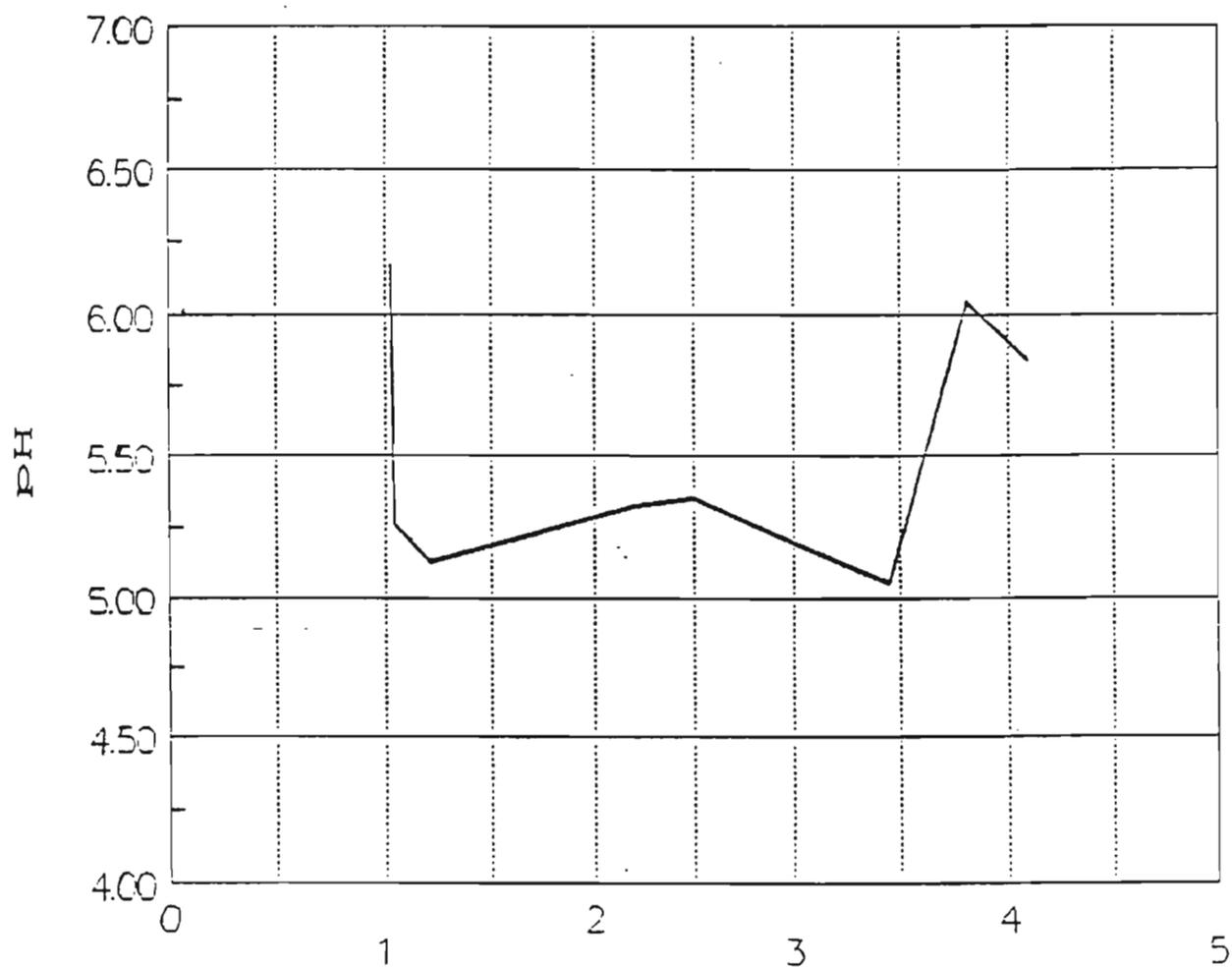


Fig.7.30 GRAFICA DE RESULTADOS pH vrs SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CDAD MERLIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

7.3.2 SEGUNDO BLOQUE DE GRAFICOS  
pH VRS DIOXIDO DE CARBONO



DIOXIDO DE CARBONO (ppm)

Fig.7.31 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO).MARZO 1991-MAYO 1991.

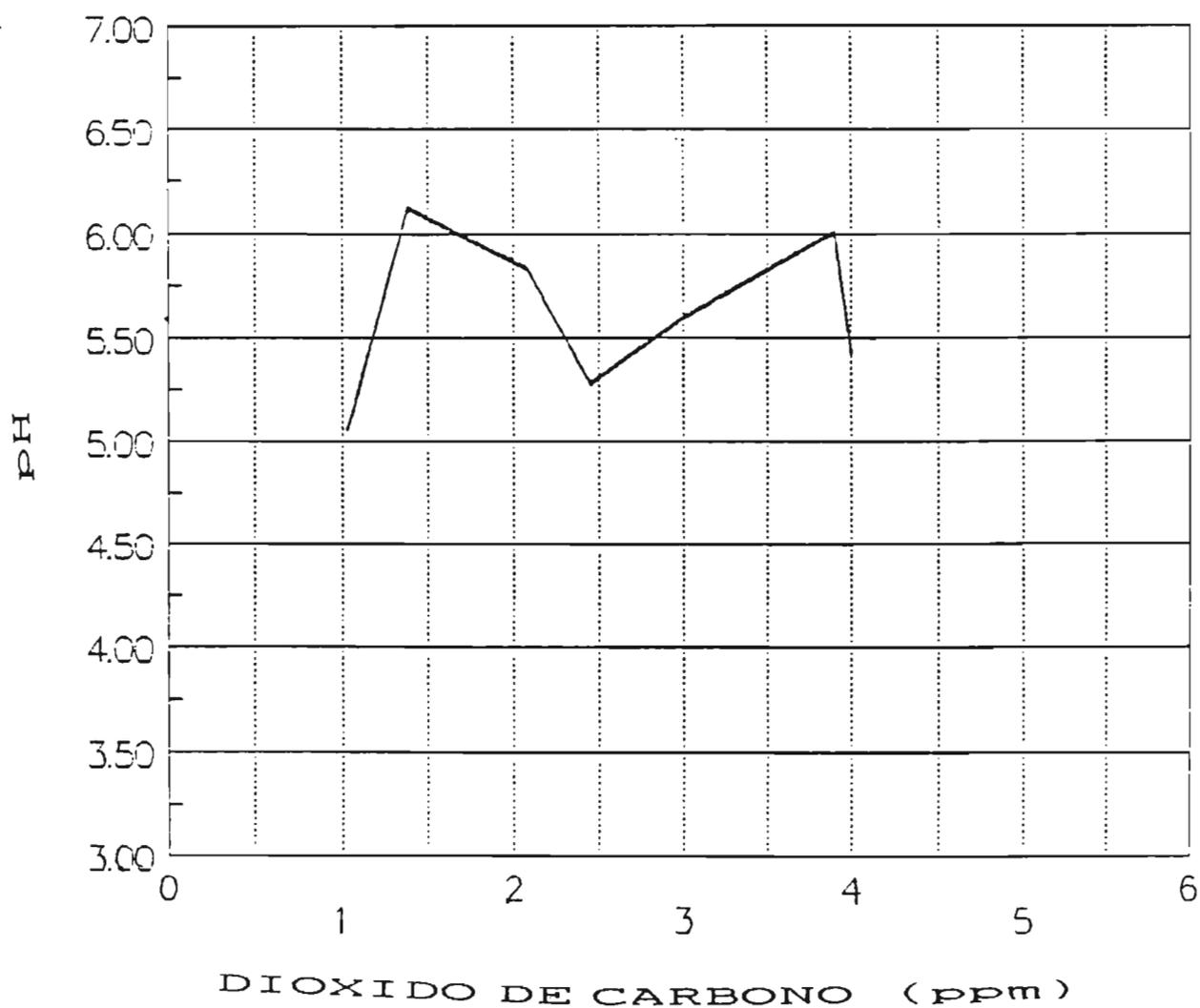
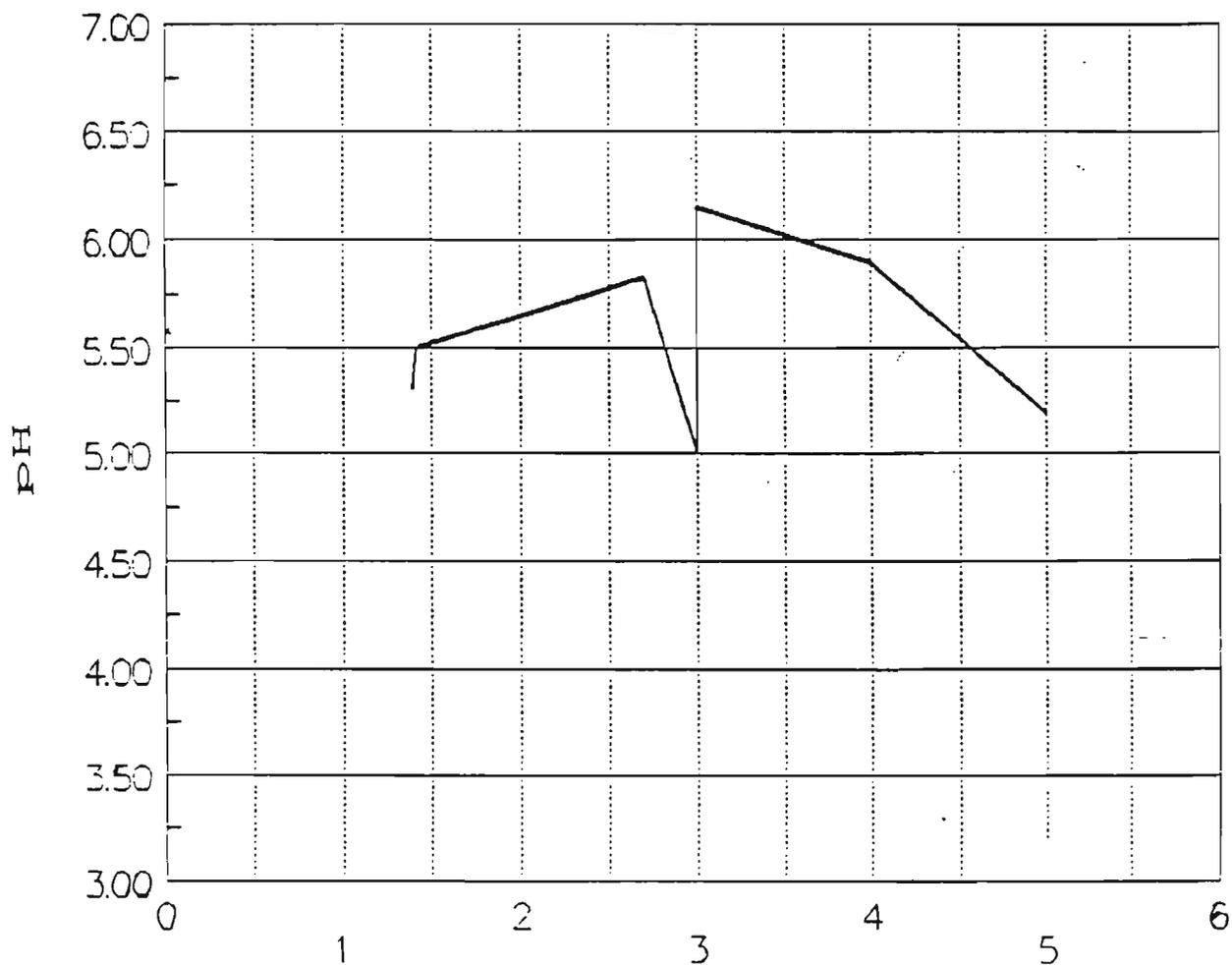


Fig.7.32 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESREO P-2 (LOURDES).DICIEMBRE 1990-MAYO 1991



DIOXIDO DE CARBONO (ppm)

Fig.7.33 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL). DICIEMBRE 1990-MAYO 1991.

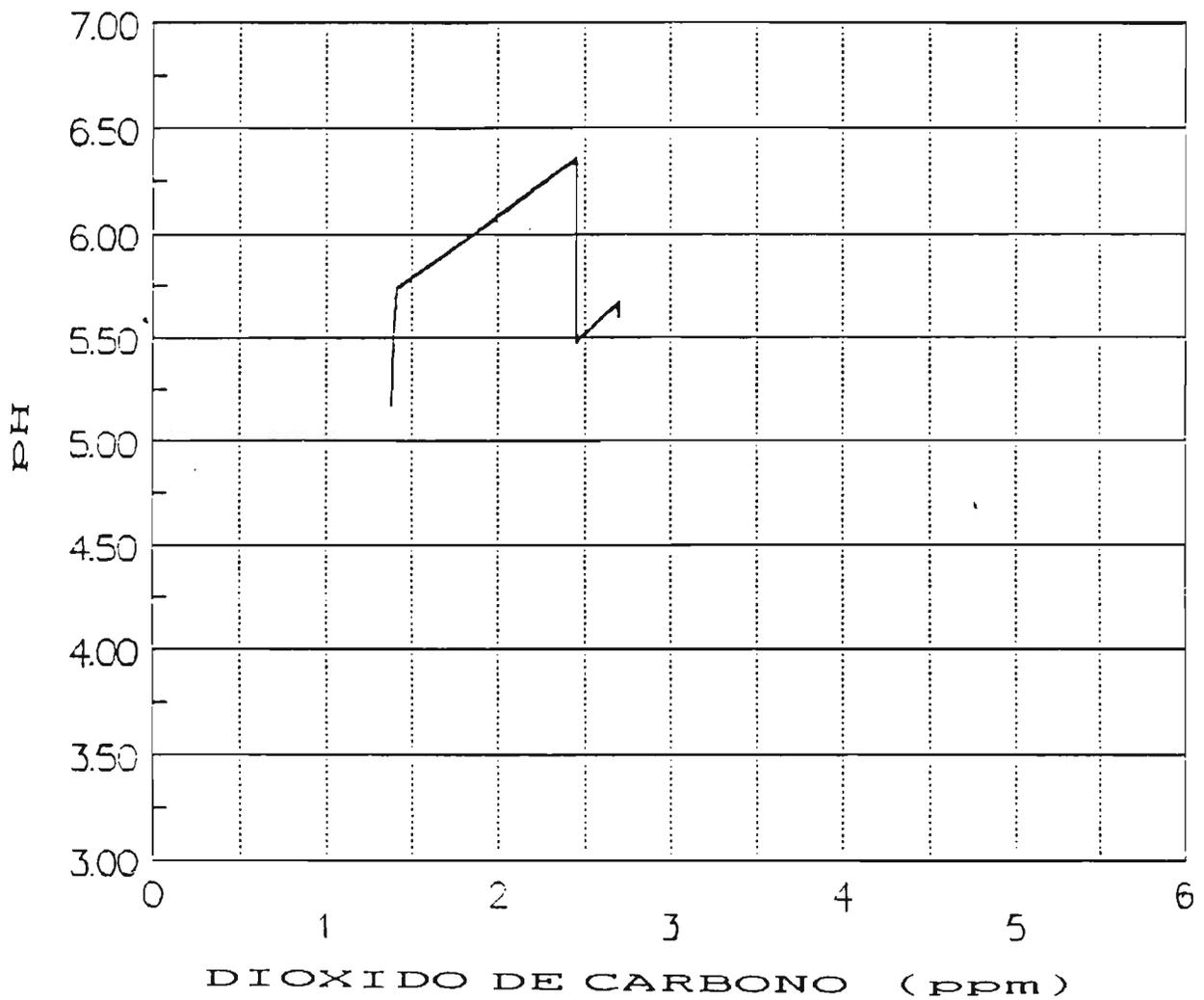


Fig. 7.34 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO). MARZO 1991-MAYO 1991

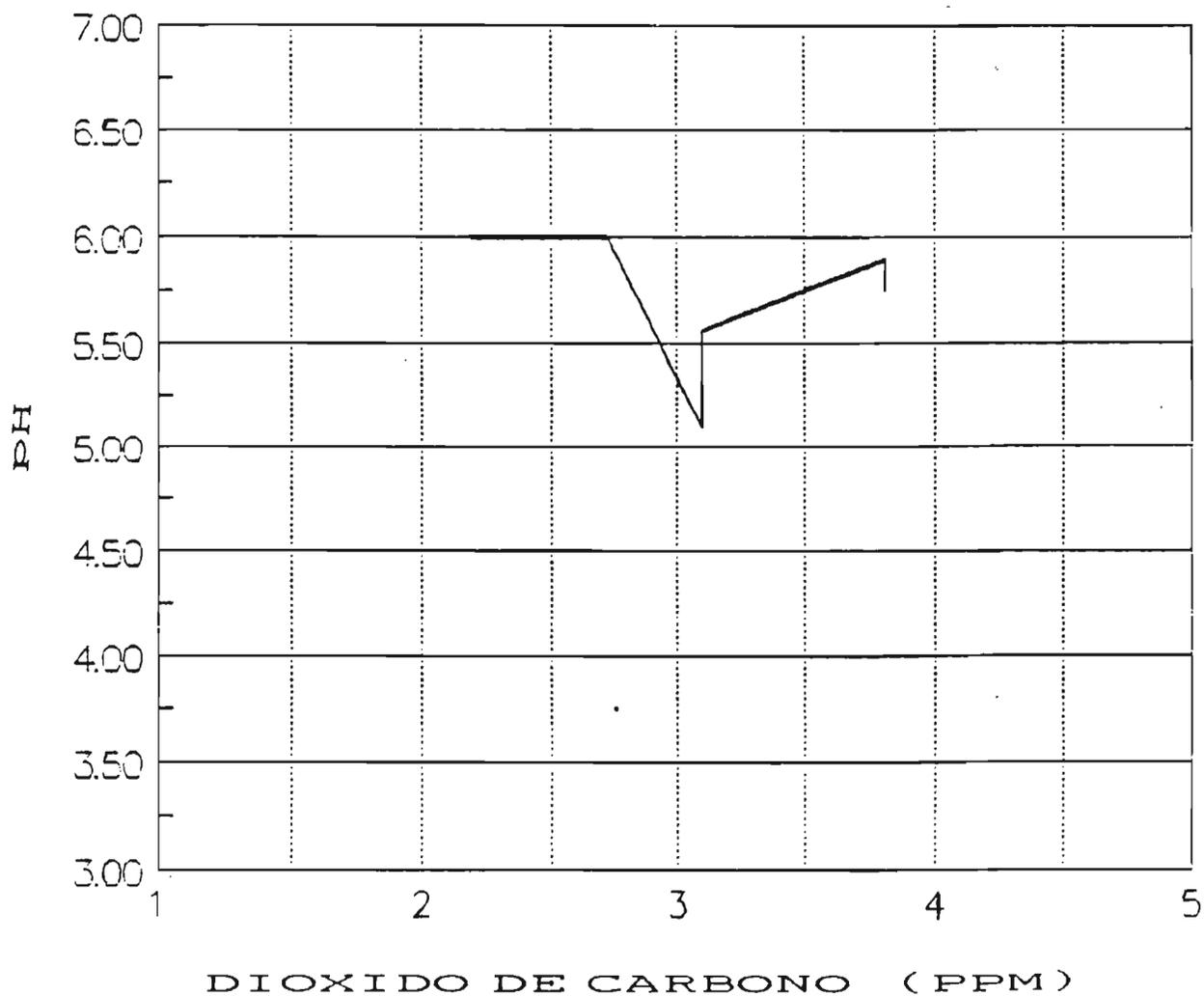


Fig.7.35 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CDAD MERLIOT). MARZO 1991-MAYO 1991

7.3.3 TERCER BLOQUE DE GRAFICOS

pH VRS NITRATOS

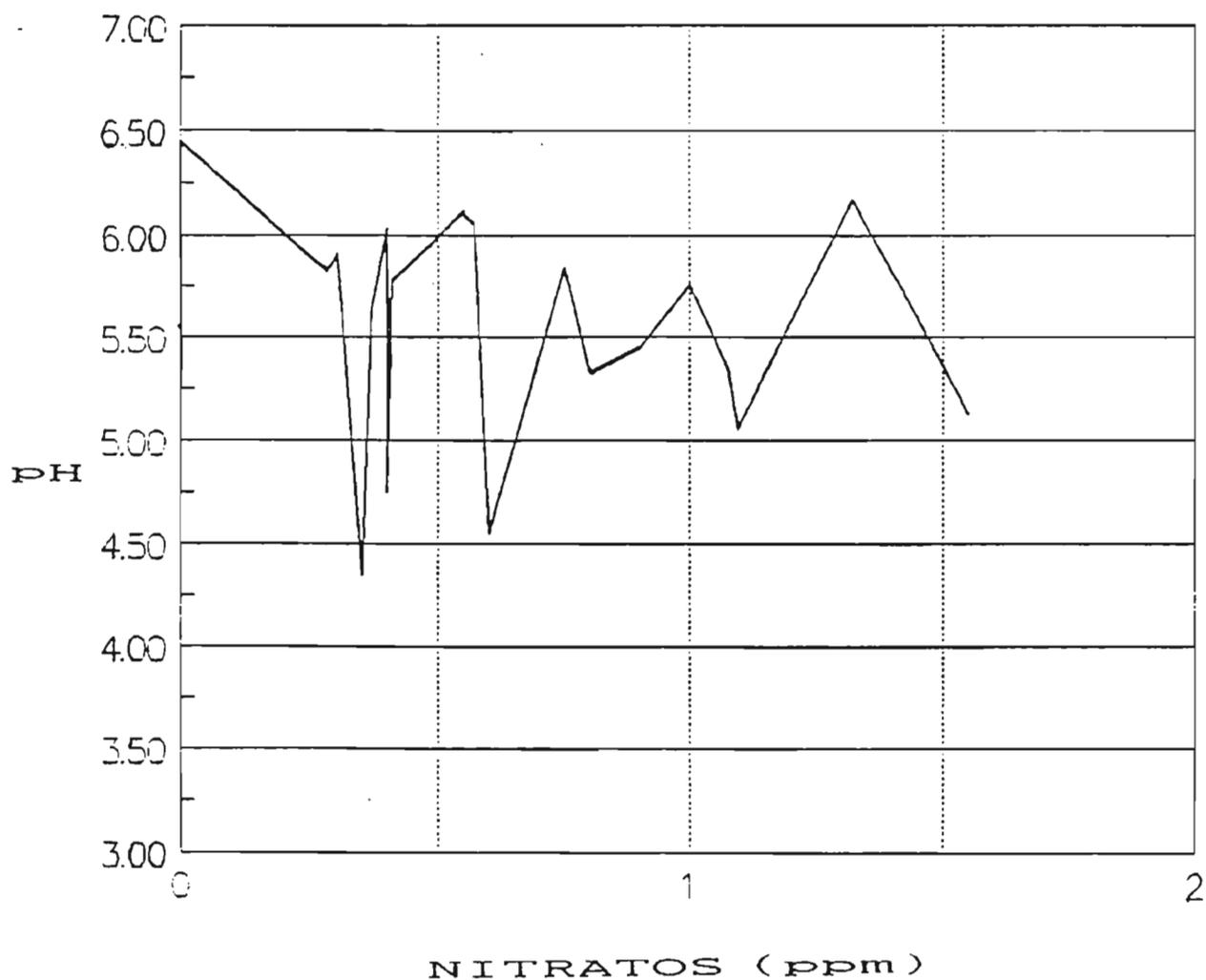


Fig.7.36 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

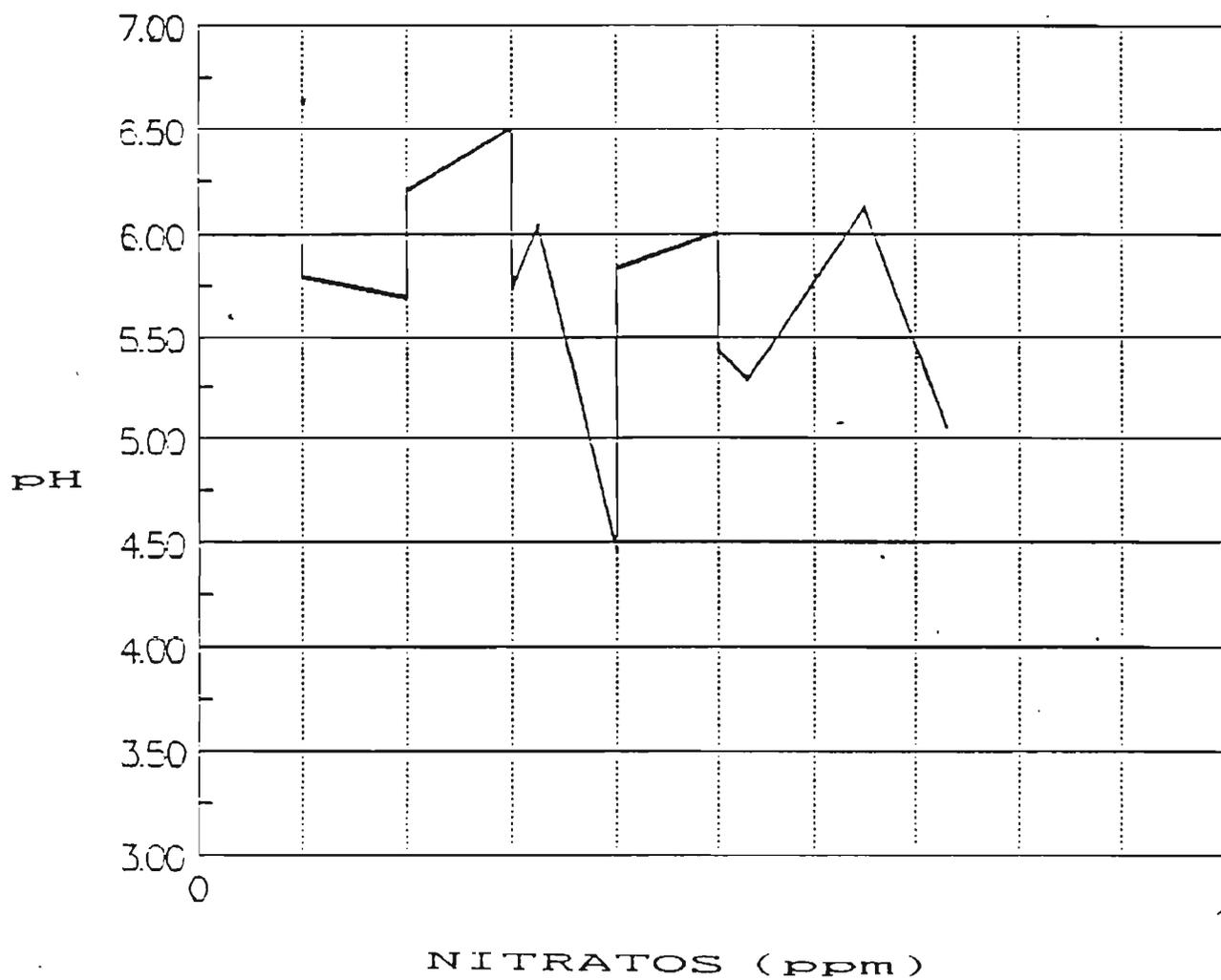


Fig. 7.37 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES) SEPTIEMBRE 1990-MAYO1991

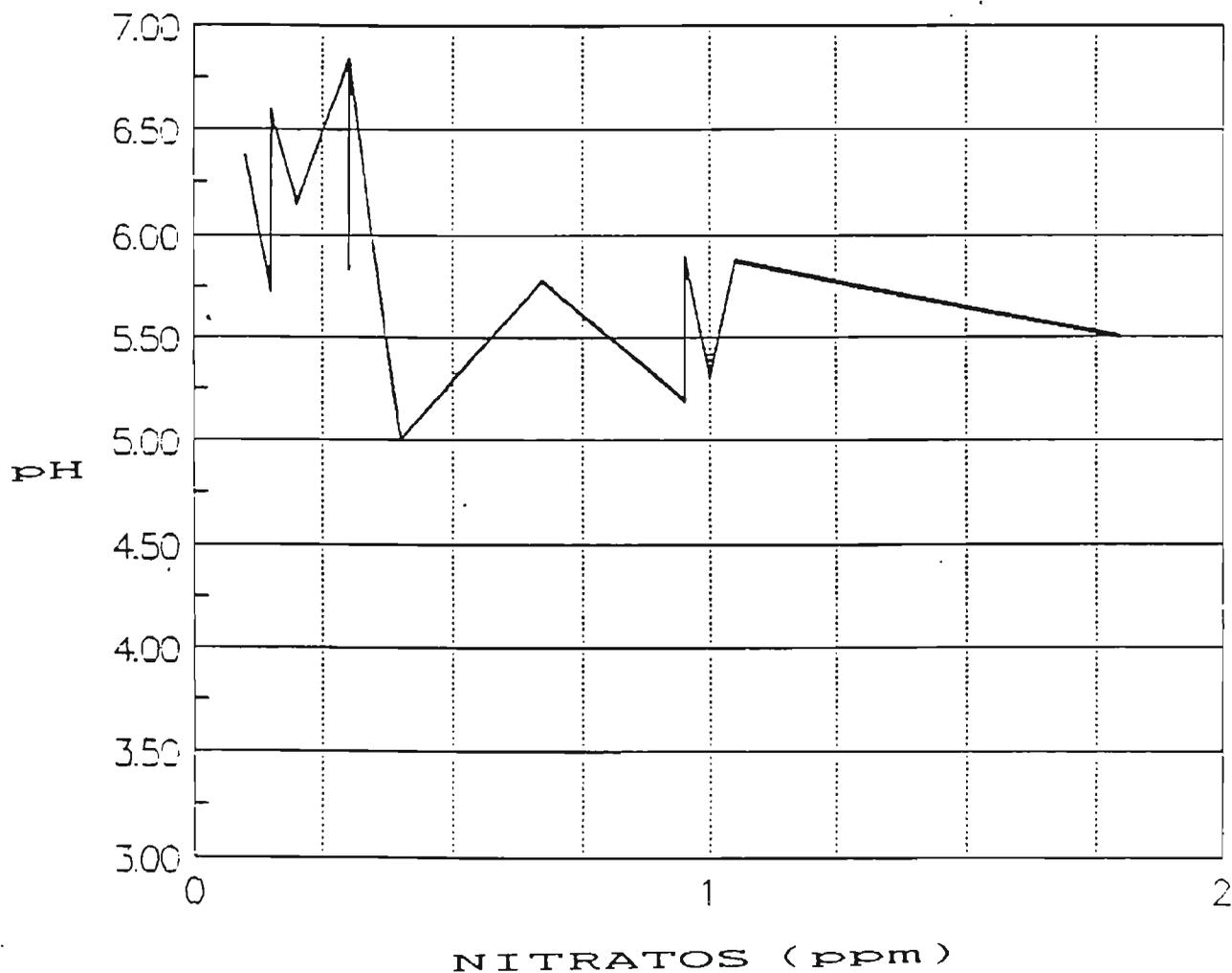


Fig. 7.38 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

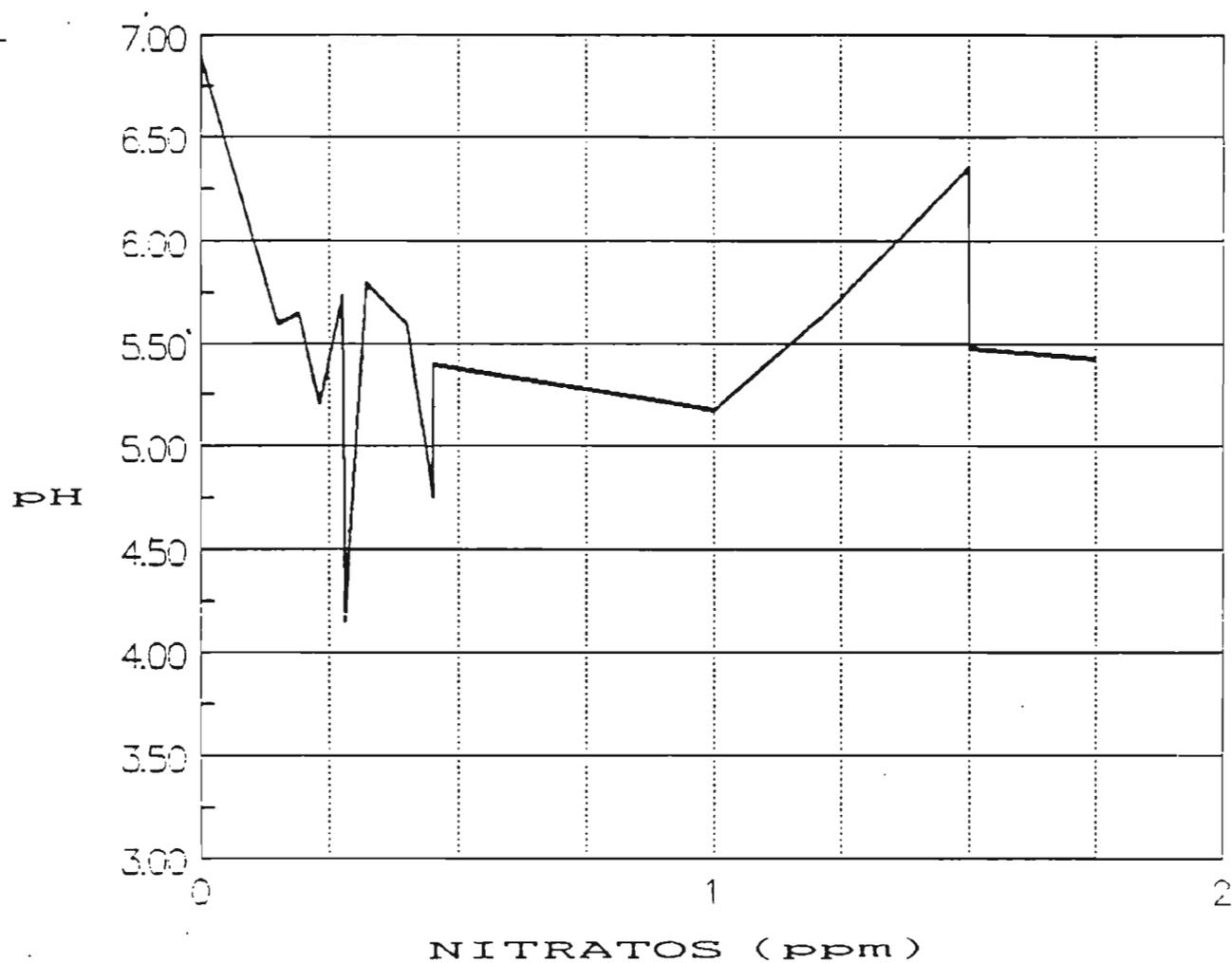


Fig.7.39 GRAFICA DE RESULTADOS pH vrs NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

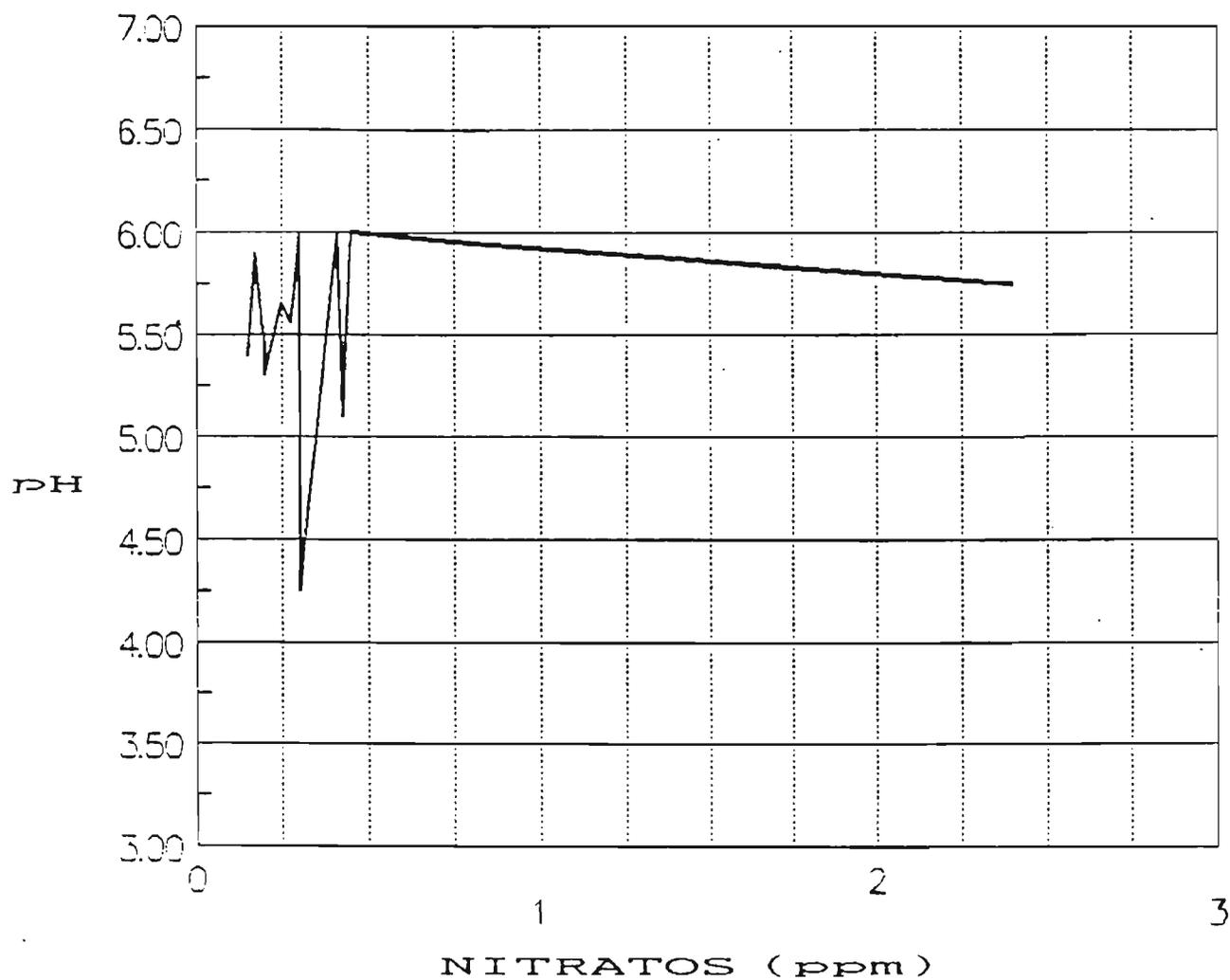


Fig.7.40 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS NITRATOS OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CDAD MERLIOT)  
SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

7.3.4 CUARTO BLOQUE DE GRAFICOS

pH VRS SULFATOS

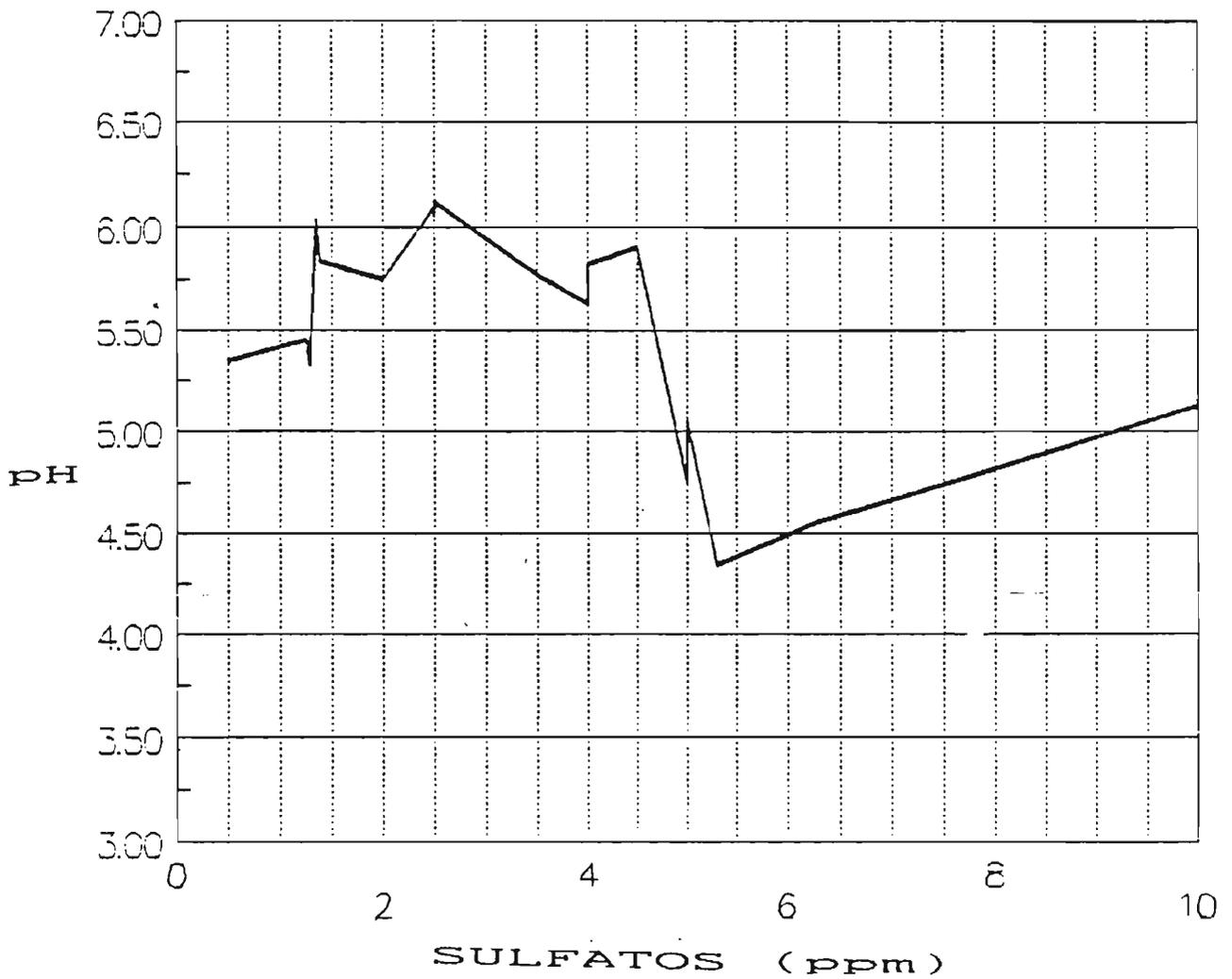


Fig.7.41 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS  
EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-1 (SOYAPANGO)  
SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991

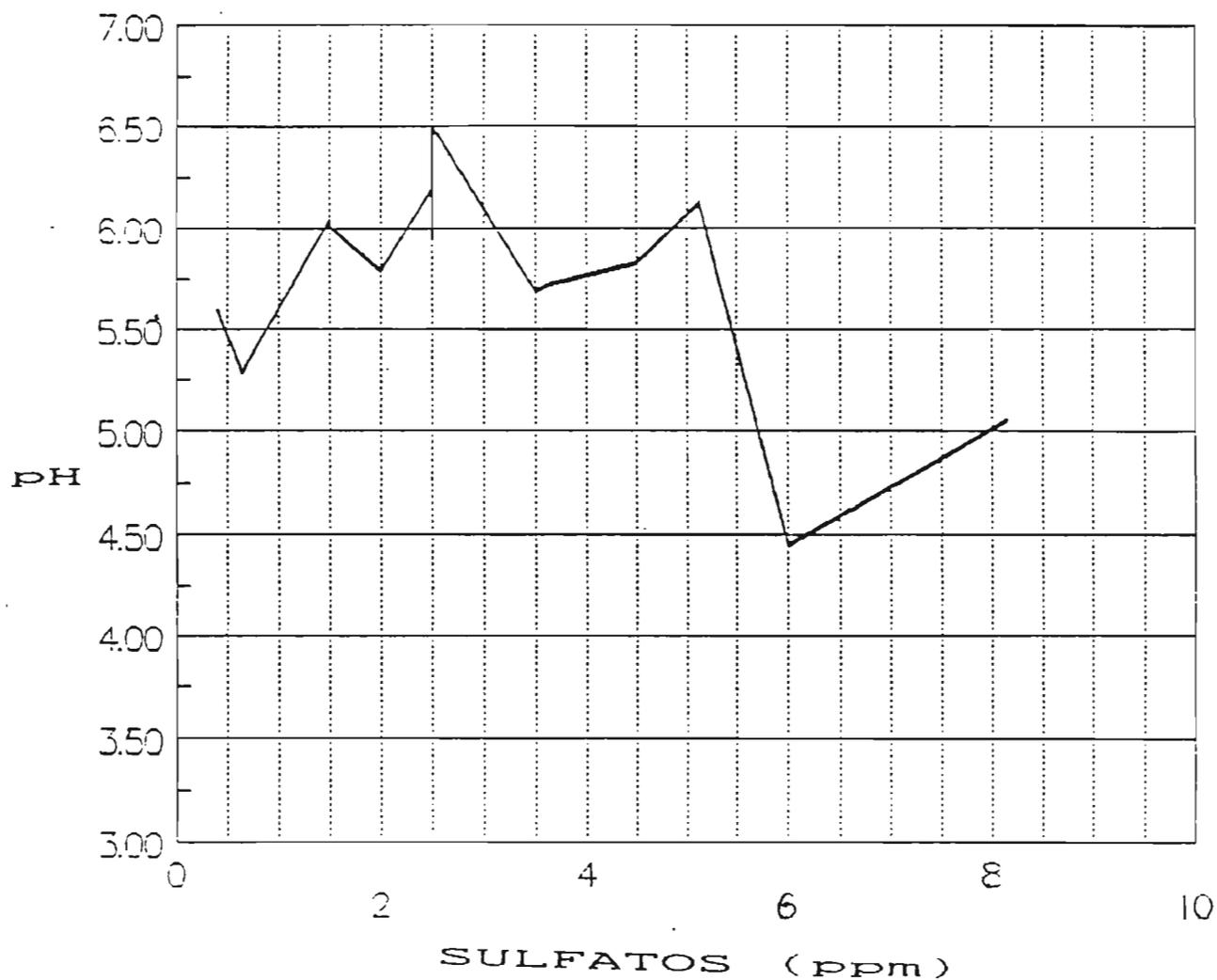


Fig.7.42 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-2 (LOURDES) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

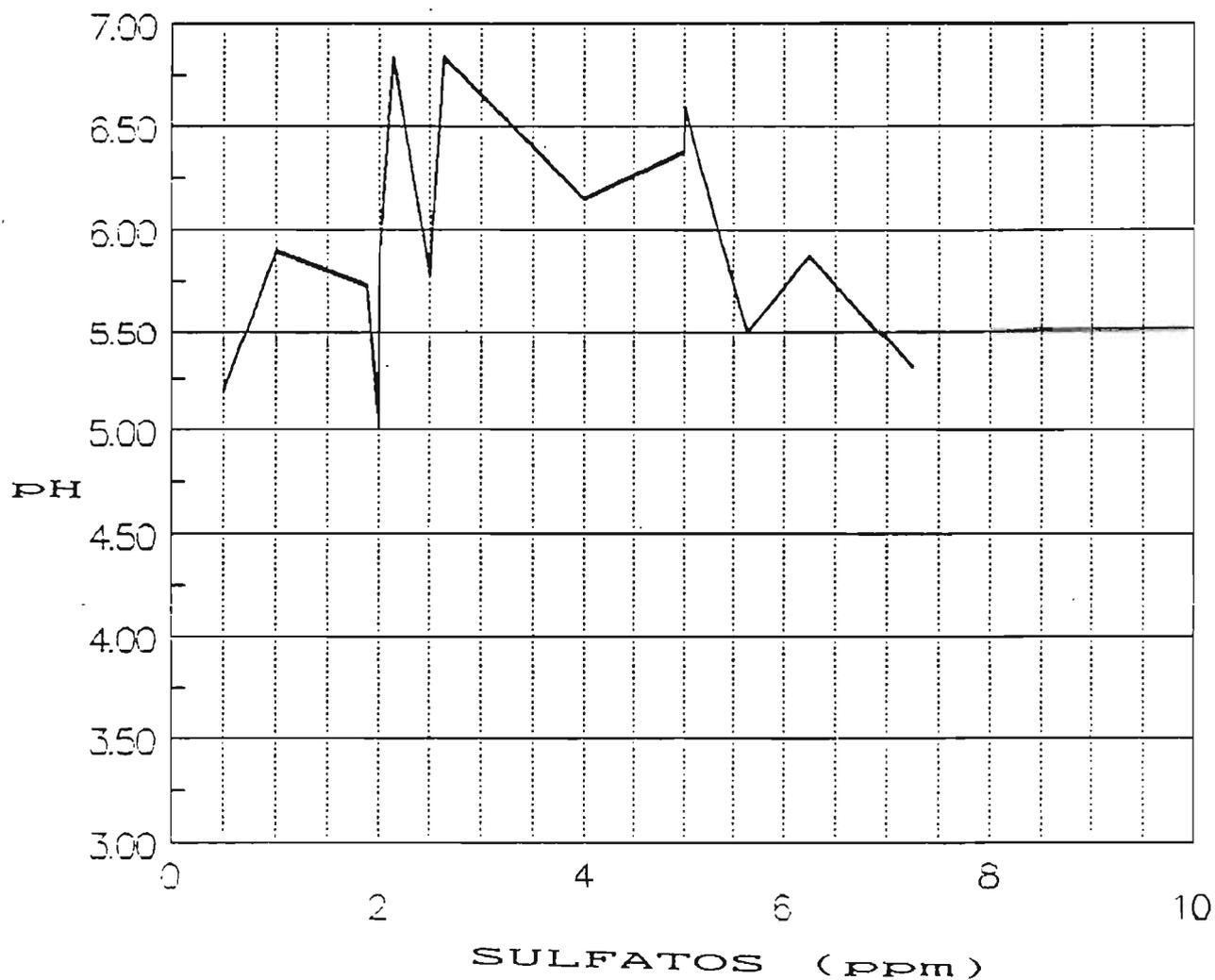


Fig. 7.43 GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-3 (ZACAMIL) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

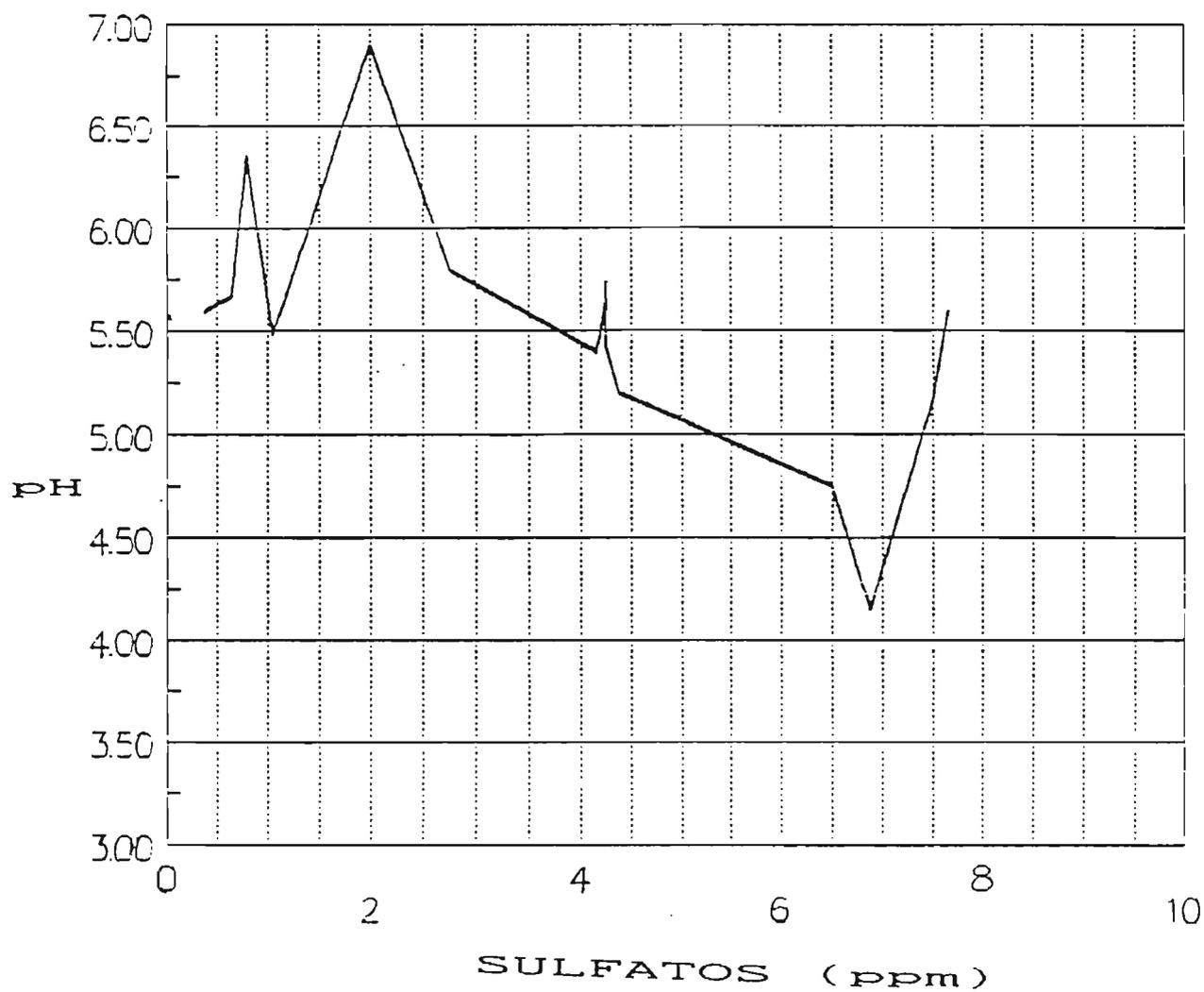


Fig. 7.44 GRAFICO DE RESULTADOS pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-4 (SAN JACINTO) SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

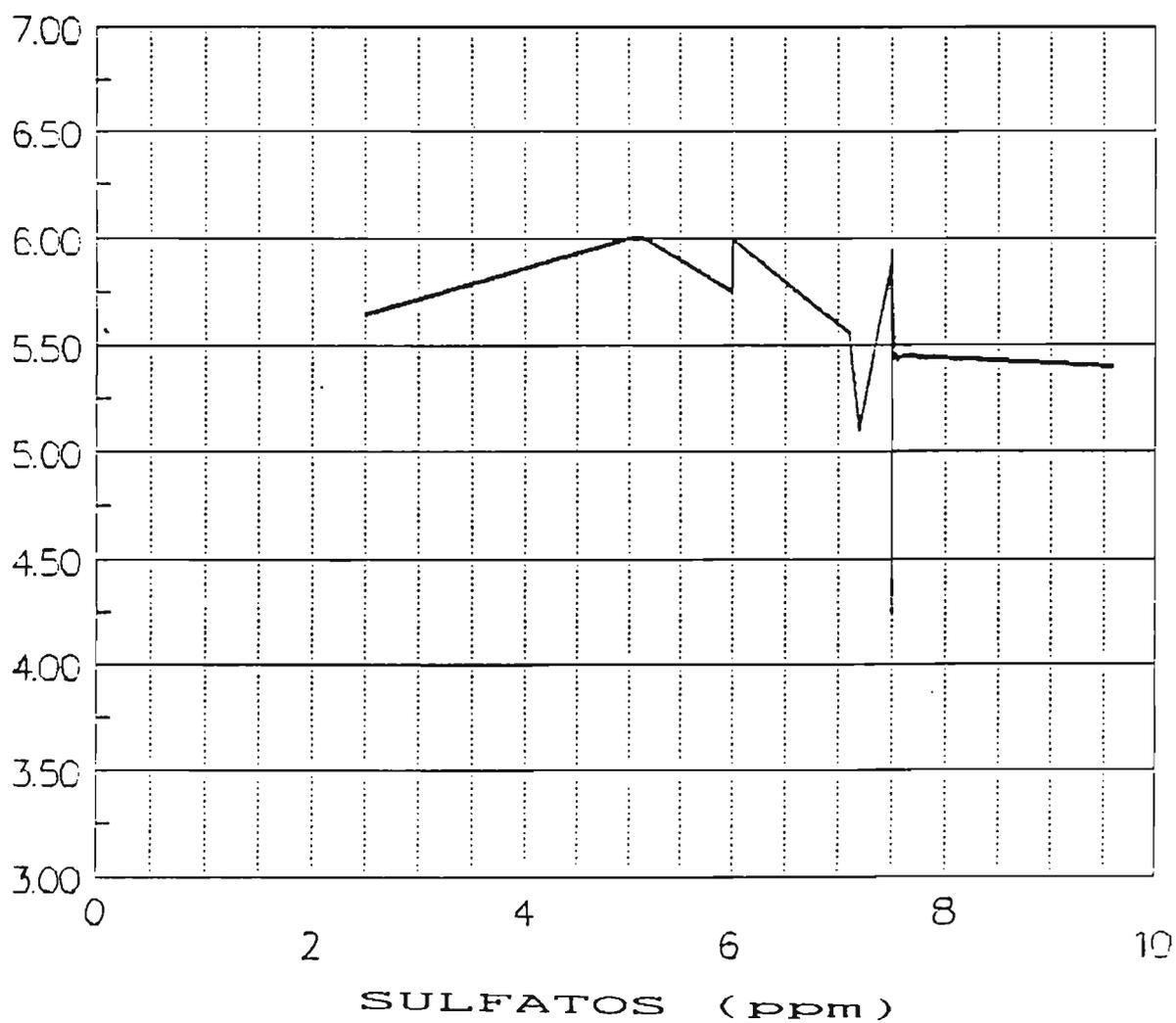


Fig. 7.45 GRAFICA DE RESULTADOS pH VRS SULFATO OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL PUNTO DE MUESTREO P-5 (CDAD MER\_LIOT). SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

#### 7.4 PRESENTACION GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS VARIABLES EN AGUA LLUVIA PARA LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y SUS ALREDEDORES

En ésta etapa lo que se muestra es toda el área de estudio (la unión de los cinco puntos de muestreo por cada variable). Debido a que el pH en agua lluvia es influenciado por las diferentes variables analizadas se presentan combinaciones tales como:

- a- pH VRS Temperatura en forma global
- b- pH VRS Sólidos disueltos en forma global
- c- pH VRS Dióxido de Carbono en forma global
- d- pH VRS Nitrato en forma global
- e- pH VRS Sulfato en forma global

Así como el comportamiento que cada variable presentó a través del tiempo de muestreo de ésta investigación.

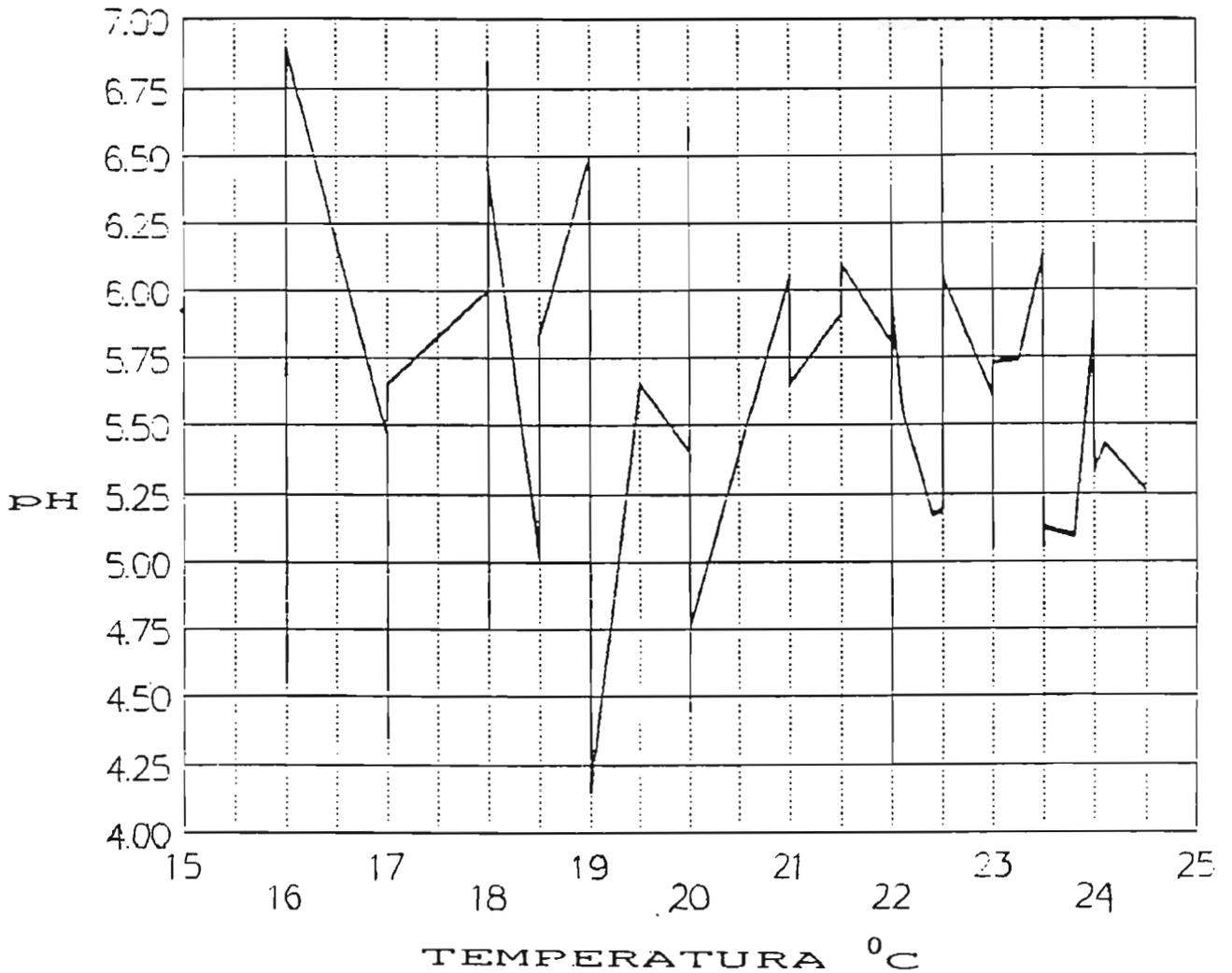


Fig. 7.46 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS TEMPERATURA OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991

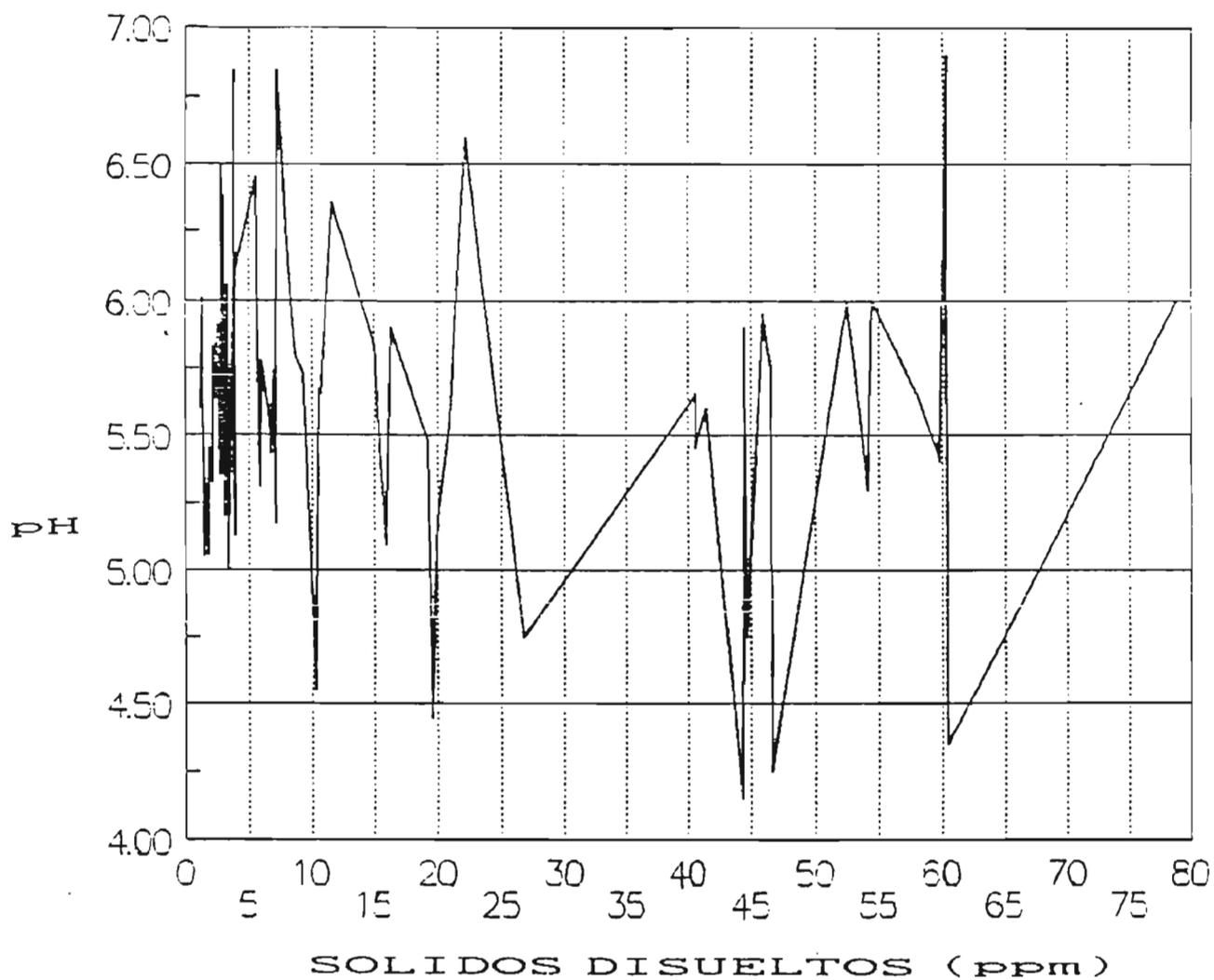


Fig.7.47 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990 MAYO 1991

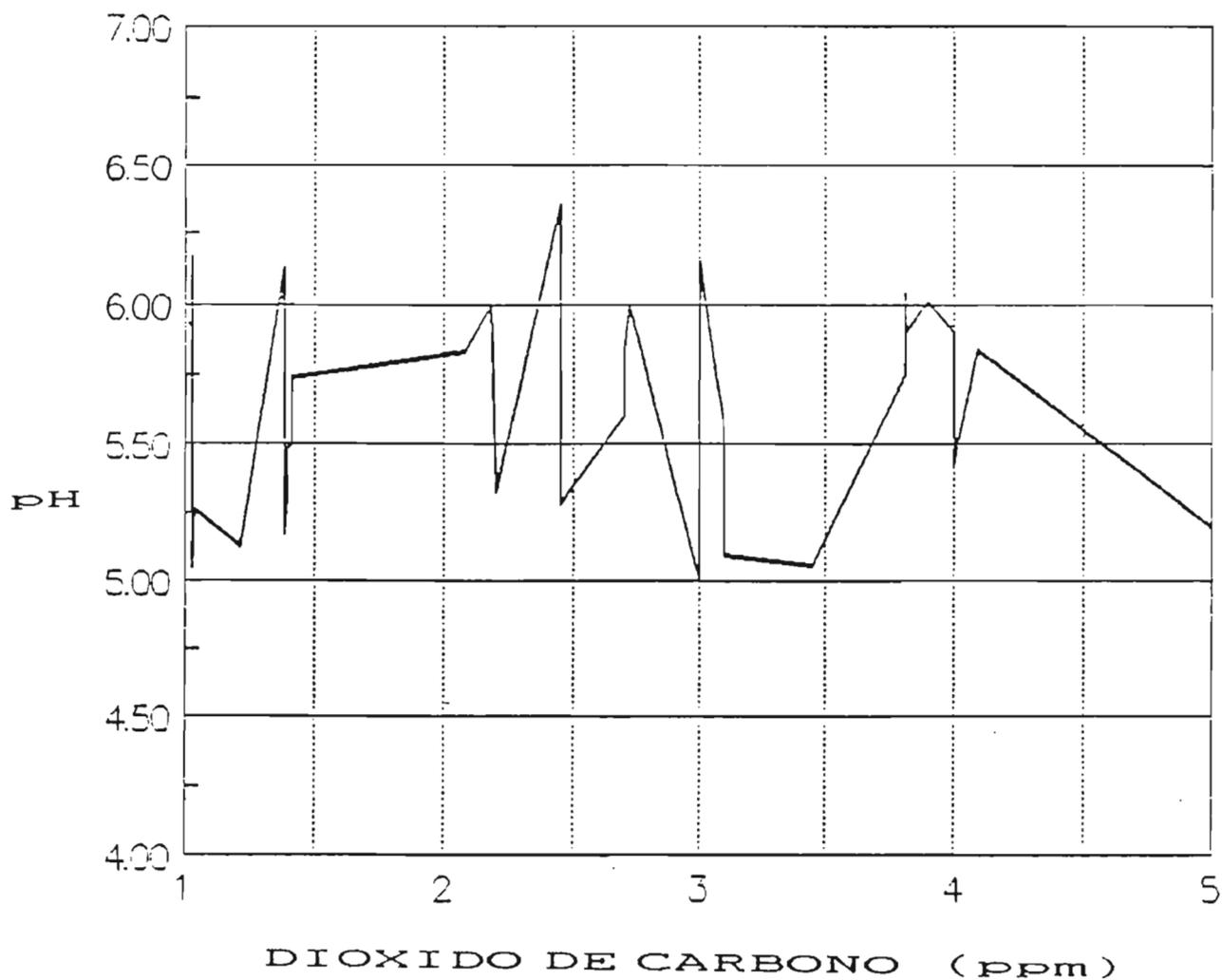


Fig.7.48 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE\_ 1990-MAYO 1991

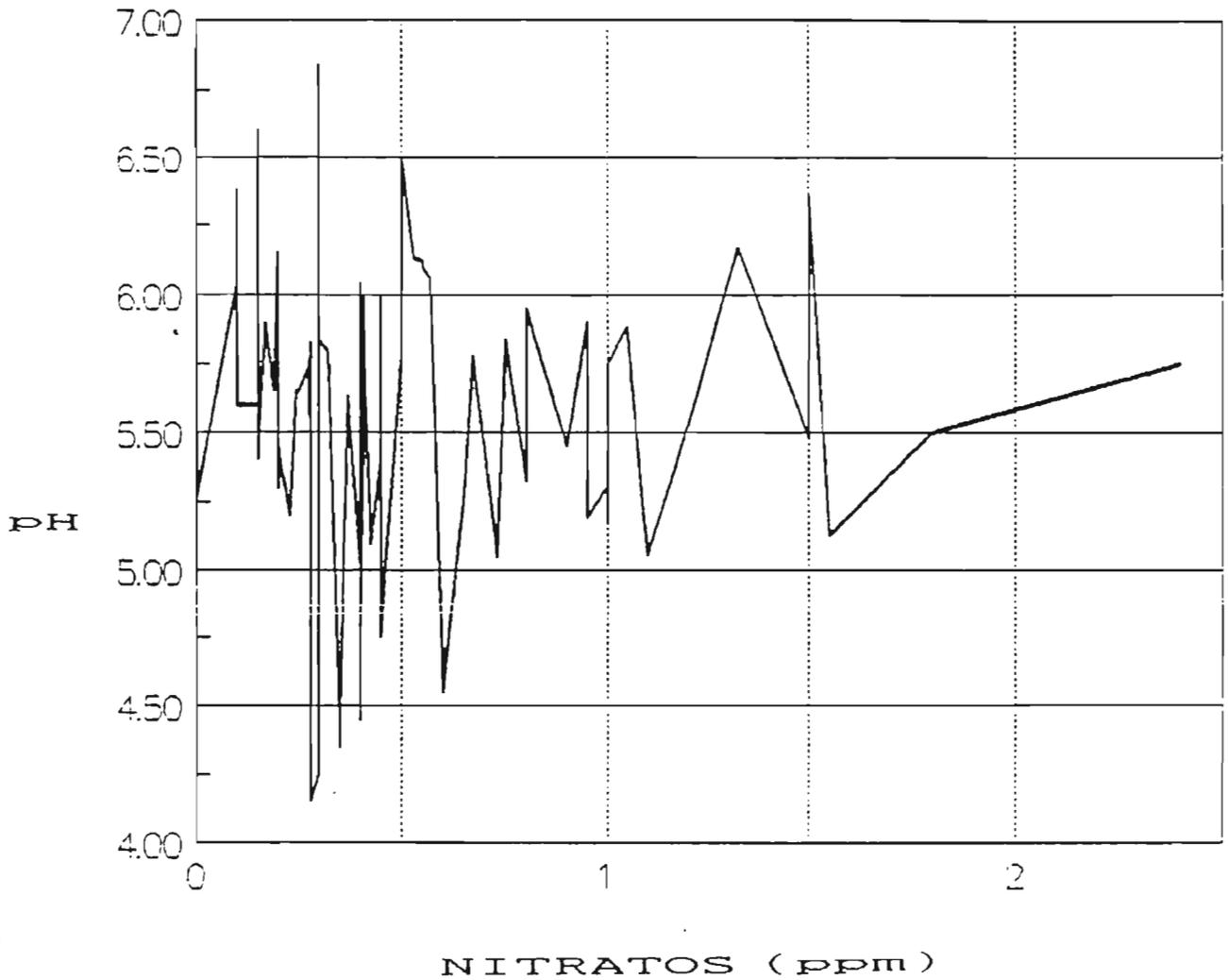


Fig. 7.49 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE-SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

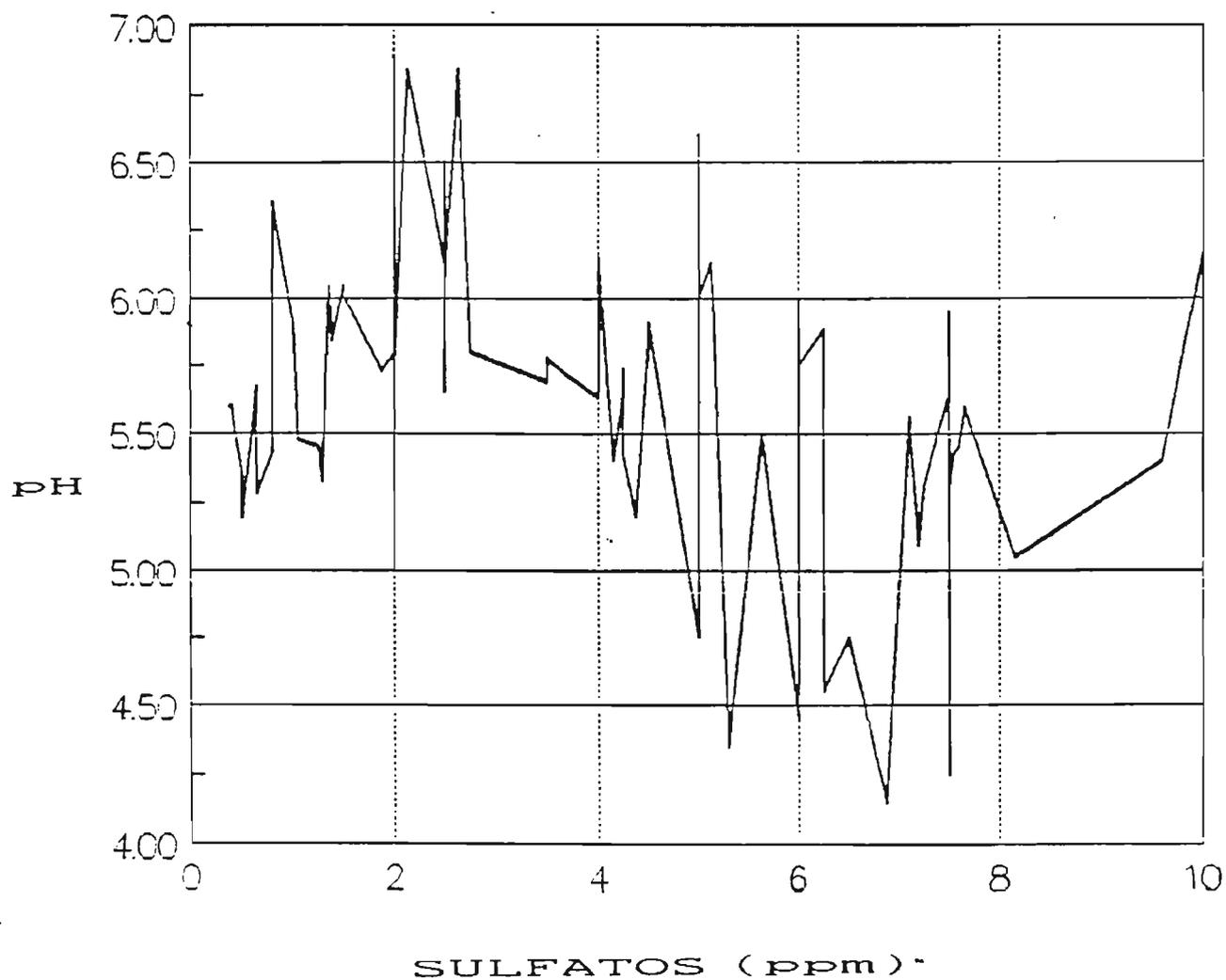


Fig. 7.50 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES pH VRS SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE-SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

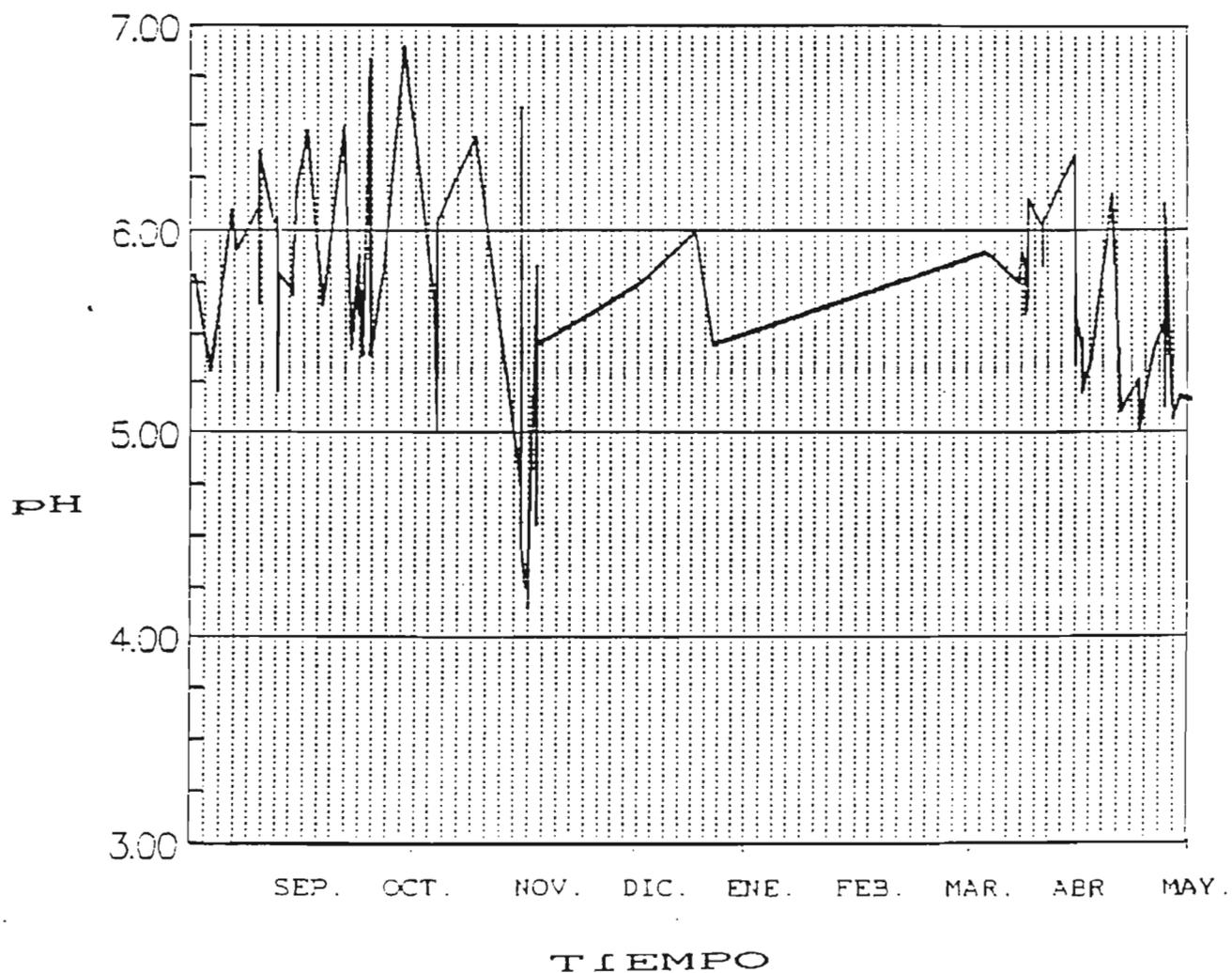


Fig. 7.51 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES DE pH OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990- MAYO 1991

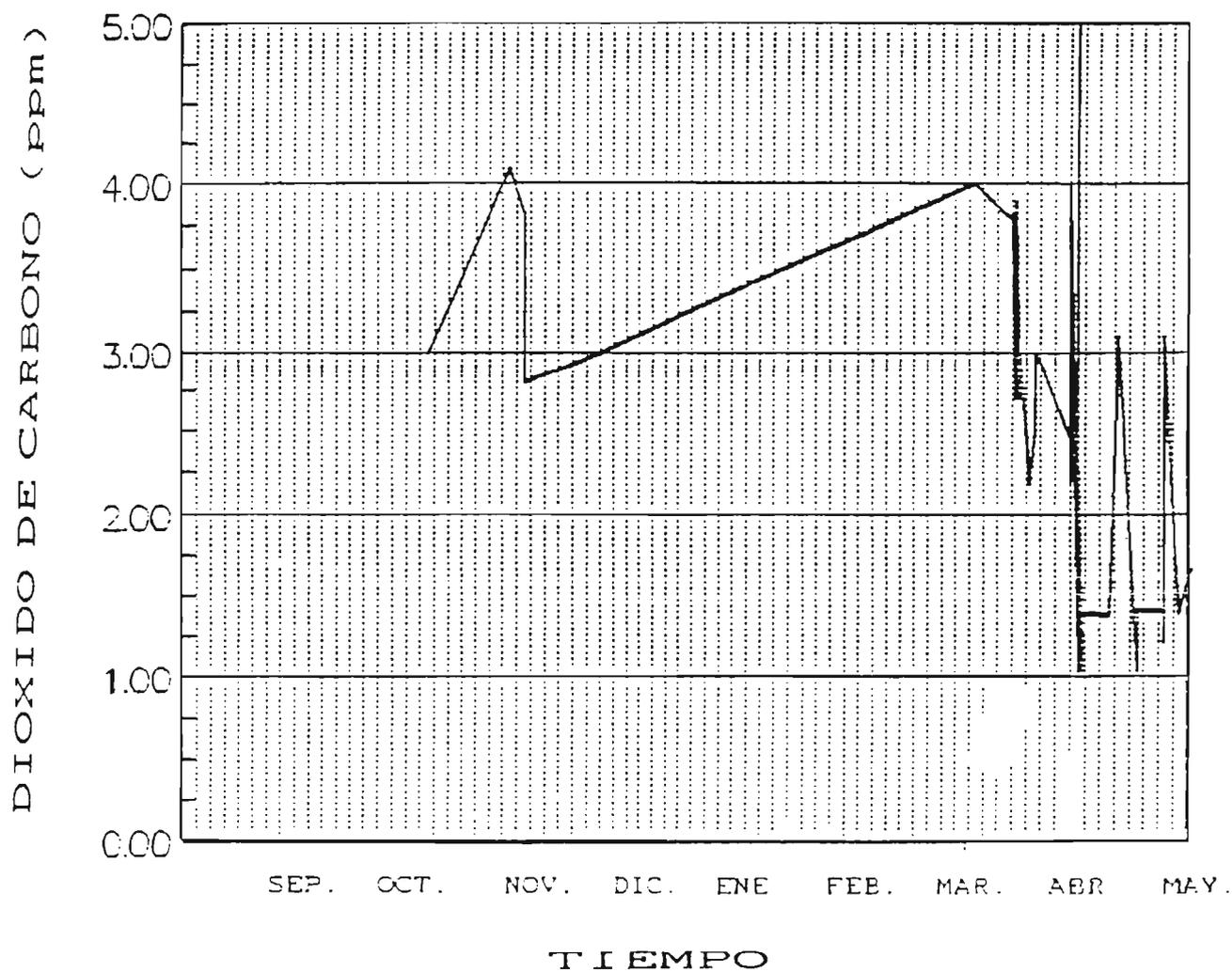
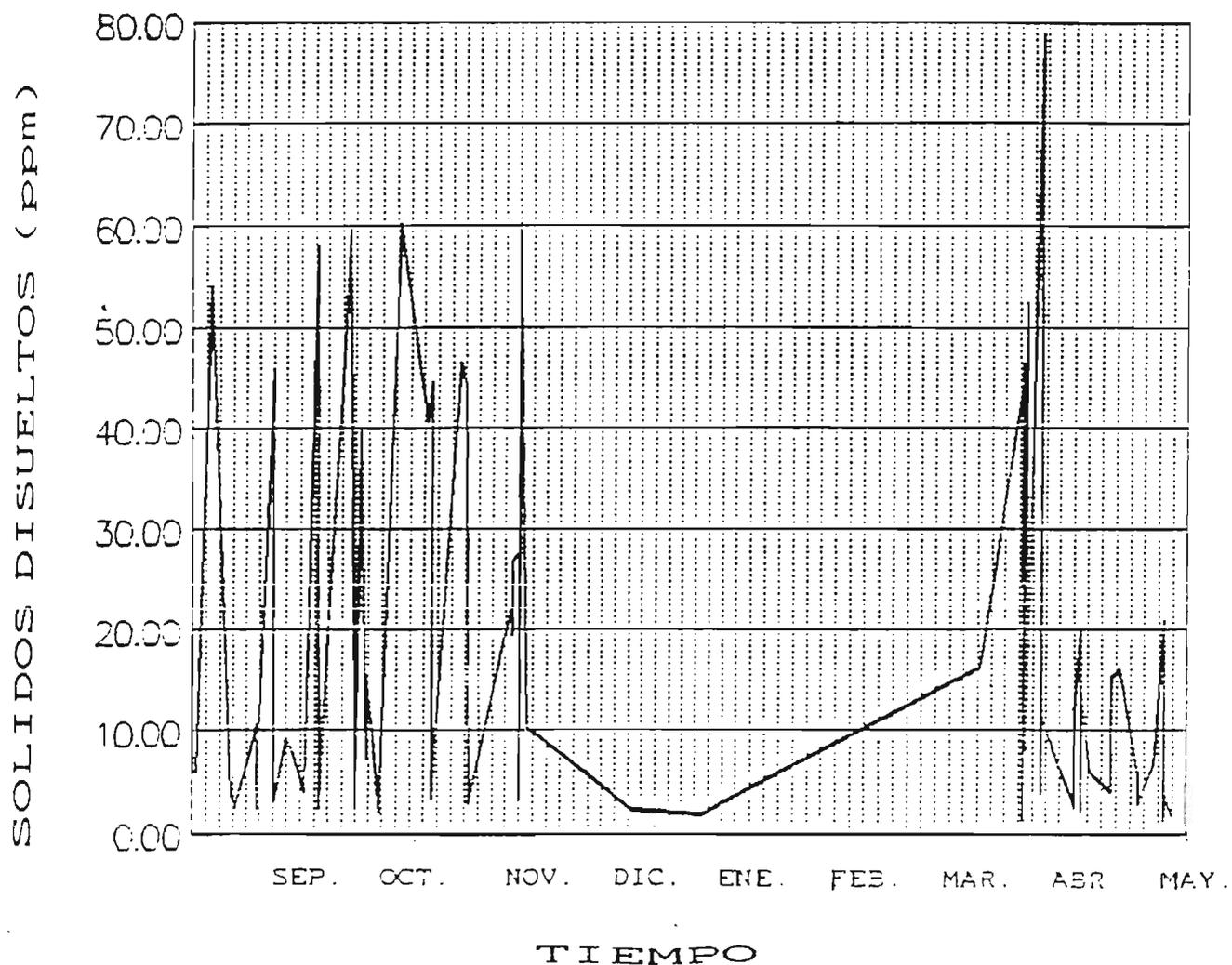


Fig. 7.52 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES DE DIOXIDO DE CARBONO LIBRE OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE-SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. NOVIEMBRE 1990-MAYO 1991.



- Fig. 7.53 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES DE SOLIDOS DISUELTOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN - SALVADOR Y ALREDEDORES . SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

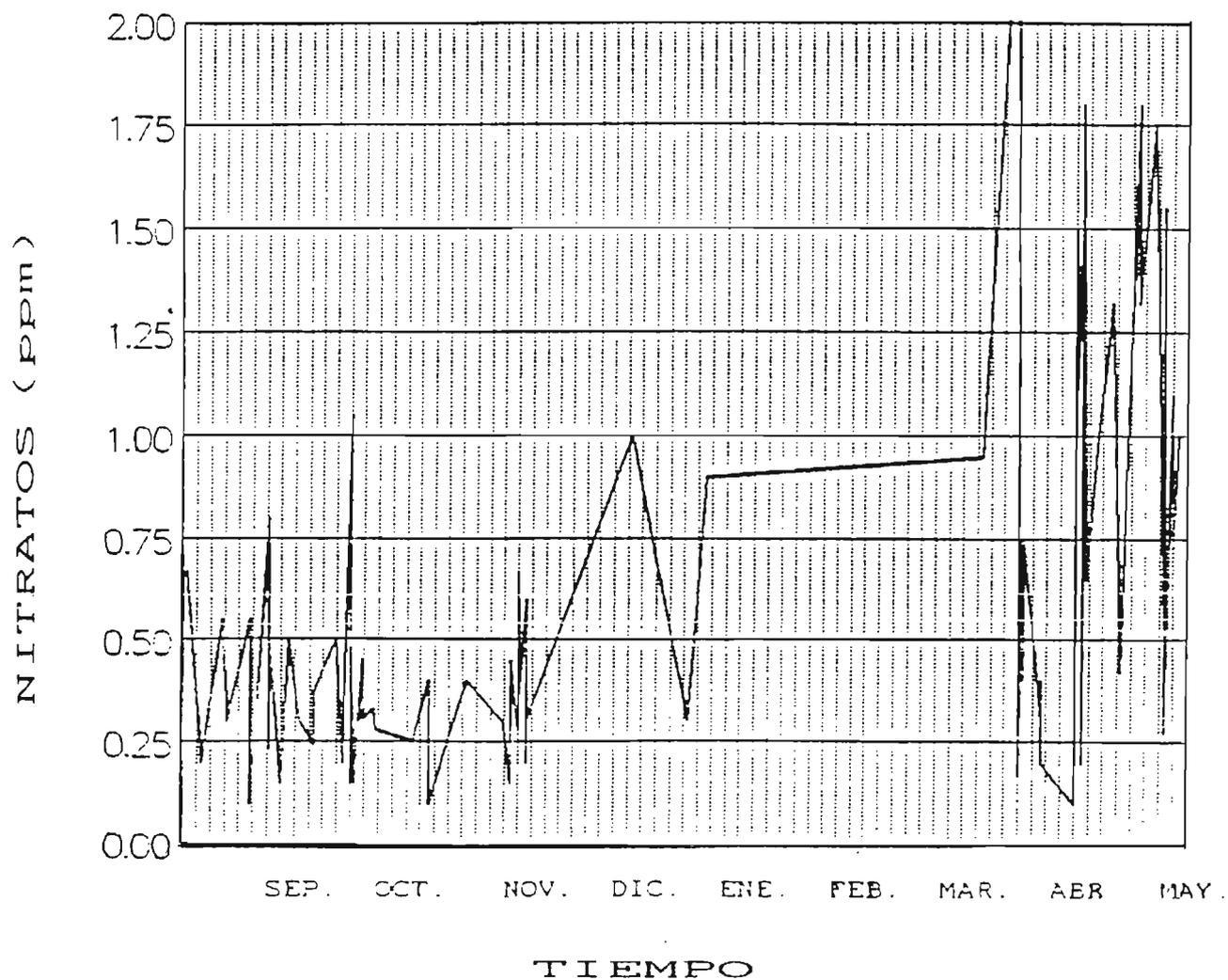


Fig. 7.54 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES DE NITRATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991.

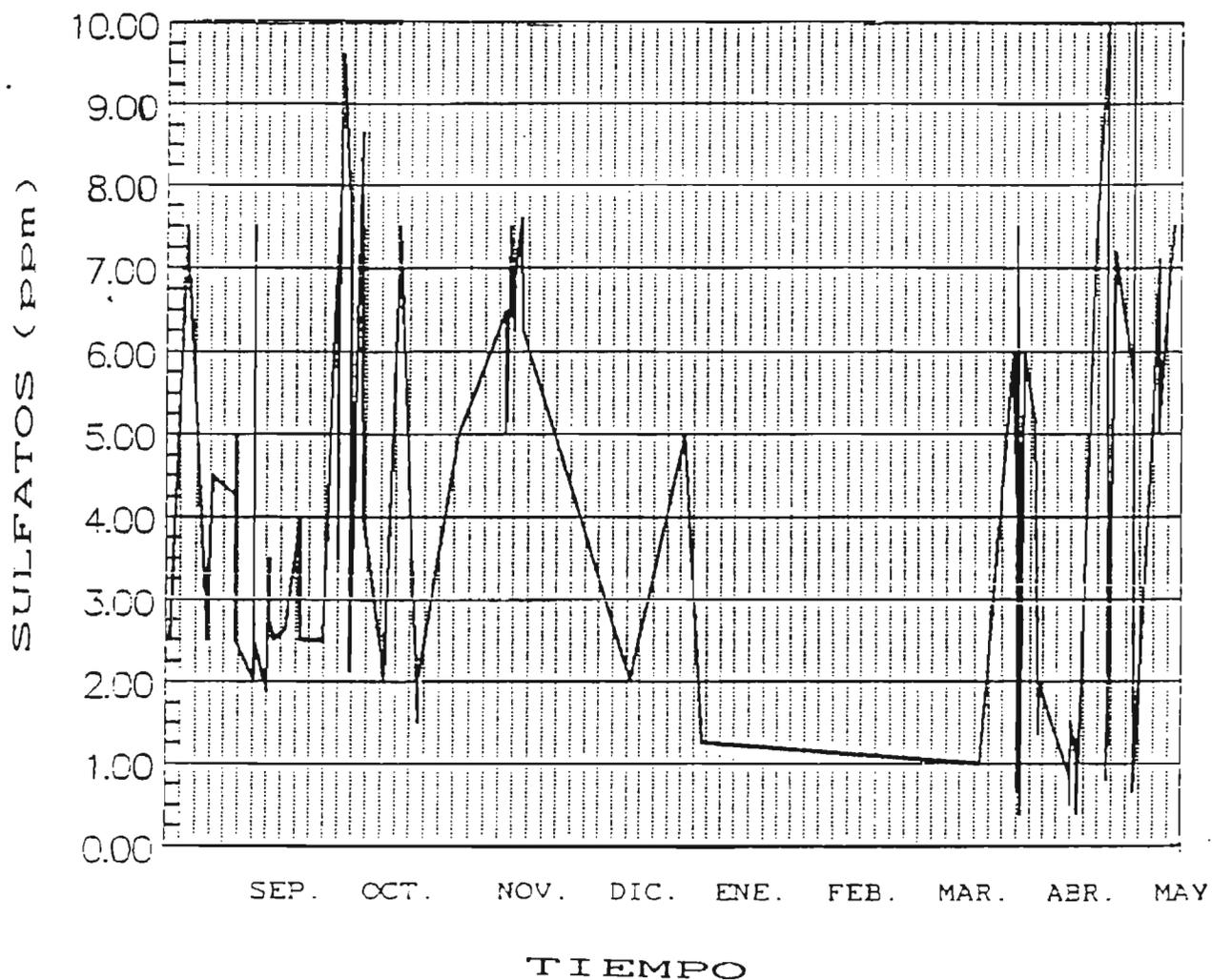


Fig. 7.55 GRAFICA DE RESULTADOS GLOBALES DE SULFATOS OBTENIDOS EN AGUAS LLUVIAS PARA EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y ALREDEDORES. SEPTIEMBRE 1990-MAYO 1991

## C A P I T U L O    V I I I

## 8.0    D I S C U S I O N    D E    R E S U L T A D O S

## 8.1    D I S C U S I O N    S O B R E    E L    M E T O D O    D E    M U E S T R E O    U T I L I Z A D O

a) Los recursos materiales con que se efectuaron los muestreos fueron escasos, pero a pesar de ello, el equipo aunque sencillo cumplió con las necesidades requeridas. El diseño del equipo y método de muestreo utilizados en este trabajo, para estudios posteriores podría mejorarse.

b) La ejecución del plan de muestreo dependió básicamente de la dedicación de cada una de las personas asignadas en los puntos de muestreo. Ya que el muestreo fue manual, por el cuidado que se tuvo los errores personales fueron mínimos.

c) En el presente trabajo, el alcance del muestreo se limitó a la zona metropolitana de San Salvador y alrededores y fue suficiente para sondear la situación actual de la acidez del agua lluvia en la zona, puesto que la lluvia ácida se genera generalmente en lugares distantes a la zona contaminante. Los estudios posteriores deben realizarse en otras zonas del país, además de la zona metropolitana.

## 8.2 DISCUSION SOBRE METODOLOGIA DE ANALISIS FISICOQUIMICO

### 8.2.1 DISCUSION DE METODOLOGIA PARA DIOXIDO DE CARBONO LIBRE (CO<sub>2</sub>)

- a) Este método ha sido creado para análisis de CO<sub>2</sub> en aguas, y se ha adaptado para ser usado en la determinación del CO<sub>2</sub> libre en el agua lluvia. (35)
- b) El método reporta una acidez total proveniente de las reacciones de NaOH con todos los ácidos existentes en el agua lluvia (HN<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, etc.) y no es un valor aislado de acidez para H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (ácido carbónico), como sería lo más conveniente. Por lo que el resultado se reporta como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- c) El análisis de CO<sub>2</sub> libre se efectuó en el momento de la recolección de la muestra y luego se repitió el análisis en el laboratorio no existiendo diferencia significativa entre ambos resultados, por lo que se puede decir que en el lapso transcurrido no hubo pérdidas apreciables de CO<sub>2</sub> libre.
- d) La no pérdida de CO<sub>2</sub> se debió al hermetismo del recipiente, poca agitación en el transporte, a la

temperatura en que se almacenó ( $4^{\circ}\text{C}$ ) y manejó cada muestra, así como a la prontitud en la realización de el análisis.

- e) Debido a las concentraciones bajas de los ácidos en el agua lluvia, el alcalí titulante utilizado ( $\text{NaOH}$ ) fué de una normalidad baja para lograr así un tamaño de muestra adecuado en el análisis.

#### 8.2.2 DISCUSIONES DE METODOLOGIA PARA pH.

- a) Es un método instrumentado, universalmente utilizado en la medición de pH, siendo éste de alta confiabilidad.
- b) El procedimiento registra la concentración aditiva de los Iones hidrógenos procediendo estos de ácidos fuertes y débiles, siendo su limitante en que no se puede conocer que tipo de ácido se encuentra en mayor y en menor proporción.

#### 8.2.3. DISCUSION DE METODOLOGIA PARA TEMPERATURA.

- a) La metodología que se utilizó para efectuar la medición de la temperatura de caída del agua lluvia, se puede considerar como adecuada para este caso

en particular, siendo lo suficientemente confiable.

b) En la metodología se considera que no existen mayores limitantes, ya que la forma de efectuar las lecturas es práctica y sencilla.

c) Con respecto a la exactitud del método depende únicamente del tipo de termómetro utilizado entre más sensible sea, mayor será su exactitud, para este trabajo se utilizó un termómetro con divisiones de  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

d) El volumen utilizado de muestra de agua lluvia para el análisis, se considera adecuado para esta medición.

#### 8.2.4. DISCUSION DE METODOLOGIA PARA SULFATOS.

a) La metodología utilizada para determinar sulfatos es la más recomendada y adecuada para bajas concentraciones, ya que los métodos espectrofotométricos son capaces de registrar pequeñas concentraciones como las existentes en el agua lluvia.

b) En éste caso el Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ),

reacciona con los sulfatos existentes en el agua lluvia no especificando si éstos provienen de un ácido o de una sal sulfatada, por lo que no se puede medir directamente el contenido de ácido sulfúrico presente en la muestra.

c) Esta metodología mide en forma indirecta el contenido de ácido sulfúrico en el agua lluvia porque detecta sulfatos y lo hace a través de la turbidez generada por el sulfato de bario formado.

d) La turbidez generada por otros entes interferentes ha sido eliminada por la adición de una sustancia oxidante (peróxido de hidrógeno).

#### 8.2.5 ANALISIS DE METOLOGIA PARA NITRATOS.

a) Este método fué capaz de registrar las bajas concentraciones de nitratos presentes en el agua lluvia, ya que el método es de tipo espectrofotométrico.

b) La metodología utilizada registra los nitratos presentes en la muestra sin identificar si éstos provienen de ácido nítrico o de sales de nitratos presentes en la muestra.

- c) El método resulta trabajoso por el tiempo que demanda en la realización, y a lo delicado que es trabajar con el calentamiento adecuado de la muestra, el cual es un factor crítico dentro del desarrollo del análisis.

#### 8.2.6 DISCUSION DE METODOLOGIA PARA CLORUROS.

- a) Ya que el método es instrumental, utilizando un espectrofotómetro para la determinación de la turbidez de los cloruros, es lo suficiente sensible como para detectar bajas concentraciones.
- b) El método determina indirectamente la presencia de ácido clorhídrico, pues registra cloruros, pudiendo éstos provenir del ácido, pero también de sales cloruradas, cuando se adiciona nitrato de plata a la muestra

#### 8.3 DISCUSION DE RESULTADOS OBTENIDOS EN AGUA LLUVIA.

Para esta discusión se evaluarán los resultados bajo dos aspectos principales; uno de ellos es comparando las variables químicas y físicas que afectan la acidez de la lluvia con respecto al tiempo y la otra comparando el pH contra cada una de las variables químicas y físicas. En cada

discusión se abordaran los resultados globales que son la unión de los datos obtenidos en los cinco puntos de muestreo y de esta última forma se considerara el área metropolitana de San Salvador y alrededores como una sola zona de estudio.

### 8.3.1 DISCUSION DE RESULTADOS pH VRS. TIEMPO (t).

#### a) Resultados locales.

- La zona que registró el menor valor de pH (puntual) fué San Jacinto (P-4) con 4.15 (Tabla 7.1) Similar a la acidez de una bebida de café.
- El punto de muestreo que obtuvo el menor valor promedio de pH fué Soyapango (P-1) con 5.51 (Tabla 7.1).
- La mayor variabilidad en los resultados fué para San Jacinto (P-4) con % c.v. = 11.34 (Tabla 7.1) y la menor variabilidad para Ciudad Merliot (P-5) con % c.v. = 8.26.
- Las zonas detectadas con tendencia ácida ordenadas de mayor a menor áidez (valores promedios) son:  
El punto mas ácido; P-1 (Soyapango) y en menor grado San Jacinto (P-4), Ciudad Merliot (P-5), Lourdes (P-2), Zacamil (P-3).
- Al observar las diferentes figuras de pH VRS t (Figura 7.1 a 7.5), para los cinco puntos de mu-

estreo. Se puede ver que en el mes de septiembre de 1990 los valores de pH registrados oscilan cerca de 6, pero en el mes de mayo de 1991 este valor disminuyó, tendiendo a llegar a valores de  $\text{pH}=5$  e incluso menores el cuál es el límite establecido para considerar una lluvia como ácida normal. En los meses intermedios como en el caso de noviembre de 1990, se nota que la acidez del agua lluvia aumento (Figuras 7.1 a 7.5), pero no solamente se presento para estos meses sino que ocasionalmente se han obtenido pH bajos, que no se puede definir la causa; pero estos valores puntuales son indicio de lluvia ácida o con tendencia hacia la lluvia ácida.

#### b) Resultados Globales.

Según los datos de pH obtenidos en años anteriores no publicados y que se presentan por primera vez en este trabajo, indica que el pH ha disminuido en sus promedios anuales desde 1975 (ver figura anexo VIII) siendo su valor de pH promedio = 6.5, en 1990 fué de 6.0 y para 1990/1991 se registro 5.63 (Tabla 7.1) cuando el valor mínimo en 4.15 y el máximo 6.90 con % CV = 10.15 lo que prueba que la acidez de la lluvia ha sufrido un aumento, aunque no ha llegado a ser un problema ecológico todavía.

### 3.3.2 DISCUSION DE RESULTADOS DE "DIOXIDO DE CARBONO VRS. TIEMPO"

#### a) Resultados locales:

- La zona de muestreo de mayor promedio de CO<sub>2</sub> registrado corresponde a Ciudad Merliot (P-5) con 3.12 ppm (tabla 7.2) y el menor promedio para San Jacinto con 2.07 ppm (tabla 7.2).

El mayor dato puntual registrado de CO<sub>2</sub> libre es para el punto de muestreo de Zacamil (P-3) con 5.0 ppm (Tabla 7.2)

- La zona de muestreo de mayor variabilidad en los resultados es Soyapango (P-1) con un % c.v = 52.23 (Tabla 7.2).

- En base a los datos disponibles de contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en aguas lluvias se puede hacer la siguiente clasificación en orden decreciente sobre las zonas de mayor contenido CO<sub>2</sub> en el agua lluvia.

Ciudad Merliot (P-5) > Zacamil (P-3) > Lourdes (P-2) > Soyapango (P-1) > San Jacinto (P-4).

- Las figura 7.11 a 7.15 presentan una tendencia de valores altos a bajos de CO<sub>2</sub>. En el mes de abril de 1991 los valores registrados en los cinco puntos de muestreo fueron altos entre (NOTA: El análisis de Dioxido de carbono libre se efectua en

el segundo periodo de muestreo. (Enero 1991 - Mayo 1991)) 5.0-3.5 ppm, mientras que para mayo 1991, este valor bajó a niveles de 2.0-1.5 ppm (figuras 12, 13 y 14) probablemente esta variable sufre diluciones o modificaciones en las concentraciones debido a que las plantas lo utilizan en el proceso de fotosíntesis regulando el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera.

b) Resultados Globales:

Por la tendencia general en la figura (7.52), se observa un aumento del  $\text{CO}_2$  libre en el agua lluvia para el mes de abril; luego disminuye en mayo, probablemente las primeras lluvias son las que reportan mayor acidez debido a  $\text{CO}_2$  libre registrando valores de pH considerados como normales

### 8.3.3 DISCUSION DE RESULTADOS SOBRE SOLIDOS DISUELTOS VRS. TIEMPO EN EL AGUA LLUVIA.

a) Resultados Locales.

- El punto de muestreo con mayor dato puntual de sólidos disueltos corresponde a Ciudad Merliot (P-5) con 78.85 ppm y el de menor contenido es Soyapango (P-1) con 1.8 ppm (tabla 7.3)
- La zona de muestreo con mayor contenido de sólidos

disueltos promedio es Ciudad Merliot (P-5) con 47.914 ppm y el de menor es Lourdes (P-2) con 6.078 ppm (Centro de San Salvador).

b) Resultados Globales:

- El coeficiente de variación (% c.v.) para sólidos disueltos es de 114.15 (Tabla 7.3) lo que indica que hay una fuerte variación generada por el medio ambiente en el contenido de sólidos disueltos en el agua lluvia.
  
- Al observar la figura (7.53) pH VRS sólidos disueltos como se puede observar su tendencia es de subir y bajar. Notandose altas concentraciones en forma local para los meses de noviembre y diciembre de 1990 (Figura 7.6)  $\pm$  60 ppm, octubre noviembre 1990 (Figura 7.9)  $\pm$  60 ppm, abril mayo 1991 (Figura 7.10) con 80 ppm, lo que indica una alta variación ocasional con el tiempo y concuerda con los pH bajos obtenidos (ver Figura 7.1- 7.5) por lo que los sólidos disueltos totales son representativos de la cantidad de ácidos totales presentes en el agua lluvia. En la figura 7.53 se muestran los resultados para toda el área en estudio.

#### 8.3.4 DISCUSION DE RESULTADOS DE TEMPERATURA DE CAIDA DEL AGUA LLUVIA VRS. TIEMPO.

- En forma local, el punto de muestreo con menor temperatura de caída corresponde a Soyapango (P-1) con  $T = 21.023^{\circ}\text{C}$  y el valor mínimo del área metropolitana a San Jacinto (P-4) con  $T=16^{\circ}\text{C}$  (Tabla 7.4) y el de mayor a Soyapango con  $T=24.5^{\circ}\text{C}$ .
- El coeficiente de variación es bajo para los cinco puntos de muestreo y oscila entre 8.337- 18.786 % (Tabla 7.4) comparando contra otra variable (sólidos disueltos) lo que indica que con respecto a la temperatura la variación generada por el medio ambiente fué de menor efecto.

#### 8.3.5 DISCUSION DE RESULTADOS DE NITRATOS VRS. TIEMPO EN AGUA LLUVIA.

##### a) Resultados Locales:

- El punto de muestreo con mayor contenido promedio de Nitratos fué Soyapango (P-1) con 0.697 ppm, (Tabla 7.5)
- El valor mínimo puntual de Nitrato corresponde a Zacamil (P-3) y Lourdes (P-2) con 1.00 ppm y el valor máximo a Soyapango (P-1) con 1.55 ppm (Tabla 7.5)

- La variabilidad en los resultados es alta, en la cual está incidiendo grandemente el medio ambiente, así se tiene a Ciudad Merliot (P-5) con % cv 124.694 como la zona de mayor variabilidad y a Lourdes (P-2) con % cv 49.391 como la zona de menor variabilidad (Tabla 7.5)
- La tendencia de los resultados mostrados en la figuras 7.21 a 7.25, se aprecia que es de mayor a menor pero es interesante hacer notar que para los meses abril - mayo de 1991, en cuatro de los puntos de muestreo (P-1 a P-4) la tendencia en los nitratos fué en aumento, no así para Ciudad Merliot (P-5) que su aumento lo presenta en el mes de marzo (figuras 7.25) y para los meses de abril-mayo de 1991 ésta disminuyó.

#### b- Resultado Global

Se puede entonces decir que los niveles de nitratos a través del tiempo van en aumento. (figura 7.54).

El valor global promedio de nitratos en el area metropolitana de San Salvador y alrededores es de 0.57 y su variación es alta % cv = 80.2.

### 8.3.6 DISCUSION DE RESULTADOS DE SULFATOS VRS. TIEMPO EN AGUA LLUVIA.

#### a) Resultados locales.

-El punto de muestreo con mayor contenido de sulfatos fué Soyapango (P-1) con 10 ppm y el menor valor le corresponde a San Jacinto con 0.38 ppm (Tabla 7.6)

- La zona de muestreo de mayor promedio de sulfatos es Ciudad Merliot (P-5) con 6.75 ppm ( ver Tabla 7.6) y la de menor es Lourdes (P-2) con 3.02 ppm

- Los coeficientes de variación fueron altos , siendo el máximo valor para Lourdes (P-2) con un valor de 72.11 y el mínimo valor registrado fué para Ciudad Merliot con un valor de 24.24 (ver tabla 7.6)

- La tendencia de los figuras 7.16 y 7.20 es la de subir y bajar, para Soyapango se aprecia que en los meses de septiembre a diciembre de 1990 se dió un incremento en la concentración de sulfatos , esto es aún mayor en los meses de abril y mayo de 1991 con valores de hasta 10 ppm (figura 7.16), para Zacamil (P-3) los meses de septiembre a noviembre de 1990 se aprecia un ligero aumento en la concentración de sulfatos, hasta 6 ppm (figura, 7.18) y para los meses de abril y mayo de 1991 nuevamente se incrementa hasta valores de aproximadamente 8 ppm.

Para San Jacinto (P-4) (figura 7.19) de noviembre a diciembre de 1990 se nota un aumento en la concentración de sulfatos, y lo mismo sucede en los meses de abril a mayo de 1991, alcanzando valores de hasta 7 ppm.

#### b) Resultado Global

La tendencia general de los sulfatos con respecto al tiempo ha sido de aumento, siendo el valor promedio global igual a 4.26 y su % cv = 62, el cual es alto, debido a esta tendencia, se considera que los sulfatos están influyendo en los pH bajos de la lluvia.

---

### 8.3.7 DISCUSION DE RESULTADOS VARIABLES CONTRA pH.

En esta discusión se trata de establecer una relación entre la influencia de las variables analizadas con el grado de acidez que posea el agua lluvia, para ello cada variable VRS pH fue evaluada estadísticamente, para comprobar su relación, a continuación se discuten los resultados obtenidos.

Las relaciones entre variables que se presentan a continuación se consideran independientes de las demás. Si son significativas en la modificación de pH tendrá que presentar aún así una correlación de variables.

## 8.3.7.1 DISCUSION DE RESULTADOS pH vrs. SOLIDOS DISUELTOS.

## a) Discusión local.

-La tendencia que presenta la figura 7.26 correspondiente al punto de muestreo P-1 (Soyapango), es una disminución del pH a medida que los sólidos disueltos aumentan llegando a establecer una relación entre ambas variables, lo cual prueba la incidencia de los sólidos disueltos en la acidez del agua lluvia. La correlación es la siguiente:

$$1) \quad \text{Log}(Y) = -0.002X + 0.757452 \quad (1) \quad (r = -0.65, \% \alpha = 99)$$

-Otro punto de muestreo en el que se encontró relación corresponde a Lourdes (P-2) donde la correlación es :

$$2) \quad \text{Log}(Y) = -0.0058 + 0.7768 \quad (\text{ver gráfica 7.27}) \\ (r = -0.64, \% \alpha = 99)$$

En los demás puntos de muestreo no se obtuvo ninguna relación, probablemente no todos los sólidos disueltos registrados correspondían a la lluvia, no se descarta la posibilidad de contaminación con sólidos en la muestra lo

NOTA: Donde  $Y$  = Variable dependiente "pH"

$X$  = Variable independiente "Sólidos disueltos"

ual podría haber provocado la pérdida de la relación entre estas variables.

b) Discusión Global.

Al observar la figura global 7.47 se puede comentar que a mayor contenido de sólidos en el agua lluvia, mayor incidencia de pH ácido, lo que quiere decir que las sustancias ácidas fuertes sensiblemente aumentaron los sólidos y disminuyeron el pH.

#### 8.3.7.2 DISCUSION DE RESULTADOS pH vrs. DIOXIDO DE CARBONO

a) Discusión local

En ningún punto de muestreo se obtuvo relación entre estas variables pH vrs.  $\text{CO}_2$ .

b) Discusión Global.

Al observar la figura global 7.48 se nota que el mayor contenido de  $\text{CO}_2$  en el agua lluvia, no logró bajar el pH por debajo de 5; y es lógico ya que se conoce teóricamente que al saturar de  $\text{CO}_2$  el agua, el ácido carbónico que se genera provoca un pH de 5.6 en el agua.

#### 8.3.7.3 DISCUSION DE RESULTADOS "pH vrs. TEMPERATURA"

a) Discusión Local.

En ningún punto de muestreo se obtuvo relación entre estas variables.

b) Discusión Global.

En la figura global 7.46 se observa que a menor temperatura, mayor incidencia de pH ácido; pues las sustancias, principalmente las gaseosas, son más solubles.

8.3.7.4 DISCUSION DE RESULTADOS "pH vs. NITRATOS ( $\text{NO}_3^-$ ).

a) Discusión Local.

En forma local no se obtuvo ningún tipo de relación entre estas variables.

b) Discusión Global.

En la figura 7.49 no se observa una relación entre el pH y los  $\text{NO}_3^-$ , sin embargo entre valores de 0.28 a 0.75 hubo incidencia de pH ácidos, por posible presencia de ácido nítrico.

8.3.7.5 DISCUSION DE RESULTADOS "pH vs. SULFATOS ( $\text{SO}_4^-$ ).

a) Discusión Local.

Para el punto de muestreo de Soyapango (P-1), la tendencia que presenta la gráfica 7.41 es una disminución de pH a medida que las concentraciones de sulfato aumentan, llegando a establecerse una relación entre ambas variables. La correlación estadística es:

$$3) \quad \text{Log}(Y) = -0.0804X + 5.8348$$
$$(\gamma = -0.4, \% \alpha = 95)$$

En los demás puntos de muestreo no se obtuvo ninguna relación, estadísticamente aceptable, debido a que probablemente no todos los sulfatos registrados en la muestra provienen de ácido sulfúrico y esto provocó un aumento notable en la concentración de sulfatos pero poco incidente en la acidez del agua lluvia.

#### 8.4 VALIDEZ ESTADÍSTICA DEL MUESTREO Y ANÁLISIS REALIZADO

Se obtuvieron al final del periodo de investigación, 81 muestras, las cuales fueron analizadas por duplicados, estas repeticiones se evaluaron estadísticamente mediante la "t" de Student, en donde se obtuvo los siguientes resultados:

---

NOTA: Y = Variable dependiente, "pH"

X = Variable independiente, "Sulfatos"

CUADRO 8.1  
 RESULTADOS OBTENIDOS DE EVALUACION ESTADISTICA "t" DE STUDENT  
 APLICADOS A RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS REALIZADOS  
 EN AGUAS LLUVIAS DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y  
 ALREDEDORES

Variable	t Calculada	t tabla (1 %)	Conclusión
pH	0.84	2.638	No hay diferencia estadística
Sólidos disueltos	1.88	2.638	No hay diferencia estadística
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	0.842	2.638	No hay diferencia estadística
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	0.810	2.638	No hay diferencia estadística
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	0.103	2.624	No hay diferencia estadística

Por lo anterior se tiene la seguridad de que tanto las actividades de muestreo y análisis físicoquímico se realizaron en forma aceptable.

## C A P I T U L O IX

9.0 ALTERNATIVAS DE SOLUCION Y ASPECTOS LEGALES PARA  
PREVENIR CONTAMINACION Y SUS CONSECUENCIAS (LLUVIA  
ACIDA)

La lluvia ácida en El salvador, todavía no se ha desarrollado como un problema ecológico, aunque se detectaron lluvias con pH bajos que reflejan que aun "no" teniendo una industria química desarrollada el problema se presentó. Es de esperar que para el futuro, con el desarrollo de la industria química éste panorama cambie y la lluvia ácida se haga presente como lo ha hecho en diversos países industrializados. A continuación se dan las diferentes propuestas que podrían ser soluciones preventivas al problema.

## 9.1 PROPUESTAS TECNOLOGICAS

## 9.1.1 BUSQUEDA DE NUEVAS FUENTES DE ENERGIA.

Una alternativa para minimizar la cantidad de contaminantes emanados al aire sería la utilización de una nueva fuente de energía que "no" proporcione contaminantes, esta característica es cubierta con la energía solar, la cual no es utilizada en la mayor parte del mundo, sino que

es tecnología de países privilegiados como Alemania, Japón y otros en los cuales se encuentra (esta tecnología) en vías de desarrollo. Así se tienen casas con su propio sistema de energía, autos, lanchas, motocicletas, etc. todo basado en la energía solar. Sistemas que disponen de celdas fotoeléctricas que absorben y transforman la energía solar en energía utilizable por los equipos que se deseen hacer funcionar. Esto puede ser una respuesta positiva de parte del hombre para su medio ambiente y evitar de esta forma consecuencias graves como el desastre de "Donora"(1) o la generación de la lluvia ácida como el caso de México (8) y con el tiempo disponer de una atmósfera pura y saludabale para el mismo hombre. Además de esta fuente está la eólica que puede ser también utilizada, pero su campo de aplicación es más limitado.

#### 9.1.2 TRATAMIENTOS PARA ANTES DEL PROCESO.

Otra forma de prevenir este problema, consiste en tratar la fuente de energía antes de ser utilizada en la industria; reduciendo los niveles de contaminates que intervienen en la formación de la lluvia ácida, así se puede pensar en:

Desulfurización de aceites combustibles .

Se puede lograr por tres métodos:

a- hidrodeshulfurización

- b- tratamiento con hidrógeno
- c- gasificación de un aceite residual(36)

a- Hidrodesulfurización:

Consiste de una forma de hidrocracking (rompimiento del hidrógeno); en el cual el hidrógeno está reaccionando con el aceite bajo calentamiento y presión

En presencia de catalizadores el hidrógeno se combina con el azufre en el aceite, para formar sulfuro de hidrógeno; el cual puede ser convertido en azufre elemental. Una característica del proceso es que el porcentaje de desulfurización está incrementando el rendimiento (ver antecedentes) y el residual del aceite combustible disminuye. Ej. de procesos.

- H-oil, proceso diseñado por Hydrocarbon Research Inc.
- H-oil, proceso diseñado por Cities Service Oil Co.
- The Isomax, proceso diseñado por Chevron Research Co.
- Gulf-HDS, proceso diseñado por Gulf Research and Development Company (36)

b- Tratamiento con hidrógeno:

Es un proceso de refinación ordinaria, de forma rápida de hidrocracking (rompimiento con hidrógeno) y se le encuentra amplios usos en: transformar y catalizar el rompimiento del hidrógeno en una línea alimentadora de combustible, el rendimiento mejora, el producto es de

mejor calidad, el azufre es recobrado.

En este proceso la alimentación es mezclada con el hidrógeno, calentada y reaccionada en presencia de un catalizador de níquel o Cobalto-Molibdeno-Alúmina (36)

c- Gasificación del aceite residual.

La corriente de aceite combustible primeramente combustiona con una cantidad de aire de 1-3 veces su valor estequiométrico. El gas resultante contiene hidrógeno y  $\text{CO}_2$ , el cual entra en contacto con  $\text{CaO}$  en el absorbedor del cual se obtiene un producto desulfurizado, es alimentado al ciclón y posteriormemnte a una caldera convencional. El sulfato de calcio formado en el absorbedor es removido con agua y en contacto con  $\text{CO}_2$  es convertido en Carbonato de Calcio y  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 9.1.3 TRATAMIENTO EN EL PROCESO

Lo que se plantea es que dentro del proceso donde se efectúa la combustión y generación de contaminantes, en ese punto el rango de emisiones de un contaminante del aire puede ser reducido por:

a) Modificaciones en el proceso:

El cual consiste en efectuar modificaciones a equipos industriales y no industriales que operen a base de combustibles fósiles con el propósito de minimizar las emanaciones tóxicas. Ejemplos:

- 1) Modificaciones en el carburador de un automóvil y preveer así la excesiva concentración de  $\text{CO}_2$  e hidrocarburos (36).
  - 2) Adición de equipos auxiliares como catalizadores o sistemas "Turbo" en un motor de combustión interna.
- b) Sustitución de Materiales usados en el proceso que resultan en una reducción en las emisiones de contaminantes. Ejemplo: el uso de combustibles con bajo contenido de azufre como el gas natural reemplazando un combustible con alto contenido de azufre.

#### 9.1.4 TRATAMIENTO POST-PROCESO

Una vez quemado el combustible se dispone de desechos en estado gaseoso, el cual contiene contaminantes que van a ser descargados a la atmósfera, a continuación se presentan dos alternativas para el tratamiento de estas emanaciones:

- a) Absorción
- b) Adsorción

a- Absorción :

Es un proceso en el cual un gas soluble es transferido de una corriente de gas a un líquido. El gas puede ser disuelto en el líquido físicamente o podría reaccionar con un constituyente disuelto en el líquido (9). La absorción gaseosa es una operación que depende

principalmente de las relaciones de equilibrio vapor-líquido, lo cual determinará la cantidad necesaria de líquido para absorber la cantidad requerida del compuesto soluble transportado por el agua.

La transferencia de masa toma lugar a través de la interfase líquido-gas. La interfase está formada por: una película líquida, burbujas de gas o gotas líquidas (36).

El contaminante gaseoso a ser removido, deberá presentar una alta solubilidad en medios líquidos; así por ejemplo para absorber  $H_2S$  y  $CO_2$  se utilizan: Etalonamina, amoníaco en solución acuosa con producción final de sulfato de amonio; soluciones de sales alcalinas (carbonato de sodio y carbonato de potasio) (36).

Equipos utilizados que se basan en absorción:

i) Torres Empacadas.

Es la que más se utiliza para la absorción de gases y en los problemas de contaminación. Cuando se rocían, en forma de gotitas muy finas, grandes cantidades de agua o de otro absorbente en una torre y se pone en contacto con el gas, tiene lugar la absorción del vapor o gas soluble en el interior de la cámara (36)

ii) Columnas Rellenas:

Es una columna vertical con una o más secciones que

contienen un relleno de algún material de cerámica, metal o plástico, que proporciona una gran área superficial por unidad de volumen, teniendo así mayor contacto para la absorción.

b- Adsorción:

Es un fenómeno de superficie molecular en el que las moléculas de un fluido se ponen en contacto con la superficie de un sólido y se adhiere a ella (36).

Los adsorbentes que se emplean en el control de la contaminación del aire constan de diferentes tipos de material: carbón activado, gel de sílice, alúmina y bauxita. Por razones prácticas el carbón activado es el único que se emplea más para eliminar los vapores orgánicos de las emisiones gaseosas industriales (36). El equipo que se utiliza es el lecho fluidizado con carbón activado.

2.1.5 TRATAMIENTO DE PARTICULAS:

Las industrias además de contaminantes gaseosos aportan partículas; las cuales pueden ser tratadas de las siguientes maneras:

A- Usando colectores mecánicos: estos aprovechan la diferencia de peso específico para separar el polvo más pesado del gas, que es mas ligero. Entre ellos se

Lienen:

- a) Cámara de sedimentación por gravedad
- b) colector con placa de desviación.
- c) Ciclones de gran eficiencia

De los sistemas mencionados anteriormente solamente se hablará de los ciclones de gran eficiencia porque es uno de los que más se adapta a esta necesidad.

Los colectores de centrífuga comunmente llamados de ciclón, separan la materia particulada en el gas que la transporta transformando la velocidad de la corriente que entra en un remolino exterior descendente y otro remolino interior ascendente, ambos en el interior del cilindro superior y del cono inferior del ciclón. El remolino descendente que gira a gran velocidad envía por fuerza centrífuga el polvo por ser más pesado, contra las paredes del ciclón y lo lanza al interior de la tolva de la cual se extrae periódicamente. El remolino ascendente de gas limpio que procede en toda su longitud de la parte interna del remolino descendente, abandona el ciclón por el tubo telescopado que se encuentra en la parte superior del cilindro

El patrón de flujo en el interior del ciclón puede ser sencillo o complejo de acuerdo con muchas variables:

El tipo de entrada, las proporciones dimensionales y la inclusión o exclusión de un eductor para partículas muy finas o la interpolación de placas desviadoras (9).

B- Filtros de tejidos: Es uno de los colectores de más aplicaciones para la eliminación de partículas secas y sólidas de una corriente de aire o gases es el de filtro de material tejido, en el que el gas que transporta el polvo pasa en una sola dirección a través de algún tipo de filtro de un paño tejido o de fieltro. Todos funcionan atrapando el polvo en el lado de la tela por donde llega el aire sucio y permitiendo que el gas pase por los intersticios entre las hebras tejidas de la tela.

C- Remoción Combinada de Partículas y gases.

Muchos procesos descargan tanto partículas como gases contaminantes simultáneamente. En la contaminación del aire un control ideal es la combinación de un separador ciclónico con una torre empacada

D- Purificadores de gases por vía húmeda.

Los purificadores de gases por vía húmeda emplea un líquido, generalmente agua, para capturar y después eliminar las partículas de una corriente de gas.

En una cámara de sedimentación por gravedad con mecanismos para rociar, en la que finas gotitas de agua que es rociada lavan el gas y hacen que se deposite el polvo como lodo en el tanque de sedimentación obteniendo un flujo de gas libre de partículas (?).

E- Precipitadores eléctricos, : Separa las partículas suspendidas en una corriente de gas, cargando primero el polvo hasta un voltaje negativo de 50,000 v, precipitándolo en un electrodo colector conectado a tierra y después descargando el polvo reunido en una tolva. Dejando así la corriente gaseosa libre de partículas sólidas (9).

#### 9.1.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION EN ALGUNAS INDUSTRIAS

En el cuadro que se presenta un listado de industrias en la que se especifica su actividad laboral y se plantea el mecanismo que podría utilizar para el tratamiento de sus desechos industriales atmosféricos. Varias de las que se presentan en lista no existen en el país, pero se incluyen, ya que en un futuro podrían establecerse.

CUADRO 9.1  
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE  
CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA (9)

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES	
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS
PRODUCTOS DE ROCAS		
Horno del proceso húmedo del cemento	CM, PE	CC, LH
Horno de proceso seco del cemento	CM, PE, FT	PE, CM
Molino de cemento	FT	EP, CM
Silos de cemento	FT	
Preparación materia prima	CM, FT	PE
Secador de asfalto	CM, LH	PE, FT
Secador de carbón	CM, LH	FT
Molinos de carbón	FT	
Horno para Alúmina	CM, FT, PE	LH
Horno para Bauxita	CM, PE	FT, LH
Horno para yeso	CM, FT, PE	FT, LH
Oxido de Magnesio	CM	FT, LH, PE
Horno para cal	CM, PE	FT, LH
Horno de fosfato	CM, LH, PE	FT
Acabado	FT	CM, PE
FUNDICION E INDUSTRIAL		
Cubilote ferroso	LH	CM, PE pasan...

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES	
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS
...vienen		
Cubilote no ferroso	FT, PE	CM, LH
Cuarto de limpieza y fundición	PT, PE	CM, LH
PULPA Y PAPEL		
Horno de recuperación del licor negro residual	PE	LH
Horno de cal	CM, LH	PE, CC
Tanque disolvente químico	LH	CM, FT, PE
ENERGIA ELECTRICA TIPO DE CONBUSTIBLE		
Carbón de parrilla mecánica	CM	PE, CC, LH
Carbón parrilla esparcida	CM	PE, CC, LH
Carbón de " pulverizada	PE, CC	LH
Petróleo	CM	PE
Gas natural	NINGUNO	NINGUNO
Lignita	PE, CC	LH
Coque fluido	CM, PE	LH
Bagazo	CM	PE
Madera y corteza de árbol	PE, CC	LH
INCINADORES DE BASURA		
Edificios de departamentos	LH	PE
Ind. (oxidante térmica)	PE, LH	CM, CC
Municipal	PE, LH	CM, CC

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES	
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS
REFINERIA DE PETROLEO Y PRODUCTOS QUIMICOS Instalaciones de desintegra- dor Catalítico-reactor	CM	NINGUNO
-regenerador	CM	NINGUNO
-Caldera de CO	PE	CM, LH
Rocío de ácido sulfúrico	PE, LH	CM
Rocío de ácido fosfórico	LH	
Rocío de ácido nítrico		LH
Negro de carbón	FT	CM, PE, LH
Destilación de esquisto bituminoso	CM, CC	PE
Preparación de materia primas	CM	LH, PE, FT

\* CM = Colector Mecánico; FT = Filtro de Tejido  
LH = Lavador por vía húmeda; PE = Precipitador  
eléctrico; CC = Colector combinado

## 9.2 ASPECTOS LEGALES QUE PUEDEN SER UTILES PARA PREVENIR LA LLUVIA ACIDA EN EL SALVADOR

En El Salvador, no existen leyes que regulen las emanaciones gaseosas tóxicas. Se disponen de reglamentaciones generales, pero no específicas al problema de contaminación; no proporcionan gran ayuda para la prevención del problema, éstas se encuentran en:

- La Constitución Política de la República de El Salvador
- El Código de Salud
- Publicación de leyes y reglamentos vigentes sobre seguridad e higiene en los Centros de trabajo
- El Reglamento General de Tránsito
- El Código Penal

### 9.2.1 LEYES SOBRE PROTECCION Y CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE EN EL SALVADOR

#### 9.2.1.1 CODIGO DE SANIDAD Y ANEXOS

Capítulo IV. Higiene en el interior de fábricas.

Art. 102 Las operaciones que den origen a gases o polvos nocivos se practicarán en las fábricas, siempre que fuere posible, conforme a los principios de la ciencia, en aparatos cerrados o dispuestos de tal manera que los productos nocivos sean retenidos y no se viertan a la

atmósfera.

Capítulo V. Fábricas, Industrias y demás establecimientos que necesitan permiso de la Dirección General de Sanidad para establecerse.

Art. 125 En las industrias y fábricas que produzcan humo se emplearán tubos o chimeneas elevadas a una altura que a juicio de la Dirección General de Sanidad, puedan esparcir el humo sin molestar el vecindario y que estén dispuestos de tal manera que no ocasionen peligro de incendio.

Art. 126 Todo horno , bracero o cualquier otro aparato donde haya combustible, aún cuando éste sea de los que no producen humo, deberá tener un tubo de desprendimiento de gases, en comunicación directa con el aire exterior.

Art. 127 Si, a pesar de las disposiciones anteriores, los humos de las fábricas fueren molestos para el vecindario, se obligará a los dueños de éstas, a evitar esos inconvenientes o a retirarlas a lugares donde no perjudiquen o molesten.

9.2.1.2 CODIGO DE SALUD.

Tomado del Diario Oficial, Tomo 299 No. 86

Miércoles 11 de mayo de 1988

San Salvador, El Salvador, C. A.

Decreto No. 955

### Sección 7

Saneamiento del medio urbano y rural.

#### Art. 56

El Ministerio por medio de los organismos regionales, departamentales y locales de salud, desarrollarán programas de saneamiento ambiental, encaminados a lograr en las comunidades:

- La eliminación y control de contaminantes del agua de consumo, del suelo y del aire.
- La eliminación y control de otros riesgos ambientales.

9.2.1.3 REGLAMENTO GENERAL SOBRE SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS CENTROS DE TRABAJO (Decreto No. 7 Diario Oficial No. 27, tomo 230 del 9 de febrero de 1971)

#### Capítulo II. De la Ventilación.

Art. 17 Todo proceso industrial que dé origen a polvos, gases, vapores, humos o emanaciones nocivas de cualquier género debe contar con dispositivos destinados a evitar que dichos polvos, vapores, humos, emanaciones o gases, contaminen o vicien el aire y a disponer de ellos en tal forma, que no constituyan un peligro para la salud de los

obreros o para la higiene de los habitantes o poblaciones vecinas.

Art. 109

Corresponde al Ministerio:

Autorizar la instalación y funcionamiento de las fábricas y demás establecimientos industriales, en tal forma que no constituyan un peligro para la salud de los trabajadores y de la población en general y se ajuste al reglamento correspondiente.

9.2.1.4 REGLAMENTO GENERAL DE TRANSITO ( Decreto No. 13, Diario Oficial No. 277, Tomo No.141 del 14 de diciembre de 1946)

Art. 96. Los autobuses y camionetas accionadas por motores de aceite, tendrán adaptado a su tubo de escape, otro tubo, que saliendo verticalmente por la parte posterior izquierda de la carrocería, sobrepase diez centímetros del techo de la cubierta para salida hacia arriba del humo. Dicho tubo deberá ir forrado con asbesto y otra materia aislante en la parte que ofrezca peligro para el pasajero.

9.2.1.5 CODIGO PENAL

Tomado del Diario Oficial, Tomo 238 No. 63.

30 de marzo de 1973.

San Salvador, El Salvador, C.A.

Decreto No. 270.

Tercera Parte

Capítulo III

Delitos contra la Salud

Corrupción o Contaminación de ambiente.

Art. 299 El que infringiere las medidas adoptadas por las autoridades competentes destinadas a impedir la contaminación del ambiente, que pueda dañar la vida o la salud de las personas, será sancionada con diez a sesenta días de multa.

#### 9.2.2 TENDENCIAS LEGISLATIVAS Y REGLAMENTARIAS (EE UU).

A continuación se presentan los estándares nacionales en U.S.A. de emisión propuestos por la EPA. Con el objeto de tener en cuenta estos datos a la hora de presentar propuestas para el control de las emanaciones en diferentes industrias.

##### 9.2.2.1 ESTANDARES NACIONALES DE EMISION (EE UU).

A partir del 17 de agosto de 1971, el Director de la EPA propuso que tendrían que entrar en vigor los estándares de funcionamiento de las nuevas fuentes estáticas de emisiones

para los generadores de vapor, las fábricas de Cemento Portland, los incineradores, las plantas de ácido nítrico y las de ácido sulfúrico. Los estándares propuestos incluyen límite de emisiones para uno o más de los siguientes cuatro contaminantes: Partículas, bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxido de nitrógeno y aerosoles de ácido sulfurico. La proposición incluye métodos para probar la eficacia, vigilancia de los gases de la chimenea, anotación de datos e información, y los trámites previos a la construcción que exige la EPA. El 23 de diciembre de 1971, se publicaron los estándares finales para cualquier fábrica que iniciara la construcción o ampliación después del 17 de agosto de 1971.

Incineradores: Para quemas de más de 50 toneladas diarias el estándar de emisión de partículas es una concentración máxima promedio de  $0.18 \text{ gr/m}^3$  (temperatura y presión normales) durante 2 horas, corregida para un 12 % de  $\text{CO}_2$ .

Plantas de ácido nítrico: El estándar de funcionamiento es un promedio máximo (2hr) de 1.5 Kg de emisiones de óxido de nitrógeno por tonelada métrica de ácido producido, expresado como bióxido de nitrógeno-estándar aplicable a industrias que produzcan de 30 a 70 % ácido nítrico por el proceso de presión o por el de presión atmosférica.

Cemento Portland: Para proceso en húmedo o en seco, los

estándares de emisión de partículas para hornos son de un máximo de 0.15 kg/Tonelada métrica de alimentación durante dos horas y un estándar de opacidad de 10 % máximo.

Centrales termoeléctricas: Con un rendimiento calórico de 17,500 kcal/seg. El estándar de partícula es un promedio máximo (de dos horas) de 0.18 gr/millón de calorías. El estándar de opacidad es de 20 %, el estándar para SO<sub>2</sub> es de 2.2 gr/millón de calorías, para los óxidos de nitrógeno (2hr) para combustible gaseoso 0.36 gr/millón de calorías; para combustibles sólidos 1.26 gr/millón de calorías.

Fábricas de ácido sulfúrico: El estándar de SO<sub>2</sub> en un máximo de 2 horas de un promedio de emisión es de 2 Kg/tonelada de ácido producido. Para el rocío de ácido sulfúrico de un máximo de emisión (2hr) de 0.75 Kg/tonelada métrica de ácido producido .(9)

## 10.0 OBSERVACIONES

- 1- Existe desatención de instituciones gubernamentales y privadas para efectuar estudios serios de esta naturaleza.
- 2- Existe falta de organismos competentes para verificación y formulación de leyes destinadas a la conservación del medio ambiente.
- 3- Las situaciones sociales, económicas, y nivel educacional, hacen que una población no se interese en los problemas ecológicos.
- 4- Para la realización del muestreo y análisis físico y químico de la lluvia ácida se utilizaron técnicas acondicionadas a los recursos disponibles en el país.
- 5- Este estudio es preliminar, el cual ofrece las bases para posteriores investigaciones sobre lluvia ácida en el país.
- 6- El desarrollo de las marchas analíticas para Dióxido de Carbono, nitratos, sulfatos, cloruros, se desarrolló gracias a la asesoría suministrada por especialista en el campo de análisis químico.

## 11 CONCLUSIONES

- 1- La Contaminación atmosférica causada por el hombre, está aumentando en cantidad exagerada por lo que está llegando a "niveles insostenibles" para la naturaleza, prueba de ello es el aparecimiento de una nueva forma de contaminación en el mundo, como lo es la lluvia ácida.
- 2- La contaminación atmosférica se vuelve un factor distorsionante muy influyente cada vez más en la vida humana a tal grado que ha paralizado las actividades productivas de algunos países, y causado malestares físicos en las personas y pérdidas de vidas humanas.
- 3- La contaminación atmosférica es mundial ya que varios de los contaminantes, pueden permanecer por largo tiempo en la atmósfera, transportándose libremente, desconociendo fronteras, por esta razón, países que no son los causantes sufren las consecuencias de la contaminación, entre éstas la lluvia ácida.
- 4- Las reacciones químicas que se pueden dar en la atmósfera son muy diversas debido a la cantidad de factores que intervienen, por lo que se genera un grado de incertidumbre en el proceso de generación de la "lluvia ácida".

- 5- Un Contaminante primario de la atmósfera no necesariamente tiene que reaccionar para formar un contaminante complejo, por lo que no todo contaminante generará lluvia ácida.
- 6- En estos últimos años el problema de la lluvia ácida está adquiriendo importancia, debido a los graves daños que está causando en los países industrializados; como: Alemania, EE UU, Canadá, Japón, México, y otros.
- 7- Se puede concluir que en El Salvador, en forma general la lluvia no es gravemente ácida, pero por los datos recabados se puede decir que la tendencia en su acidez, cada año va en aumento por lo que de seguir así, dentro de poco tiempo se estará sufriendo los dramáticos y graves efectos nocivos de la lluvia ácida.
- 8- En El Salvador se comprobó la lluvia ácida en casos particulares o específicos, entre estos la generada por accidente industrial (apendice VII) situación que debe tomarse en cuenta ya que al incrementarse el número de industrias químicas se tendrá mayor probabilidad de tener lluvia ácida, provocada o accidental.
- 9- La zona industrial de la ciudad de Soyapango resultó ser la de mayor acidez en la lluvia en la ciudad de San

Salvador y alrededores, posiblemente debido a las emanaciones industriales o de otros tipos.

10-La lluvia ácida es capaz de acidificar suelos, dañar edificaciones, atrofiar vida acuática, dañar plantas, corroer metales y así como los problemas que un ácido, aunque sea débil pueda causar.

11-Los puntos de muestreo para la ciudad de San Salvador y alrededores reflejaron las verdaderas características del fenómeno estudiado.

12-Las marchas analíticas utilizadas son pioneras en ser utilizadas en el estudio de la lluvia ácida, en las cuales se prescinde de equipo sofisticado, sin que por ello se pierda confiabilidad en los métodos.

13-Que las reglamentaciones existentes en el país no son "adecuadas" en los aspectos ecológicos, por lo que es necesario la formulación de leyes específicas; para la conservación del medio ambiente equilibrado.'

14-La conciencia ecológica en el país no está desarrollada, ya que algunas emanaciones son expelidas al ambiente, aun conociendo que son dañinas.

15-La existencia de ácido clorhídrico en la lluvia fué

nula en el periodo de realización del estudio.

16-Los gases en la atmósfera a menor temperatura se concentran y provocan acidez en el agua lluvia.

17-La acidez promedio del agua lluvia en el área metropolitana de San Salvador y alrededores para el periodo de invierno de 1990/1991 fué de pH = 5.63. Su valor máximo fué 6.90 y el mínimo de 4.15, el porcentaje de variación de 10.15 %

18-La zona d mayor contaminación con CO<sub>2</sub> en el agua lluvia fué Ciudad Merliot (P-5) con 3.12 ppm (dato promedio local) y el dato promedio anual de CO<sub>2</sub> es de 2.64 ppm.

19-El punto de muestreo con mayor contenido promedio de sólidos disueltos fué Ciudad Merliot (P-5) con 47.914 ppm y el valor promedio anual del área en estudio fué de 17.46 ppm.

20-El punto de muestreo con mayor contenido promedio de nitratos corresponde a la Ciudad de Soyapango (P-1) con 0.697 ppm y el valor promedio anual del área en estudio es de 0.57 ppm.

21-Ciudad Merliot (P-5) fué el punto de muestreo que

registró el mayor contenido promedio de sulfatos en agua lluvia con valor de 6.747 ppm y su valor promedio anual para el área en estudio es 4.259 ppm.

22-Las únicas variables que presentaron correlación puntual, los pH fueron: sólidos disueltos para los puntos de muestreo de Soyapango (P-1), el centro de San Salvador, Barrio Lourdes (P-2) y los sulfatos para el punto de muestreo en Soyapango (P-1).

23-Que la acidez del agua lluvia en El Salvador viene afectada principalmente por sulfatos, en segundo lugar nitratos y por último por dióxido de Carbono.

## 12.0 RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda llevar una continuidad en el estudio de la "lluvia ácida", tratando de mejorar los métodos de muestreo y análisis fisicoquímicos que se han utilizado en el presente trabajo, como por ejemplo el uso de recolectores automáticos de lluvia ácida.
- 2- Se recomienda a las Universidades, el destinar fondos para realizar estudios de investigación similares al presente.
- 3- Se recomienda un mejor control sobre la industria química en cuanto a las descargas de sus desechos, tanto en las existentes, como en las que están en nacimiento.
- 4- Se recomienda el uso de catalizadores y filtros en los escapes de los vehículos automotores.
- 5- Se recomienda a los ministerios de Salud Pública y el de Agricultura y Ganadería competentes que realicen investigaciones y control estatal de las contaminaciones atmosféricas.
- 6- Se recomienda que el alcance para próximos estudios sea mayor y no se limite a la zona metropolitana de San

Salvador

- 7- Se recomienda el desarrollar métodos rápidos y confiables de análisis para realizarse en el campo de recolección, después de obtenida la muestra.
- 8- Se recomienda la continuidad del análisis de ácido clorhídrico en el agua lluvia, aunque no se registre su existencia, en un momento dado, este puede aparecer.
- 9- Se recomienda que sea la Universidad de El Salvador (UES), un ente que vele por la situación ecológica en El Salvador, que contribuya al control de las emanaciones de las Industriales al ambiente, y que tome las medidas necesarias para prevenir la contaminación y sus consecuencias, como es el caso de lluvia ácida.
- 10- Que las soluciones preventivas a la lluvia ácida deben de iniciarse de inmediato y no esperar a que se presente el problema.

## 13.0 REFERENCIAS

- 1- "Manual del curso de Contaminación Atmosférica", Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, (1975).
- 2- Albert, A. L., "Curso de Básico de Toxicología Ambiental", Mexico (1985).
- 3- "La Pura Verdad". Revista de Comprensión, vol. 16, No. 2, impreso en Inglaterra (1983).
- 4- "La Pura Verdad". Revista de Comprensión, vol. 19, No. 1, impreso en Inglaterra (1986).
- 5- Bovard J., "Catastrofe Ecológica en Europa Oriental". Revista Selecciones del Readers Digest, Marzo (1988).
- 6- "Environmental Science & Tecnology ES & T", Revista: USA vol. 13, No. 4, april (1979).
- 7- Environmental protección Agency, "Research Summary ago Rain", Boletín, USA, october (1979).
- 8- El Diario de Hoy EFE, "Lluvia Acida en México"; periódico del 25 de junio, El Salvador (1990).

- 9- Ross, R.D., "La Industria y la Contaminación del Aire"  
Segunda Edición, Impreso en México por Editorial "Diana,  
S.A.", (1974).
- 10- Ecología - Contaminación - Medioambiental. Libro sin nota  
tipográfica, México.
- 11- Viscarra A., "Tecnósfera. La Atmósfera Contaminada y su  
relación con el público", Mexico (1964).
- 12- Zelaya, B, V., "Contaminación Ambiental de la Ciudad de San  
Salvador. Causas y propuestas de posibles Soluciones",  
Trabajo de graduación, Universidad de El Salvador (1989).
- 13- "Environmental Science & Technology"; Revista, vol 12, No.  
9, USA september (1978).
- 14- Enviromental Protection Agency., "Research Summary Acid  
rain", Boletín, USA october 1979.
- 15- Piñon, H, R. Menendez "Química Elemental", Guatemala (1962).
- 16- Slabaugh, w., T. D. Parson., "Química General", 5ª ed.  
Limusa - Wiley, S.A. México (1973).

- 17- Maron, H. S. Pru Hon. "Fundamentos de fisicoquímica", 3ª ed. Limusa, México (1982).
- 18- HOUGHTON MIFFLIN COMPANY BOSTON. Second College edition the American Heritage Dictionary. USA. (1985).
- 19- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. "Contaminación de la Atmósfera" Serie de monografía No. 46; 1ª ed. Printed in Switzerland (1962).
- 20- "Environmental Science & technology ES & T", Revista, USA, vol 13, No. 11, november (1979).
- 21- "CANADA TODAY/D'AUJORD'HUI, "How many more lake have todie?" Revista, vol 12, No. 2, Canada, fed. (1981).
- 22- "Environmental Science & technogy ES & T", Revista, USA vol. 13, No. 4 may (1979).
- 23- Arred, T.J. "Química General", 4ª ed. McGraw Hill, México (1972).
- 24- "DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSO", Boletín informativo, El Salvador (1990).

- 25- CHEMICAL - EDUCATION MATERIAL STUDY; "Química una Ciencia experimental", Revista, México (1966).
- 26- "Air Pollution Control, Guidebook for management", 2ª ed. McGraw - Hill, USA. (1974).
- 27- Miller, C.G., L.A. Berry., "Acid Rain, a Sourcebook for Young People". Julian Messner, New York (1986).
- 28- Albert, A.L. "curso básico de toxicología ambiental", metepec, México (1987).
- 29- Pringle, L., "Rain of Troubles". The Science and Politics of Acid Rain". Macmillan Publishing Company, New York (1988).
- 30- Entrevista personal con el Ing. José Salvador Vásquez O'connor, Asesor del Departamento General de Tránsito. San Salvador, Diciembre (1990).
- 31- Gomez Romero, M.O., "Problemas Ambientales en El Salvador un enfoque de Ingeniería Química", Trabajo de Graduación, San Salvador, Universidad de El Salvador, (1982).
- 32- Organización Mundial de la Salud. "Guía Operacional GEMS", Ginebra (1978).

- 33- Manual de Laboratorio, "Química Analítica", Universidad de El Salvador, San Saslvador.
- 34- Manual de Laboratorio, "Bauch & Lomb", New York (1974).
- 35- Segura Lemus, V.M., "Metodología de Análisis Químico en Agua Lluvia"; San Salvador, El Salvador (1990).
- 36- Besner, ph.D. McElloy Co. Inc, "Control of the Emissions of Sulfur Oxide", Texas USA (1970).

ANEXO I

ESTACIONES DE LA RED PANAMERICANA DE MUESTREO DE LA CONTAMINACION  
 DEL AIRE EN EL ORDEN DECRECIENTE DEL PROMEDIO DE LOS  
 PROMEDIOS MENSUALES DE LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES

1967 - 1970

POLVO SEDIMENTABLE		POLVO EN SUSPENSION		ANHIDRIDO SULFUROSO	
ESTACIONES	Prom. Gral. (mg/cm /30 d)	Estaciones	Prom.Gral. (Microg/m )	Estaciones	Prom. Gral. Microg/m )
1. México 3	3.26	Sao Paulo	169.0	México 10	146.6
2. México 2	3.09	Buenos Aires	167.4	Caracas 3	135.6
3. México 10	2.11	México 3	145.3	México 3	129.2
4. Córdoba	1.81	B.Aires 2-3-4	125.7	México 1	112.7
5. México 5	1.67	R. de Janeiro	107.6	Santiago 1	81.0
6. Montevideo	1.62	México 5	105.1	N.R Sao Paulo	77.1
7. Caracas 1	1.55	México 1	99.6	México 6	74.1
8. México 7	1.54	Santiago 2	97.4	México 8	73.9
9. México 1	1.48	México 7	96.6	Santiago 2	72.4
10. México 4	1.39	México 10	93.8	La Habana	72.1
11. Bogotá	1.31	Santiago 1	93.1	México 7	71.9 N.R
12. Sao Paulo	1.16	Montevideo	86.7	México 5	59.5
13. México 6	1.14	México 2	85.4	México 2	54.8
14. B.Aires 2-3-4-1	1.12	México 8	80.2	R. de Janeiro	51.3
15. México 9	1.12	México 4	77.2	México 4	50.8
16. Porto Alegre	1.09	Bogotá	76.1	Montevideo	40.7
17. México 8	1.04	Caracas 1	76.1	Buenos Aires 1	38.2
18. La Habana	0.74	El Salvador 1	72.3	Bogotá	36.4
19. Kingston	0.69	México 5	62.0	Porto Alegre	23.9
20. Caracas 4.	0.66	México 9	50.1	B.Aires 2-3-4-22	22.2
21. R.de Janeiro	0.64	Córdoba	43.4	Caracas 2	19.2
22. Santiago 1	0.64	Kingston	40.9	Caracas 1	16.1
23. Lima	0.52 N.R.	Lima	32.9	Caracas 4	15.2
24. San Salvador	0.46	Porto Alegre	21.6	Kingston	10.8
25. Caracas 3	0.39	Caracas 4	15.0	Córdoba	8.3
26. Caracas 2	0.38	Caracas 3	14.6	Lima	8.0
27. -		Caracas 2	13.8	San Salvador 1	7.6

POLVO SEDIMENTABLE		POLVO EN SUSPENSION		ANHIDRIDO SULFUROSO	
ESTACIONES	Prom.Gral. mg/cm /30 d.	ESTACIONES	Prom.Gral. microg/m	ESTACIONES	Prom.Gral. microg/m
31. Buenos Aires 2	1.06	Caracas 1	73.88	Río de Janeiro	49.17
32. Cali 3	1.05	Sao Paulo 6	70.82	La Habana 2	44.13
33. Lima 4	1.00	México 13	69.72	México 14	42.92
34. Porto Alegre 1	0.98	Medellín 2	68.38	Porto Alegre 1	42.40
35. Bogotá 5	0.94	Córdova 1	68.06	Buenos Aires 23	41.18
36. Medellín 1	0.87	Buenos Aires	2264.25	Buenos Aires 1	40.59
37. Caracas 4	0.85	México 5	64.24	Montevideo 1	39.24
38. Rosario 1	0.82	Guatemala 1	61.24	Medellín 3	36.85
39. Bogotá 2	0.80	Bogotá 1	61.01	Medellín 2	34.49
40. <u>San Salvador 2</u>	0.78	Sao Paulo 5	59.07	Medellín 4	31.56
41. Cartagena 1	0.78	Córdova 2	57.57	Bogotá 1	30.68
42. Buenos Aires 3	0.74	Medellín 3	56.77	Medellín 1	28.79
43. La Habana 6	0.74	México 9	56.54	Bogotá 14	28.77
44. Santiago 1	0.73	Sao Paulo 3	52.30	La Habana 6	28.40
45. La Habana 1	0.72	Sao Paulo 9	52.04	Buenos Aires 2	26.56
46. Montevideo 2	0.71	Buenos Aires 3	44.32	Bogotá 5	23.37
47. Kingston 1	0.69	Medellín 4	43.74	Bogotá 2	23.36
48. R. de Janeiro 1	0.69	Bogotá 2	43.42	Cali 2	22.99
49. La Paz 1	0.64	Sao Paulo 11	42.93	La Habana 3	20.20
50. Bucaramanga	0.62	Bogotá 4	41.60	Buenos Aires 3	19.70
51. <u>San Salvador 1</u>	0.60	La Habana 6	40.63	Mendoza 2	16.50
52. Bogotá 5	0.58	La Habana 5	39.33	<u>San Salvador 2</u>	15.91
53. La Habana 2	0.58	Cali 1	38.10	Caracas 4	15.65
54. La Habana 5	0.55	La Paz 1	37.14	San José 1	15.43
55. Caracas 7	0.54	Mendoza 1	36.40	Caracas 2	15.33
56. La Habana	0.53	Bogotá 5	33.54.	Caracas 6	14.11
57. Caracas 6	<u>0.51 N.R.</u>	Kingston 1	33.34	Caracas 1	13.65
58. Caracas 5	0.50	Medellín 1	32.46	Cali 3	13.53
59. Lima 1	0.49	San José	32.46	Córdova 1	13.05
60. Santiago 2	0.48	Lima 1	29.99	La Habana 5	12.50
61. Mendoza 1	0.48	Cali 2	28.88	<u>San Salvador 1</u>	12.43
62. Bogotá 6	0.48	Caracas 7	28.46	Buenos Aires 22	11.97

VALORES MAXIMOS, Y PROMEDIOS MENSUALES DE POLVO EN SUSPENSION Y ANHIDRIDO SULFUROSO EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR 1970-1973(1)

AÑO	MES	POLVO EN SUSPENSION MICROGR. /m <sup>2</sup>			ANHIDRIDO SULFUROSO MICROGR. /m <sup>3</sup>		
		Máx	Min	Prom.	Máx	Min	Prom.
1970	Junio	104	33	60.0	13	2	6.2
	Julio	91	42	59.6	10	2	5.3
	Agosto	118	47	70.3	12	3	6.4
	Septiem.	130	39	69.7	25	2	8.2
1971	Octubre	113	43	67.6	13	1	6.4
	Noviembre	151	17	73.7	22	3	8.8
1972	Diciembre	219	21	105.5	20	7	11.8
1973	Enero	176	19	95.7	20	7	12.2
	Febrero	143	33	99.8	35	3	15.0
	Marzo	160	38	94.8	30	6	15.9
	Abril	234	13	85.9	42	4	13.2
	Mayo	215	75	115.4	19	2	9.6
	Junio	140	108	121.3	28	4	13.3
	Julio	173	39	110.0	36	7	18.3
	Agosto	181	52	110.0	33	9	15.1
	Septiem.	-	-	-	-	-	-
	Octubre	249	100	155.0	28	8	16.7
	Noviembre	-	-	-	-	-	-
	Diciembre	-	-	-	-	-	-
1974	Enero	281	63	192.9	33	0	11.7
	Febrero	295	89	180.9	27	8	14.9
	Marzo	376	88	189.9	31	1	17.6
	Abril	285	113	165.7	18	0	5.0
	Mayo	169	67	108.1	27	2	9.3
	Junio	300	70	111.0	39	4	15.0
	Julio	167	48	99.7	21	3	11.5
	Agosto	177	56	114.8	15	2	9.8
	Septiem.	196	80	124.4	25	2	11.9
	Octubre	268	81	106.2	24	6	14.8
	Noviembre	205	75	137.5	18	6	10.4
	Diciembre	255	61	145.8	61	6	14.5
1975	Enero	287	42	113	51	5	17
	Febrero	224	65	122	33	11	19
	Marzo	201	73	141	33	10	18
	Abril	208	54	127	21	2	14
	Mayo	262	104	163	30	5	12
	Junio	212	78	126	31	6	16
	Julio	-	-	-	-	-	-
	Agosto	137	50	85	26	8	10
	Septiem.	173	8	57	21	3	11
	Octubre	74	28	41	16	4	9
	Noviembre	73	22	40	12	6	9
	Diciembre	64	20	40	17	3	9

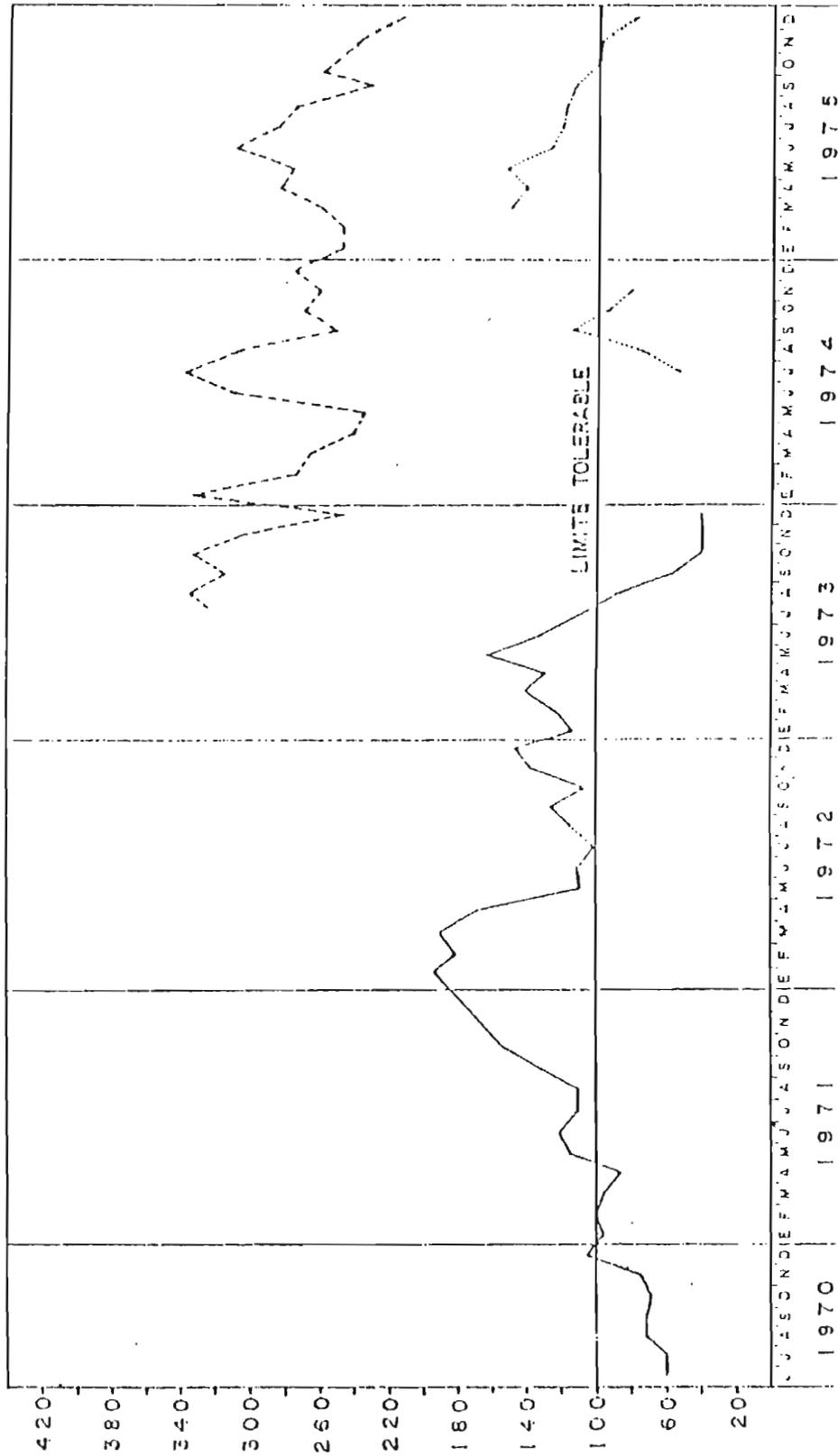
MUESTREO NORMALIZADO DE LA CONTAMINACION DEL AIRE EN  
SAN SALVADOR. PROMEDIOS MENSUALES 1974 - 1977 (12)

E S T A C I O N   E N   E S T U D I O

No. 1 A: SERVICIO METEREOLÓGICO (TERRAZA)

	1974	1975	1976	1977
<b>POLVO EN SUSPENSION (mg/m)</b>				
Enero	-	-	83.0	56.6
Febrero	-	-	-	62.4
Marzo	-	150.4	106.0	64.2
Abril	-	141.0	126.0	53.8
Mayo	-	152.0	98.0	54.5
Junio	-	126.2	118.0	67.7
Julio	53.6	119.5	104.0	58.7
Agosto	75.2	117.0	86.5	92.9
Septiembre	115.3	113.0	93.9	89.6
Octubre	93.2	101.1	98.7	97.2
Noviembre	81.2	98.0	77.0	104.6
Diciembre	-	78.0	67.4	130.0
<b>ANHIDRIDO SULFUROSO (mg/m)</b>				
Enero	-	-	18.0	11.9
Febrero	-	-	-	11.0
Marzo	-	10.3	19.0	10.9
Abril	-	9.0	14.0	5.3
Mayo	-	10.2	17.0	9.0
Junio	-	11.8	17.0	12.0
Julio	4.6	12.9	17.6	11.2
Agosto	6.2	14.4	11.5	4.6
Septiembre	6.5	15.0	14.9	5.8
Octubre	5.9	15.6	17.6	5.9
Noviembre	6.1	18.0	12.8	9.0
Diciembre	-	17.0	16.2	9.8
<b>POLVO SEDIMENTABLE (mg/cm/30 día)</b>				
Enero	-	1.42	0.89	0.6
Febrero	-	1.20	0.70	0.6
Marzo	-	1.10	0.80	0.7
Abril	-	1.60	0.74	0.1
Mayo	-	0.86	0.76	0.5
Junio	-	0.71	0.62	0.71
Julio	0.58	0.54	0.63	0.81
Agosto	0.53	0.73	0.65	0.54
Septiembre	0.59	0.63	0.51	-
Octubre	1.07	0.44	1.44	1.75
Noviembre	1.03	0.55	0.56	1.28
Diciembre	1.46	0.58	0.68	1.41

ANEXO I I



**POLVO EN SUSPENSION EN EL AIRE**

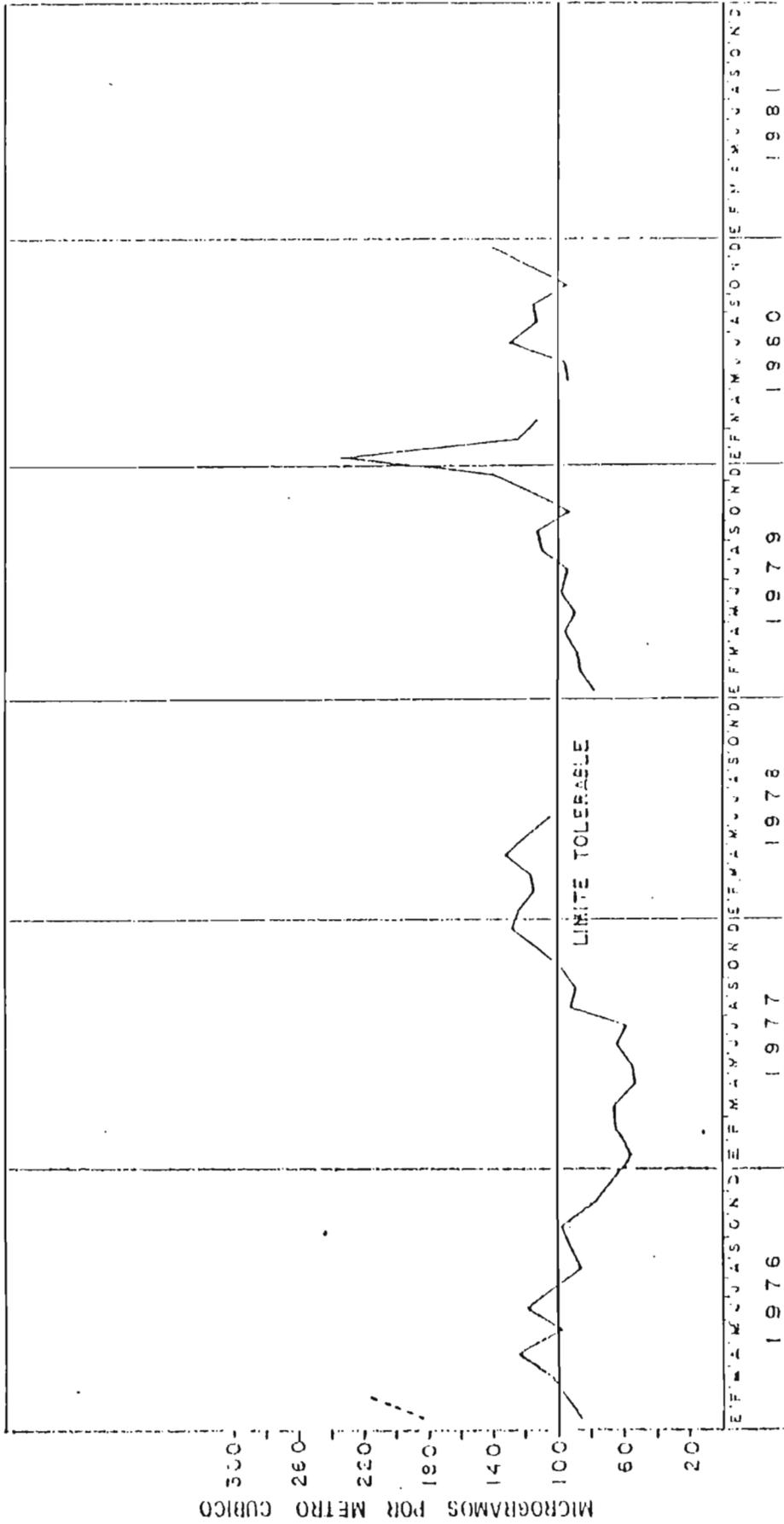
CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO

ESTACIONES DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 1-1A-2

PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR, C. A.



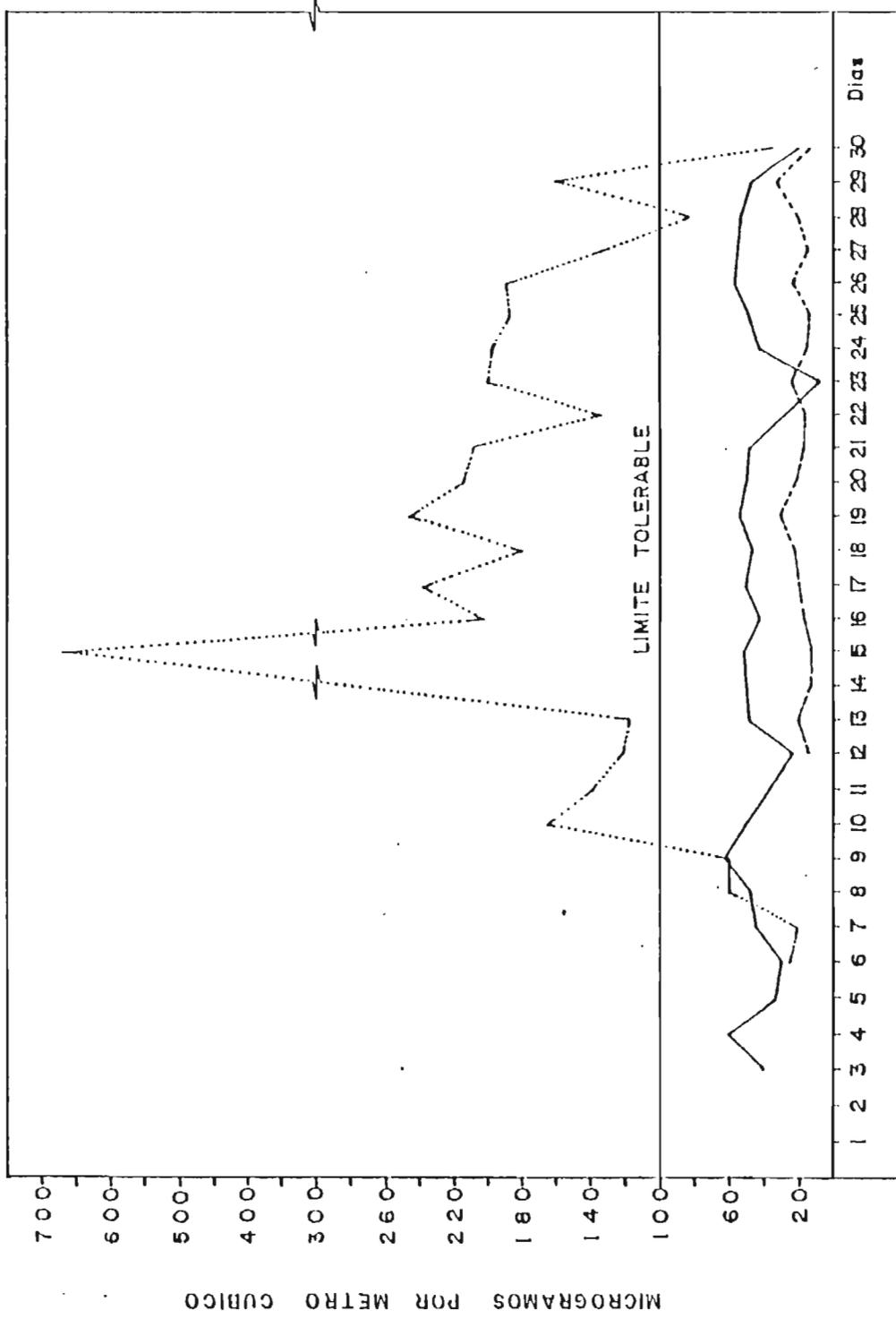
**POLVO EN SUSPENSION EN EL AIRE**

CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO

ESTACIONES DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 1A-2

**PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL**

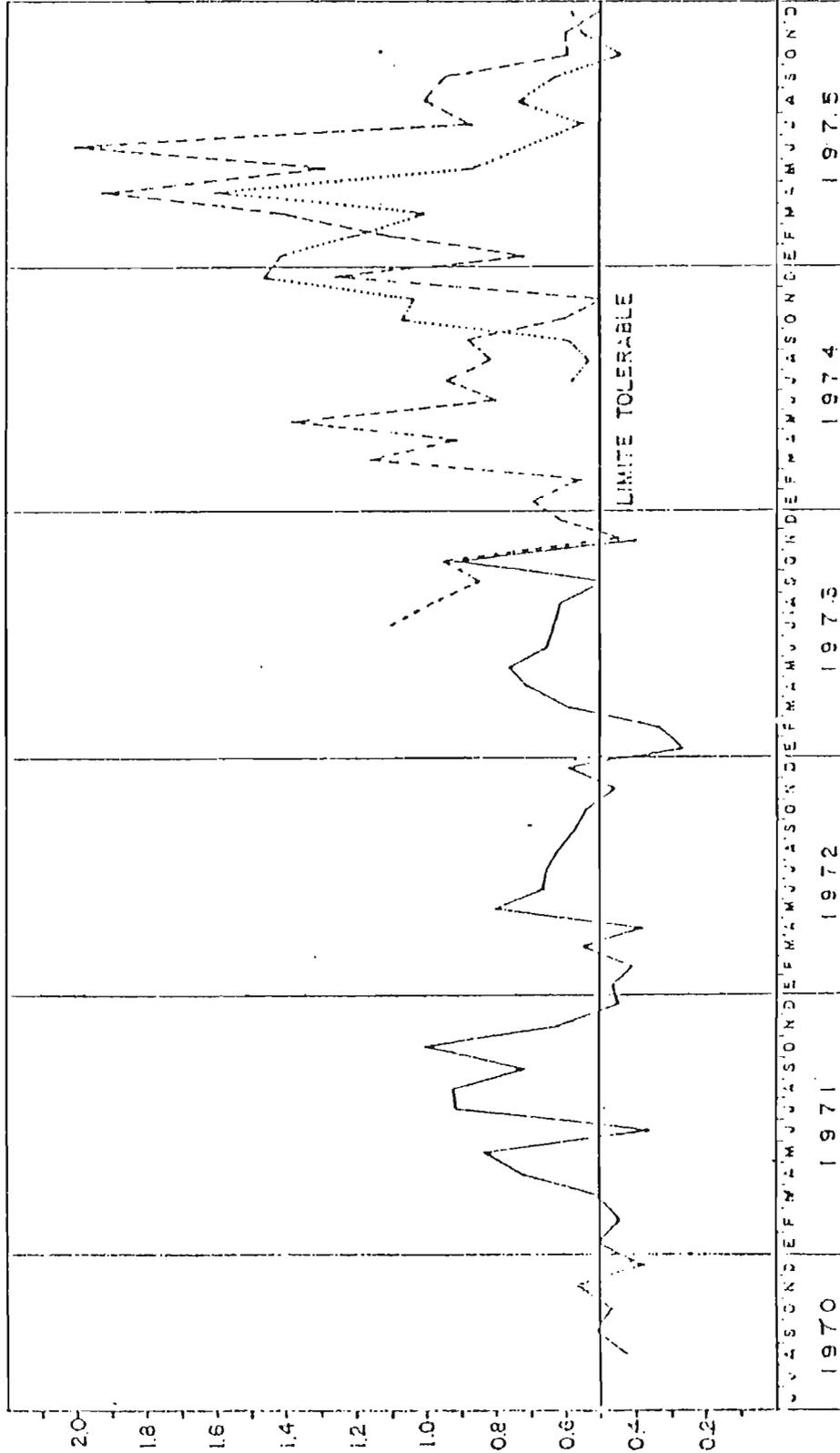
DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL



**POLVO EN SUSPENSION EN EL AIRE**  
 CONCENTRACIONES DIARIAS DEL MES DE ABRIL  
 DE 1989 EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO

ANEXO III

MILIGRAMOS POR CENTIMETRO CUADRADO POR 30 DIAS



**POLVO SEDIMENTABLE EN EL AIRE**

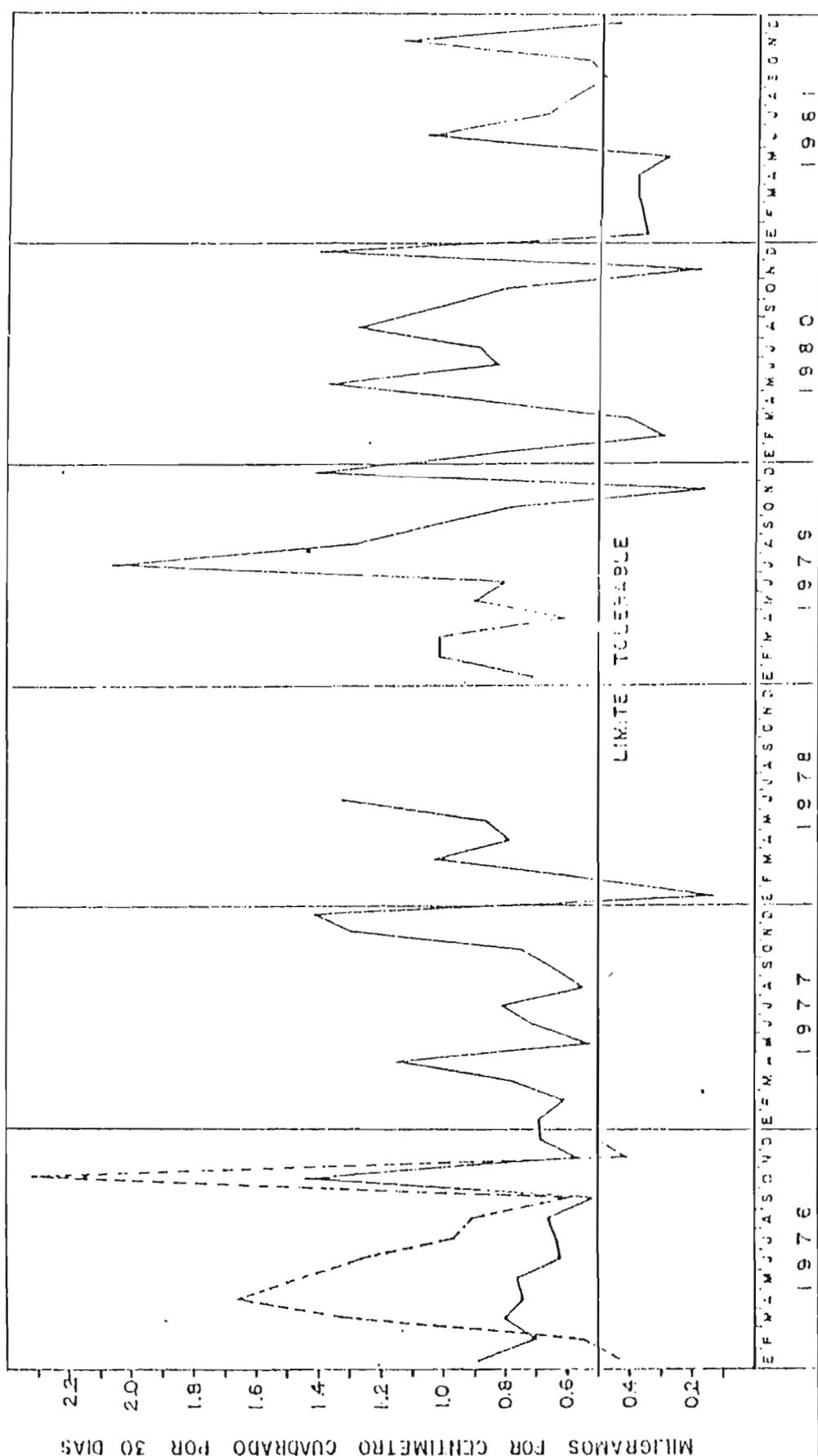
CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MILIGRAMO/CENTIMETRO CUADRADO/30 DIAS

ESTACION DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No 1-1A-2

PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR, C.A.



**POLVO SEDIMENTABLE EN EL AIRE**

CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MILIGRAMO/CENTIMETRO CUADRADO/30 DIAS

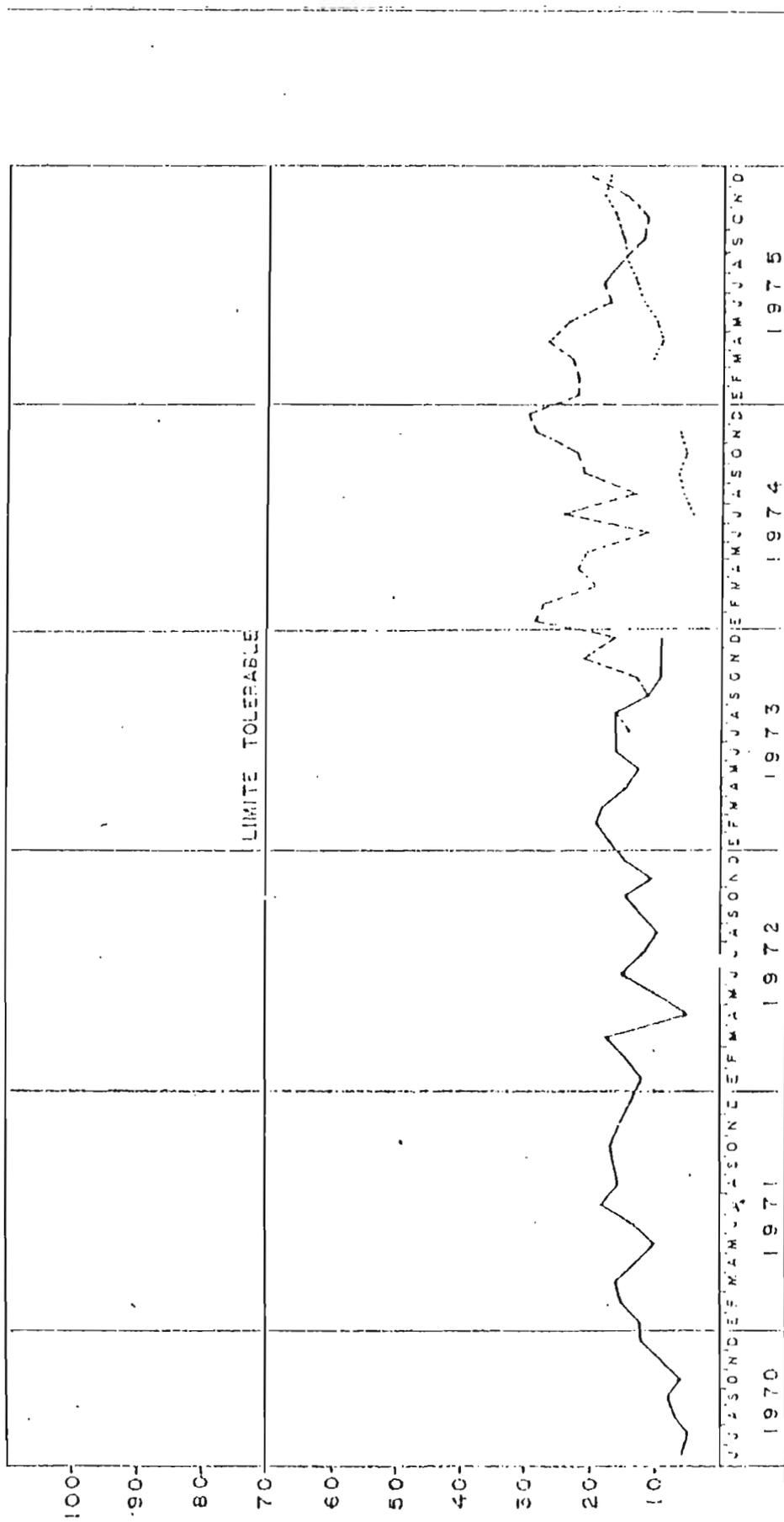
ESTACION DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 2

**PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL**

DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR, C.A.

ANEXO IV



**ANHIDRIDO SULFUROSO EN EL AIRE**

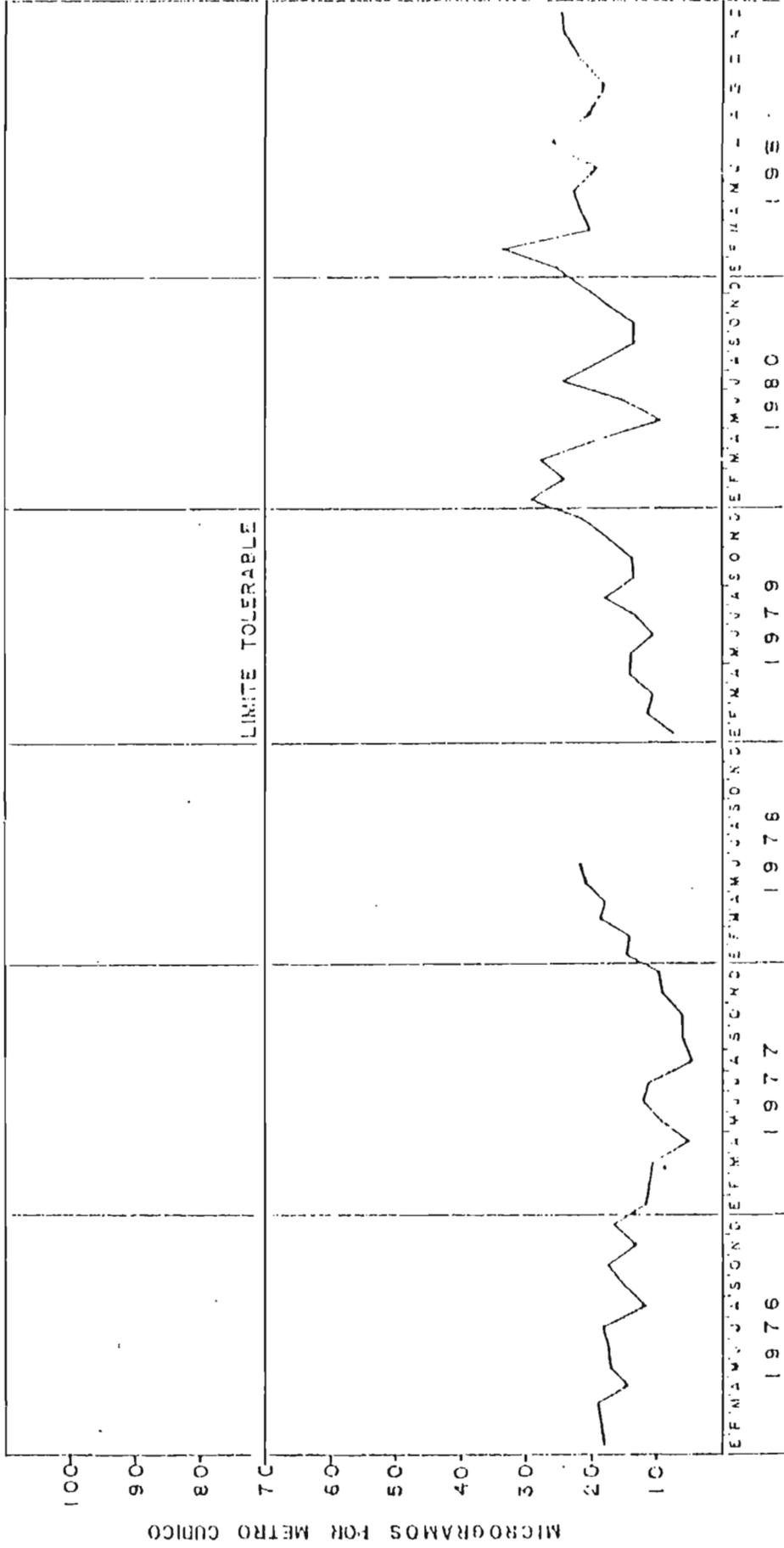
CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO

ESTACIONES DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 1-1A-2

PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

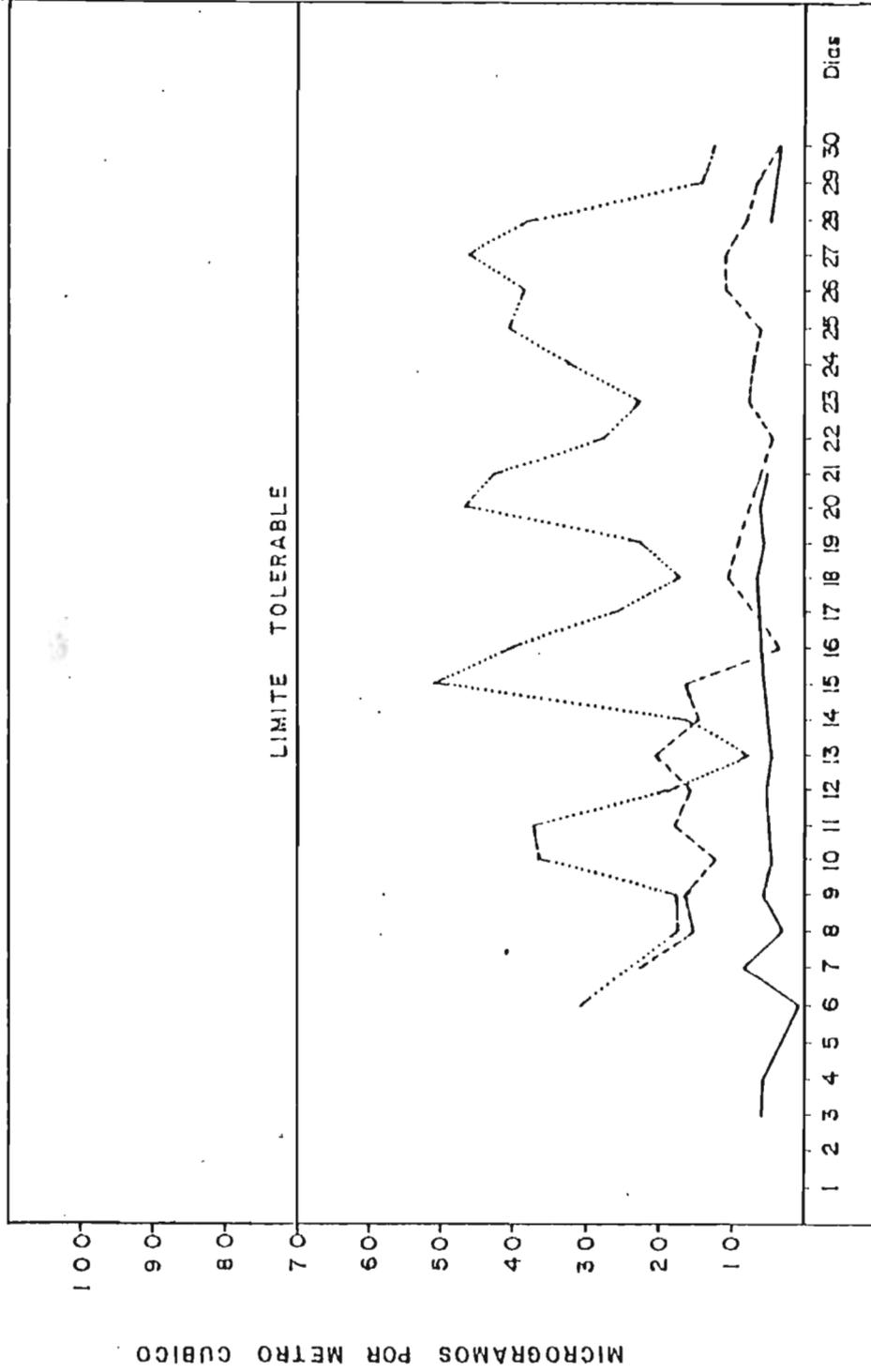
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR. C.A.



**ANHIDRIDO SULFUROSO EN EL AIRE**  
 CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO  
 ESTACIONES DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 1A  
**PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL**  
 DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL  
 MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR

ESTACION 1R  
ESTACION 2M  
ESTACION 5Z

—  
- - -  
- - -



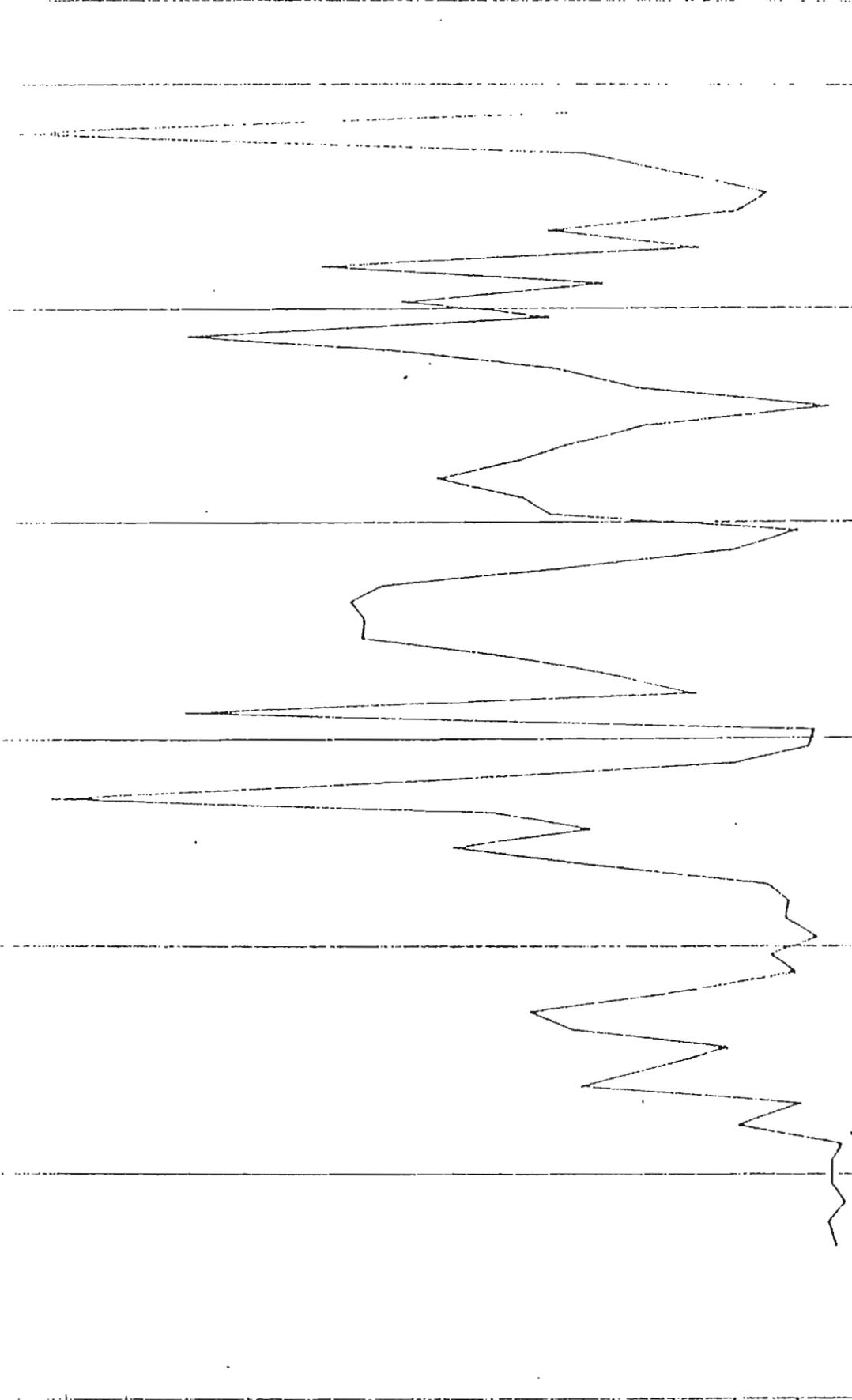
### ANHIDRIDO SULFUROSO EN EL AIRE

CONCENTRACIONES DIARIAS DEL MES DE ABRIL  
DE 1989 EN MICROGRAMOS POR METRO CUBICO

ANEXO V

MILIGRAMOS POR CENTIMETRO CUADRADO POR 30 DIAS

13  
12  
11  
10  
09  
08  
07  
06  
05  
04  
03  
02  
01



FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEPT OCT NOV DIC  
1973 1974 1975 1976 1977 1978

INDICE DE CORROSIVIDAD

CONCENTRACIONES MENSUALES PROMEDIO EN MILIGRAMO/CENTIMETRO CUADRADO/30 DIAS

ESTACION DE REGISTRO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA No. 2

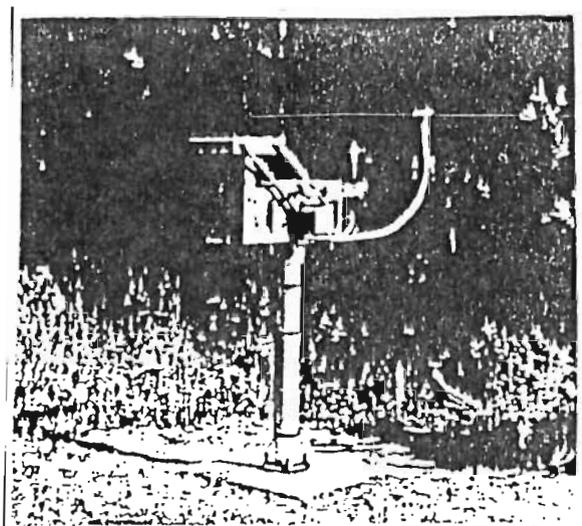
PROGRAMA DE INVESTIGACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

DIVISION DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

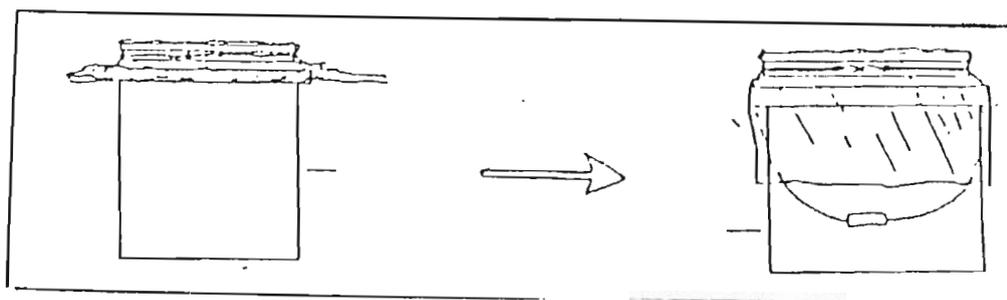
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR, C.A.

ANEXO VI

## MODELOS DE COLECTORES



SISTEMA AUTOMÁTICO UTILIZADO EN CANADÁ



SISTEMA MANUAL UTILIZADO EN ESTADOS UNIDOS

ANEXO VII

# "GASES EN SOYAPANGO PODRIAN SER MORTALES"

Dr. Guillermo Vanegas,  
experto en química

Varias decenas de personas intoxicadas, más de mil familias evacuadas y preocupación en un amplio sector de Soyapango, dejaron las explosiones de recipientes con gases tóxicos (bióxido de azufre) ocurridas en las instalaciones de Industrias Químicas Lasser S.A.

Después de las explosiones, una nube tóxica cubrió un amplio radio de la ciudad de Soyapango.

Cuerpos de Socorro y entidades estatales se presentaron al lugar para iniciar una investigación sobre el motivo de las explosiones y por qué la mencionada empresa almacenaba bióxido de azufre en condiciones que no reúnen las normas requeridas para el manejo de estos productos.

Consultas realizadas a personas conocedoras de efecto que puede causar este tipo de elementos o químicos, manifiestan que no es concebible como se permite la construcción de colonias cerca de una industria de este tipo; hacen ver los especialistas, que con el tiempo muchas personas pueden sufrir complicaciones respiratorias, entre otras.

Por su parte el Ministro de Salud Pública, Dr. Lisandro Vásquez, explica que se han tomado las medidas necesarias; aseguró que el bióxido de azufre es tóxico, dependiendo del grado de concentración en que se encuentre; en este sentido hace un llamado a la población a que se mantenga pendiente sobre recomendaciones que se puedan dar.



Dr. Navarro, conocido ecólogo.

## OPINION DE EXPERTOS AL RESPECTO

Conociendo los problemas inmediatos que han presentado las personas afectadas por la inhalación de gases tóxicos emanados luego de las explosiones en una fábrica de jabón ubicada en las proximidades de Soyapango, 7 Días acudió a entrevistar a personas expertas o con algún conocimiento en la materia, para conocer su opinión sobre el problema y ampliar sobre las posibles consecuencias.

El Doctor Ricardo Navarro, del Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada (CESTA), manifestó que aunque no han investigado a fondo los materiales utilizados en el lugar, sugieren que en el sitio de

la tragedia, el compuesto químico utilizado podría ser el Trióxido de Azufre, y no el Dióxido de Azufre, que es un elemento "extremadamente reactivo".

Agregó que esto "rellena la falla de respeto de muchas empresas con sus desechos; ya que en algunos casos los entierran y en otros, los abandonan en los ríos o al aire, sin importar lo que se está tirando".

Finalmente, indicó que las empresas deberían de contar con mecanismos adecuados para el manejo y control de las materias o gases que utilizan en sus industrias, para evitar casos como el presente, donde nadie conocía la magnitud del problema; hasta que el Ministerio se pronunciara.

Por su parte, el Doctor Guillermo Vanegas, experto en química, dijo que este gas (Dióxido de Azufre) sirve de materia prima para la fabricación de sustancias que se utilizan para fumigaciónes, fundiciones, vulcanizaciones, meta-lurgia y otros, como en fábricas de detergentes.

"La concentración máxima permisible en el medio ambiente, es de 5 partes por millón; con 10 partes por millón, hay irritación en las mucosas; con 400 partes por millón ocurre intoxicación grave y, con mil partes por millón, la muerte en minutos", indicó el experto.

Agregó que este gas es intensamente corrosivo y puede producir enfermedades como: "conjuntivitis y necrosis cor-

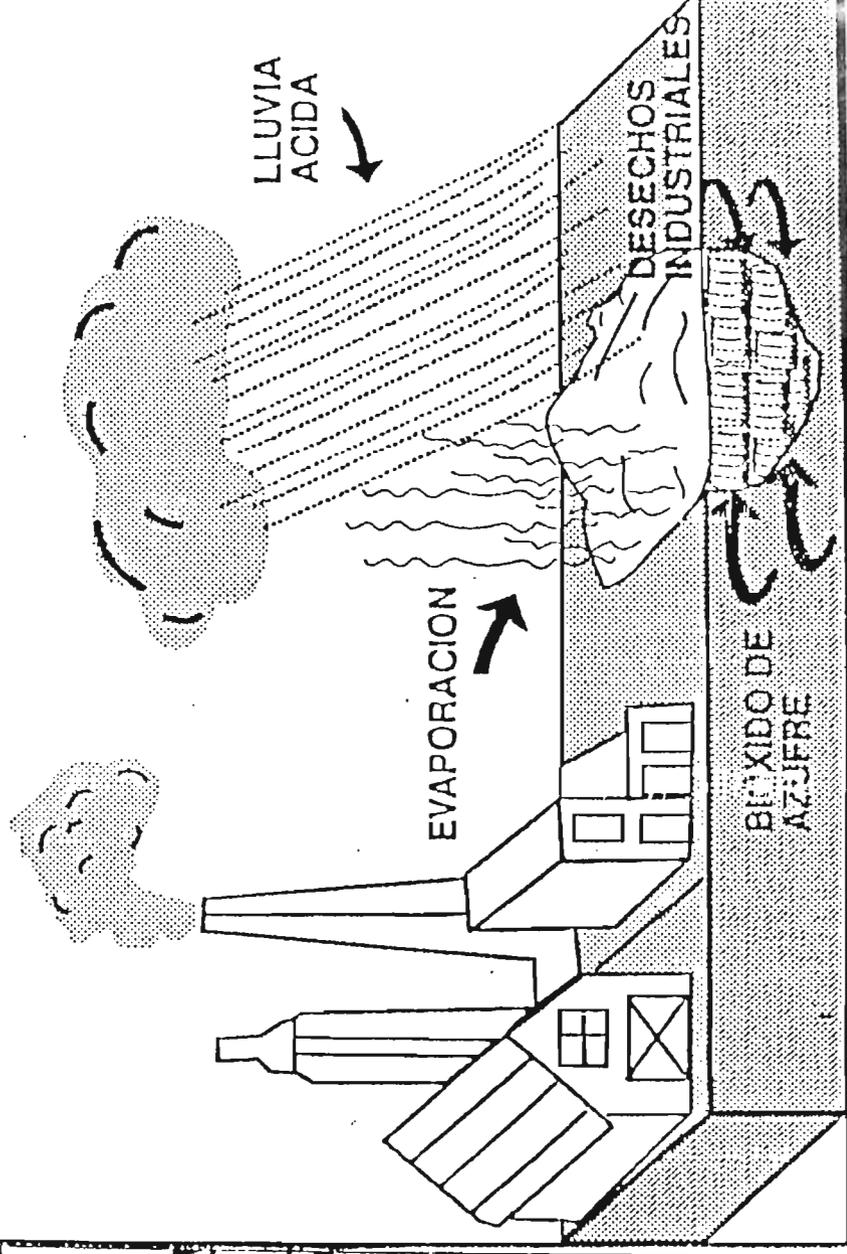


neal, nasofaringitis, además en laringe, traqueitis, bronquitis, dolores en el pecho, tos, cansancio, sianosis, neumonitis, edemas pulmonares, fatigas y quemaduras de la piel".

Al consultársele sobre el procedimiento que se debe seguir para contrarrestar los efectos, en caso de haber aspirado el gas, dijo que "es necesario lavarse los ojos con agua y aplicarse gotas de aceite de oliva, dos en cada ojo, y someterse al tratamiento ordinario de quemaduras, a los más afectados, "entre otras medidas que serán aplicadas por los médicos.

Sobre la posibilidad de tratarse de Trióxido de Azufre y, no del Bióxido de Azufre como se ha dicho públicamente, sostuvo que el problema sería más grave porque este (trioxido) es mucho más agresivo.

# GENERACION DE LLUVIA ACIDA



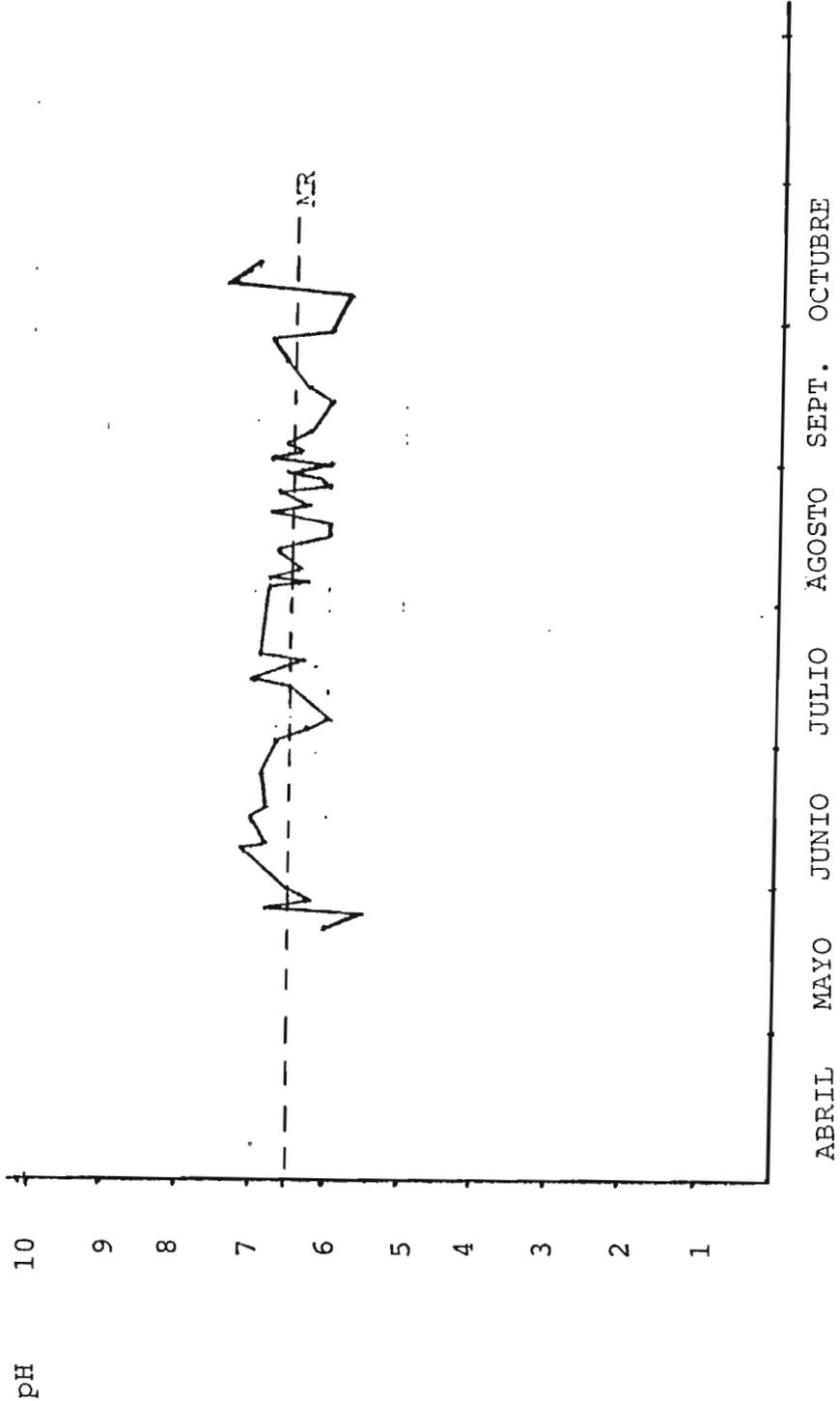
**HOJA QUEMADA.** La explosión de barriles con trióxido de azufre en Soyapango ocasionó lluvia ácida en ese sector. El Dr. Ricardo Navarro, presidente del Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada (CESTA), muestra una hoja de papayo quemada por la lluvia.

**GENERACION DE LLUVIA ACIDA.** El trióxido de azufre que se encontraba enterrado en barriles que estallaron en Soyapango, al combinarse con la humedad de la atmósfera se convirtió en ácido sulfúrico. La lluvia ácida que cayó en un kilómetro a la redonda dañó habitantes, plantas y bienes.

ANEXO VIII

ANTECEDENTES

DESDE MAYO A OCTUBRE DE 1975  
DATOS DE pH REGISTRADAS EN MUESTRAS TOMADAS  
EN PUESTO METEOROLOGICO DE LA U.E.S.

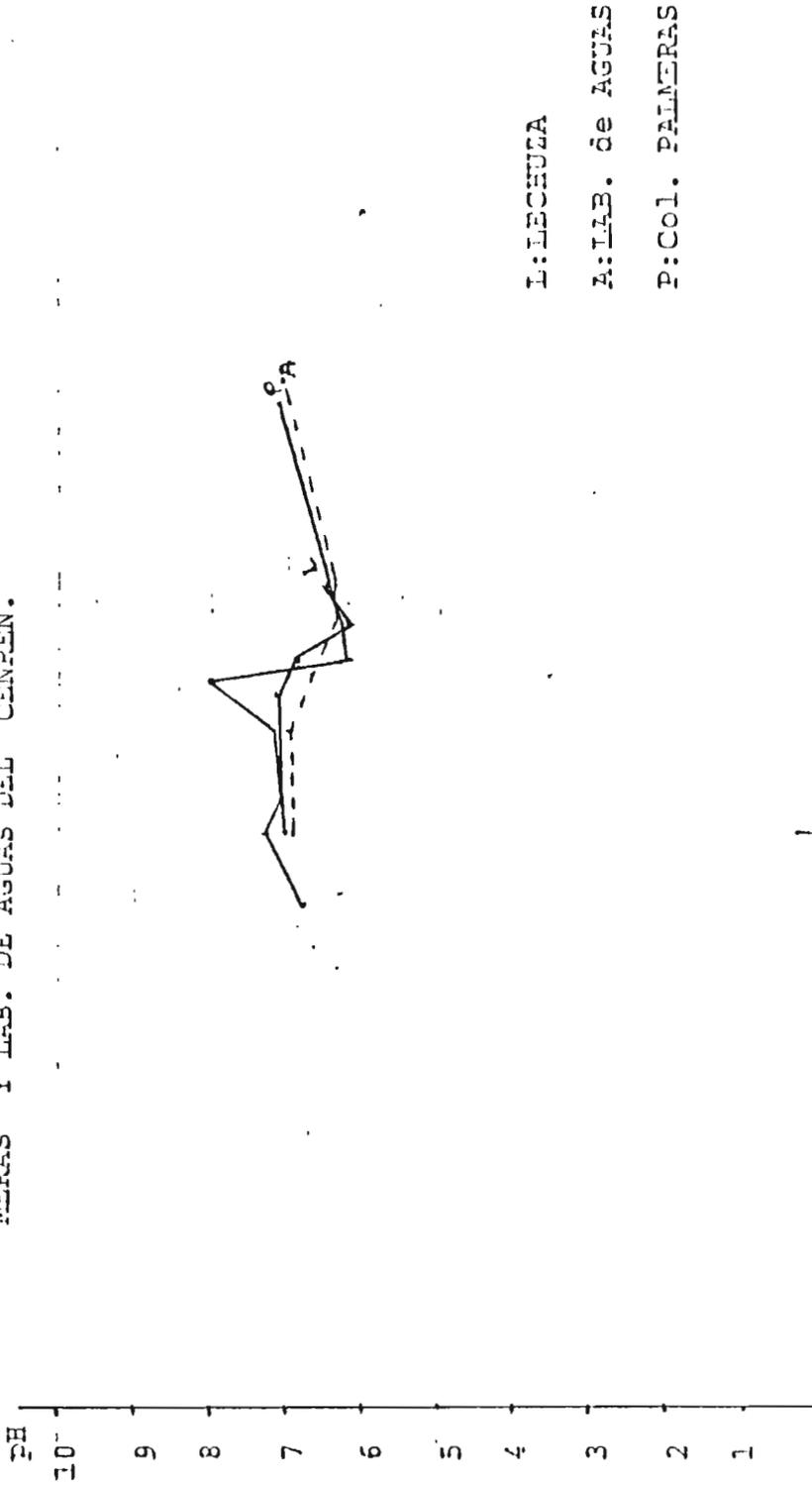


MR: Media Registrada (promedio)  
U.E.S.: Universidad de El Salvador

ANTECEDENTES

PARA EL AÑO DE 1989

DATOS DE PH REGISTRADOS EN MUESTRAS TOMADAS EN PUESTO METEOROLOGICO DE "LA LECHUZA", "COL. PALMERAS" Y LAB. DE AGUAS DEL CENPEN.

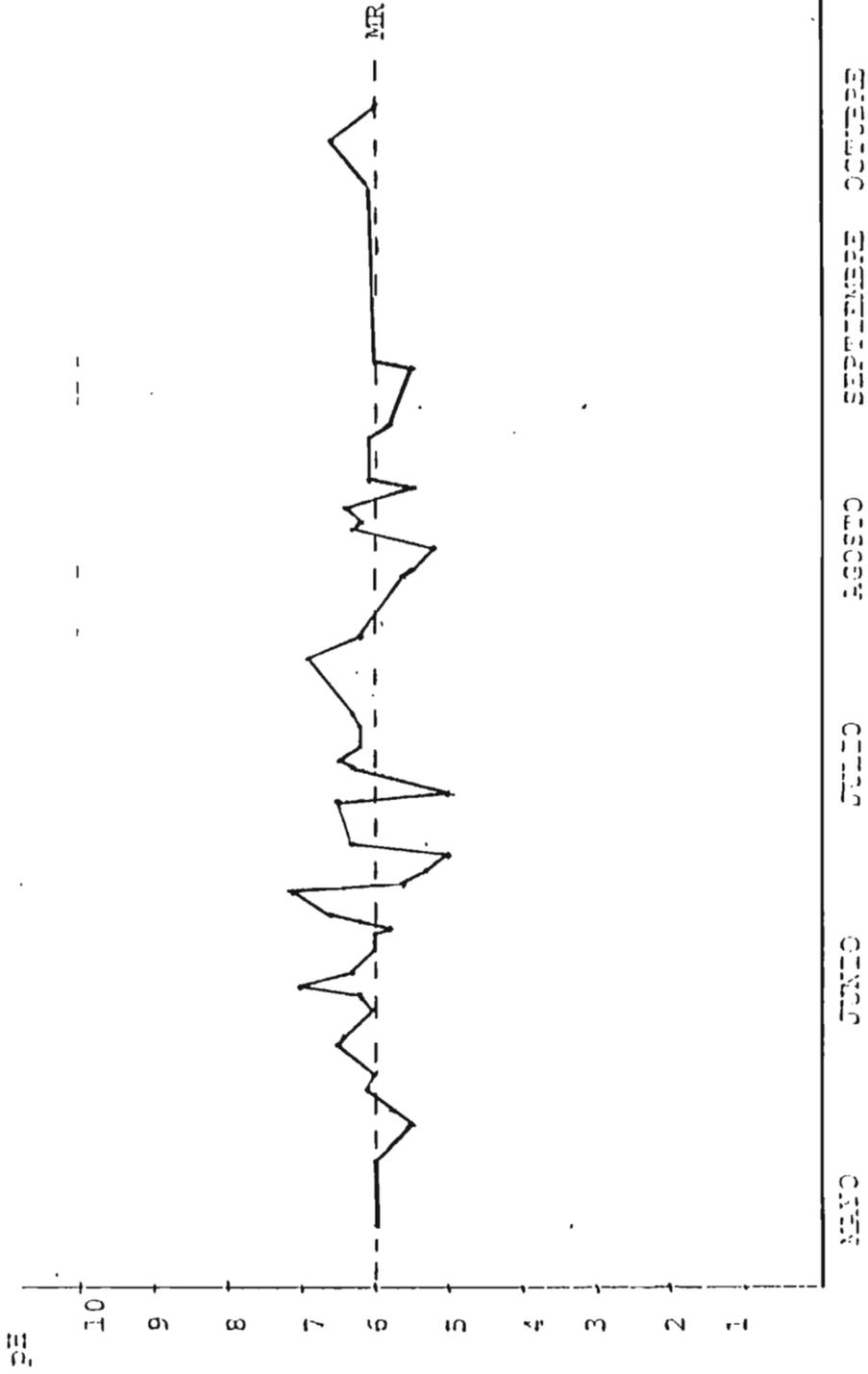


A B R I L

M A Y O

PARA EL AÑO DE 1990

DATOS DE PE REGISTRADOS EN MUESTRAS TOMADAS  
EN LA COL. CENTRO AMERICA

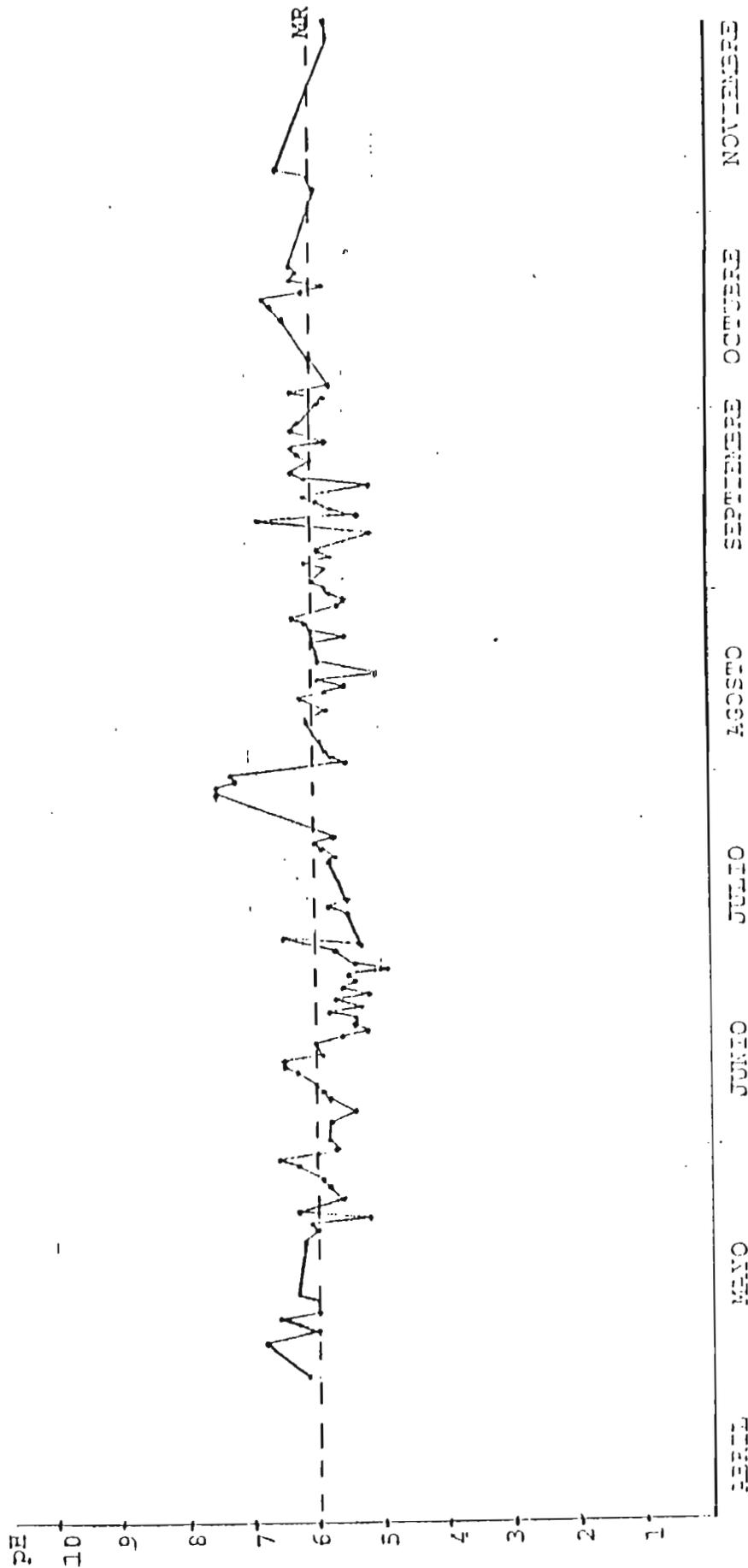


MR: VALOR MEDIO REGISTRADO

ANTECEDENTES

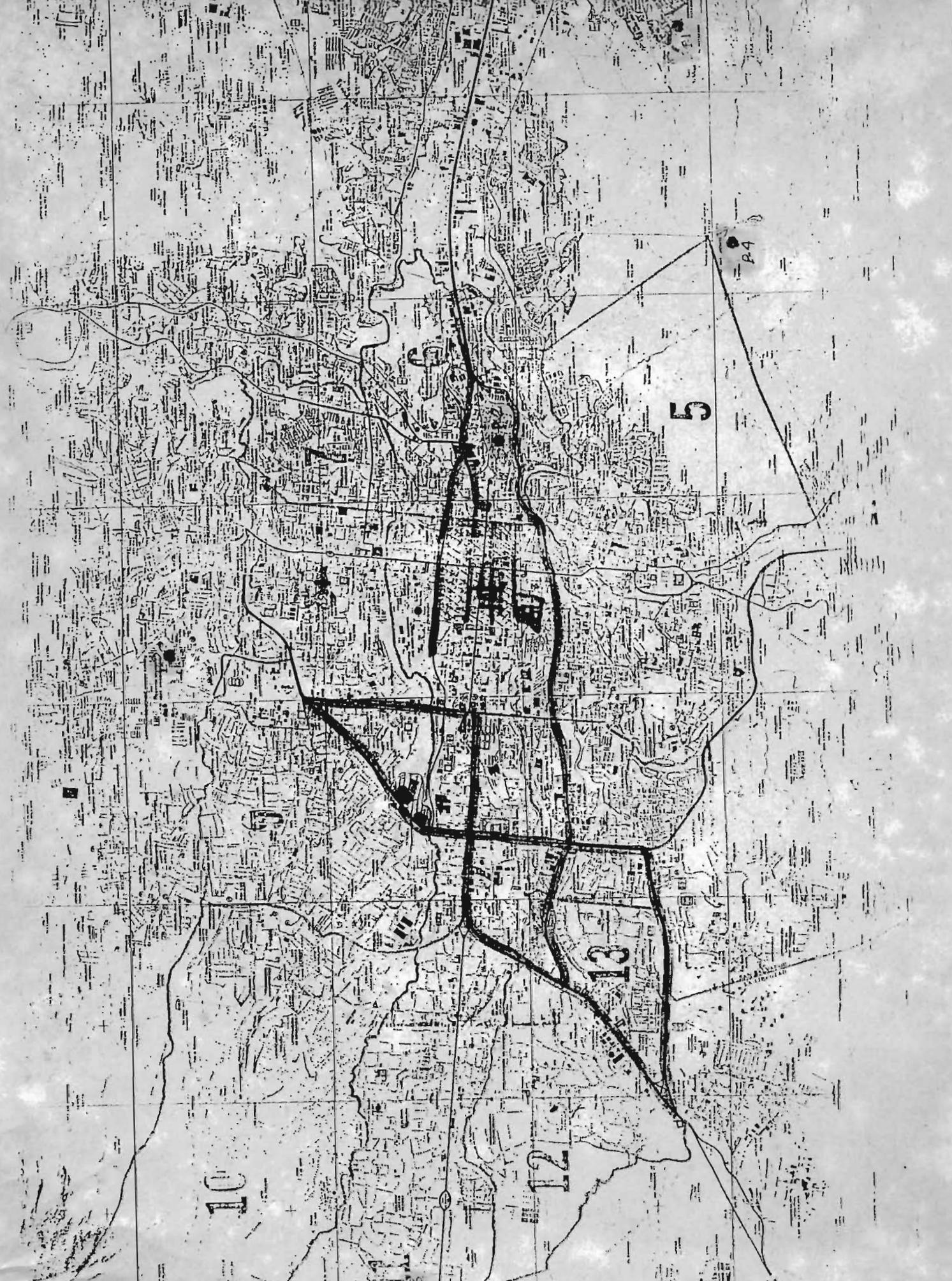
PARA EL AÑO DE 1990

DATOS DE PH REGISTRADOS EN MUESTRAS TOMADAS  
EN SANTA TECLA POR EL CENREN.



MR: VALOR MEDIO REGISTRADO

ANEXO IX



ANEXO X

FACTOR DE EMISION DE COMBUSTIBLES VARIOS (9)

FUENTE	FACTOR DE EMISION
Gas natural	$0.4 \frac{\text{Lb de SO}_2}{10^6 \text{ cf}}$ (asumiendo un contenido de 0.14 gr/100 ft <sup>3</sup> de gas)
Aceite Combustible	$158.85 \frac{\text{Lb SO}_2}{1000 \text{ gal}}$ (incluye SO <sub>3</sub> ; basado en la densidad del combustible 8.1 Lb/gal)
Gasolina	$9 \frac{\text{Lb de SO}_2}{10^3 \text{ gal}}$ (asumiendo contenido de Azufre de 0.07 %)
Diesel	$40 \frac{\text{Lb de SO}_2}{10^3 \text{ gal}}$ (Asumiendo contenido Azufre de 0.3 %)

ESTANDARES PARA COMBUSTIBLES EN EL SALVADOR (9)

DESCRIPCION	PORCENTAJE MAXIMO DE AZUFRE
Aceite combustible	3.5 % masa
Diesel	0.90 % masa
Kerosene	0.30 % masa
Gasolina regular	0.15 % peso
Gasolina Especial	0.15 % peso
Butano	0.35 gr/m <sup>3</sup>
Mezcla propano-butano	0.35 gr/m <sup>3</sup>

Estándares de Azufre en Combustible (RASA )

Los valores estándares en contenidos de azufre que deben tener los diferentes tipos de combustibles en E.S.