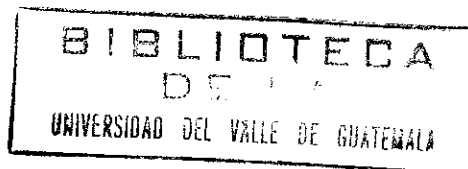


000231



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades


Departamento de Ingeniería Civil

MANEJO Y EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA  
EN LA MICRO CUENCA DEL RIO EL FRUTAL

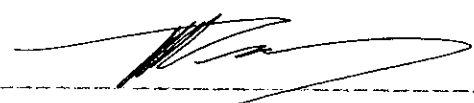
HERBERT WILFRID MACZ QUEVEDO


GUATEMALA

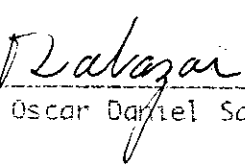
1998

(f)   
-----  
Ingeniero Rafael Girón Méndez  
Asesor

Ingenieros:

(f)   
-----  
Ingeniero Rafael Girón Méndez

(f)   
-----  
Ingeniero Franklin Matzdrpf Monroy

(f)   
-----  
Ingeniero Oscar Daríel Salazar

## CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	OBJETIVOS	5
	A. Objetivo General	5
	B. Objetivos Especificos	5
III.	LA CUENCA COMO UNIDAD FUNCIONAL	6
	A. Ecuación hidrológica	6
	B. Precipitación	7
	1. Tipos de precipitación	7
	2. Formas de precipitación	8
	3. Medición de la precipitación	8
	4. Precipitación media en una cuenca	9
	C. Evaporación	10
	1. Factores que controlan la evaporación	11
	2. Medición de la evaporación	11
	D. Transpiración	12
	1. Factores que afectan la transpiración	12
	2. Medición de la transpiración	12
	E. Evapotranspiración	13
	F. Escurrimiento	13
	1. Fuentes de escurrimiento	14
	2. Factores que afectan el escurrimiento	14
	3. Coeficiente de escorrenntia	15
	G. Infiltración	15
	1. Definición	16
	2. Cambios en el uso potencial	17
	3. Métodos para determinar la infiltración	17
	4. Infiltrómetros	17
	5. Análisis del hirograma	19
	6. Medición de la humedad del suelo	19
IV.	DEFINICION DE AGUA SUBTERRANEA	20
	A. El ciclo hidrológico y el agua subterránea	20
	B. Geología del agua subterránea	22
	C. Fuentes de agua subterránea	24
	D. Distribución del agua subterránea	25
	1. zona de aereación	26
	2. zona de saturación	28
V.	ACUIFEROS	30
	A. Tipos de acuíferos	31
VI.	FLUJO EN ROCAS FRACTURADAS	35
	A. Rocas fracturadas	35
	B. Coeficiente de transmisibilidad	39

	C. Coeficiente de Almacenaje	39
VII.	POROSIDAD Y POROSIDAD EFECTIVA	42
VIII.	PERMEABILIDAD	44
IX.	DESCARGA DEL AGUA SUBTERRANEA	45
	A. Hidráulica del agua subterránea	47
	B. Origen y edad del agua subterránea	51
	C. Movimiento del agua subterránea	52
X.	HIDRAULICA DE POZOS	54
	A. Interferencia de pozos	55
	B. Flujo intermitente a los pozos	56
	C. Método de Theis	58
	D. Método de Cooper-Jacob	59
	E. Método de Chow	60
XI.	CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA	61
	A. Fuente municipal y causas	62
	B. Fuente industrial y causas	65
	C. Fuente agrícola y causas	66
	D. Fuente miscelánea y causas	67
XII.	ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO	71
	A. Aspectos geológicos	71
	B. Aspectos hidrológicos	75
	C. Parámetros hidrológicos	77
	1. Viento	77
	2. Temperatura	77
	3. Humedad	78
	4. Precipitación	78
	5. Escurrimiento superficial	79
	6. Evapotranspiración	79
	7. Infiltración	80
	8. Uso y aprovechamiento del agua	80
	D. Aspectos hidrogeológicos	82
	1. Acuífero superior	83
	2. Acuífero inferior	85
	3. Profundidad	87
	4. Presión	87
	5. Análisis de hidrogramas	88
	6. Escurrimiento subterráneo	89
	7. Parámetros hidrogeológicos	89
	8. Volúmenes de almacenamiento	91
	9. Extracción del agua subterránea	93
	10. Manejo del agua	95
	11. Recarga, movimiento, y descarga del agua subterránea	96

	12. Calidad química de las aguas	98
XIII.	CONDICION ACTUAL DE LA MICRO CUENCA	99
	A. Uso potencial del suelo	99
	B. Desarrollo urbanístico	99
	C. Calidad de los servicios y condición socioeconómica	101
XIV.	EXPLORACION Y CONSUMOS DEL AGUA EN EL AREA DE ESTUDIO	104
	A. Fábricas	104
	B. Colonias	106
XV.	AGENTES DE CONTAMINACION	108
	A. Contaminación doméstica	108
	B. Contaminación Industrial y Agroindustrial	109
XVI.	PLANES Y PROYECTOS	113
	A. Tratamiento In Situ	113
	B. Sistema de bombeo	115
	C. Sistema de intercepción	115
	D. Uso de ozono	116
XVII.	DIAGNOSTICO DE LA MICRO CUENCA	118
XVIII.	CONCLUSIONES	120
XIX.	RECOMENDACIONES	123
XX.	BIBLIOGRAFIA	124
	APENDICES	
	1. Planos y mapas	126
	2. Tablas de aspectos socioeconómicos	131
	3. Tipos de industrias y valores permisibles	136
	4. Gráficos de temperatura y precipitación	138
	5. Valores de parámetros químico-sanitarios y gráficos	143
	6. Valores máximos de parámetros químico-sanitarios y gráficos	225

INDICE DE PLANOS Y MAPAS  
APENDICE 1

1	Plano general de ubicación de pozos	126
2	Sub cuenca del Río Pinula	127
3	Micro cuenca del Río El Frutal	128
4	Isopiezas	129
5	Geología de la micro cuenca	130

## I. INTRODUCCION

El agua es un recurso primordial para la humanidad. Sin ésta, no podría haber vida tal y como la conocemos hoy día. Debido a esto, el hombre se ha interesado desde hace mucho tiempo por conocer su origen, elementos que la componen, y los diferentes factores que influyen sobre el comportamiento de ésta. Por las razones mencionadas anteriormente, y las condiciones peculiares de cada país (hidrológicas, geológicas, topográficas, etc.), tendrán un impacto profundo en la cantidad y calidad del agua.

En nuestro país, dicho recurso lo podemos encontrar tanto en la superficie como por debajo de ésta. En la superficie se puede encontrar en lagos, ríos, lagunas, etc. Por el contrario, el agua subterránea, la podemos extraer por medio de pozos. Dicha actividad es algo muy usual en el campo como en la ciudad. Los pozos perforados van desde los más rudimentarios los cuales son excavados a mano, hasta los más avanzados, los cuales emplean el uso de perforadoras complejas y de gran tamaño.

No es nada nuevo saber que el interés por dicho recurso ha aumentado con el pasar de los años, habiendo un gran número de empresas, que se dedican a la extracción y explotación del mismo. En la ciudad capital se puede ver que con la proliferación de la construcción, la perforación de pozos ha ido en aumento. Esta abarca desde viviendas hasta edificios de gran tamaño. Tampoco se pueden

dejar de destacar las áreas destinadas a urbanización o lotificaciones, las cuales por la lejanía de la ciudad, recurren a la perforación de pozos para satisfacer la demanda de agua potable.

Como podemos notar, no sólo la rama de la construcción hace uso de ésta, sino también la industria, agroindustria, etc. La tesis "manejo y explotación del agua subterránea en la micro cuenca del río El Frutal" se refiere a la manera de cómo este recurso ha sido utilizado, y de los efectos que a corto y largo plazo se han podido observar. El área de estudio, como anteriormente se mencionó, fue la micro cuenca que forma el río El Frutal. Dicha micro cuenca está delimitada al norte por el puente "El trébol", al este por la avenida Petapa, al oeste por la calzada Aguilar Batres, y finalmente al sur por el campo de pozos "Ojo de Agua", el cual está bajo la administración de EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala).

Dicha área fue seleccionada debido a que posee condiciones singulares de desarrollo urbanístico, industrial, y agroindustrial. Otra de las razones para ello, fue que se contaba con el campo de pozos "Ojo de Agua", el cual sirvió como parámetro principal del efecto que han tenido las condiciones presentes en la cuenca, sobre el agua subterránea.

Para poder tener una mejor comprensión del tema, esta tesis la podemos dividir en tres partes. La primera parte consta de un marco teórico, en el cual se hace mención a los diferentes factores que juegan parte en el ciclo hidrológico, así como los conceptos básicos

utilizados en hidrogeología. Otro aspecto importante lo constituyen las leyes que describen el comportamiento hidráulico del agua subterránea en su estado natural (inalterado), y cuando ésta es bombeada a través de pozos (estado alterado). Finalmente, se hace mención a las fuentes principales de contaminación, dando a conocer los distintos agentes que intervienen y los efectos que pueden producir sobre el agua, y por consiguiente sobre el consumidor final.

La segunda parte es una caracterización o diagnóstico del área de estudio. Para ello se ha hecho un historial de los aspectos geológicos, hidrológicos, e hidrogeológicos que han imperado desde hace tiempo en el área de estudio. Además de estos aspectos, la condición actual de la micro cuenca es importante, ya que ésta muestra la manera en que dicha área ha sido utilizada. Como anteriormente se dijo, su desarrollo es diversificado, y por ello se va analizando cada uno de los factores que intervienen en dicha actividad.

Por último, en la tercera parte se arriba a una serie de planes y proyectos, al igual que recomendaciones y conclusiones que son producto de la evaluación íntegra del área de estudio. Es de vital importancia tomar en cuenta que dichos proyectos pueden ser aplicables a corto o largo plazo, y no son meramente soluciones teóricas a un tema de tanta relevancia. Anexado a esto hay una serie de gráficas y fotos, que facilitan una mejor comprensión al lector, y lo ponen en contacto con la verdad al desnudo de cómo este recurso es empleado, y de cómo afecta nuestra vida diaria.

Vale la pena mencionar que está en nuestras manos hacer algo al

respecto, y que tarde o temprano tenemos que confrontar dicha situación. Es mi propósito que esta tesis sólo sea el inicio de una larga y fructífera tarea de cómo debemos administrar este tan valioso recurso, y de motivar a los organismos públicos y privados a que fomenten más la investigación y desarrollo de éste.

Un último aspecto que no hay que dejar pasar, y el cual es de suma importancia es el concepto de cuenca. Como se va a detallar más adelante, la administración de los recursos hídricos superficiales y subterráneos gira en torno a cómo se emplean en dicha unidad. Si se hace de una manera eficiente existirá un balance, el cual es deseable y de beneficio para todos.

## II. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

Enfatizar la importancia del agua subterránea como recurso hídrico.

### B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Concientizar a la población en general y a las autoridades que velan por el estado del medio ambiente, a que el subsuelo también se usa para descargar en forma individual y colectiva desechos orgánicos, químicos, industriales, agro-industriales, y aguas servidas. Dichos desechos actúan como agentes contaminantes de los acuíferos.

2. Evaluar el efecto que las urbanizaciones, industrias, y agroindustrias existentes en el área de estudio, han tenido sobre la calidad sanitaria y fisicoquímica del agua del campo de pozos del ojo de agua y diamante.

3. Que esta tesis sirva para iniciar una serie de estudios más detallados y proyectos a corto plazo que puedan brindar soluciones concretas a las diversas problemáticas que prevalecen en dicha área de estudio.

### III. LA CUENCA COMO UNIDAD FUNCIONAL

#### A. ECUACION HIDROLOGICA

La cuenca se puede definir como el área que encauza o drena parte del agua que se precipita en ella hacia un cauce común. Es considerada como la unidad básica de planificación. Debemos tener cuidado de cómo se va a administrar el recurso hídrico para que haya un balance en dicha unidad.

Es de vital importancia tener esto presente, ya que los recursos superficiales y subterráneos interactúan entre sí. Si explotamos más de la cuenta uno de éstos, nos traerá serios problemas. Por ejemplo, si existe un bombeo masivo en cierta área y vemos que ciertos ríos empiezan a disminuir su cauce, entenderemos que éstos son recargados por agua subterránea, dependiendo de ésta en verano para mantenerse. Por el contrario, si impermeabilizamos bastantes sectores, tendremos mucha escorrentía y la infiltración será poca. Por consiguiente, no habrá recarga para el agua subterránea. Por estas razones, la planificación a corto y largo plazo en la cuenca, nos optimizará los recursos existentes.

Este balance es una relación entre la cantidad de agua que es llevada a la cuenca, y la cantidad de agua que sale de ésta. La ecuación del balance hidrológico en su forma más general la podemos expresar de la siguiente manera:

$$P = Q + Evt + I$$

$$Evt = T + Ev$$

donde:

P : precipitación.

Q : esorrentía.

Evt : evapo-transpiración.

T : transpiración.

Ev : evaporación.

I: infiltración.

Nota: Dicha ecuación es válida para períodos mayores o iguales a un año.

## B. PRECIPITACION

El término precipitación usado en hidrología se define como la condensación del vapor de agua que está presente en la atmósfera. El vapor de agua es uno de los gases con mayor predominancia en la atmósfera. Dentro de un rango moderado de temperaturas y presiones, y bajo condiciones no cercanas al punto de condensación, el vapor de agua obedece la ley ideal de los gases. Este se deriva principalmente de la evaporación de los océanos, lagos, ríos, suelo (humus), y la transpiración de las plantas. La fuente principal de éste es la evaporación proveniente de los océanos, que puede suplir hasta un 75% de vapor de agua en la atmósfera.

### 1. TIPOS DE PRECIPITACION

Como vimos anteriormente, cuando una columna de aire es

transportada a los estratos superiores nos indica de antemano que va a darse el fenómeno de precipitación. Por ende, vamos a clasificar a la precipitación de acuerdo con las condiciones que producen el ascenso de la columna de aire. Los tres tipos que conocemos son: A. convectiva: ésta ocurre por lo general en verano, en especial en los días bastante calurosos. Se origina cuando la corteza terrestre se calienta no uniformemente. El aire que está en contacto inmediato con ésta es calentado baja su densidad y es forzado a subir, se expande, y se enfría dinámicamente, llegando a su punto de condensación y finalmente ocurre la precipitación. B. orográfica: Esta se produce por las condiciones topográficas de un lugar. El aire es forzado a subir debido a una barrera topográfica (volcán, montaña, cerro, etc.), se expande, enfría, condensa, y finalmente ocurre la precipitación. C. ciclónica: como su nombre lo indica se originan por ciclones.

## 2. FORMAS DE PRECIPITACION

Las formas de precipitación más conocidas son: A. lluvia. B. granizo. C. neblina. D. rocío. E. nieve. En las regiones del trópico las más comunes son prácticamente todas las anteriormente mencionadas, a excepción de la nieve.

## 3. MEDICION DE LA PRECIPITACION

La lluvia que cae sobre un área determinada puede ser cuantificada por medio de los siguientes aparatos: A. pluviómetro. B. pluviógrafo. El pluviómetro consiste en un recipiente metálico de aproximadamente 8 pulgadas de diámetro y 24 pulgadas de alto (medidas

utilizadas por el servicio meteorológico de E.E.U.U.), el cual tiene en su parte superior un embudo y contiene dentro una probeta graduada que registra la cantidad de lluvia precipitada en un periodo de 24 horas. La desventaja de dicho aparato, es que no se sabe cuándo empezó o terminó de llover, sólo la cantidad precipitada. Por otra parte está el pluviógrafo, el cual saca un registro constante de lluvia precipitada, mostrándola en un gráfico. Lo que hace es que grafica la precipitación en función del tiempo, esto es, en el eje de las abscisas pone las unidades de tiempo y en el de las ordenadas las unidades de precipitación. Por consiguiente se tiene un gráfico en función del tiempo, el cual nos mostrará los periodos en los cuales la lluvia fue máxima, mínima, o si no hubo del todo.

#### 4. PRECIPITACION MEDIA EN UNA CUENCA

Los dos métodos más usados para poder determinar la precipitación media en una cuenca o área específica son: A. media aritmética. B. método de isoyetas.

El método de media aritmética consiste en dividir los valores totales de la precipitación de cada una de las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, entre el número total de estaciones. Si las estaciones se encuentran distribuidas uniformemente dentro de la cuenca y la precipitación varía de forma regular de una estación a otra, los valores obtenidos con dicho método son bastante aceptables. Por el contrario, si se tiene información de pocas estaciones y los valores de éstas varían considerablemente, los resultados obtenidos tendrán poco grado de validez.

El método de isoyetas consiste en trazar líneas que unen puntos de igual precipitación. Dichas líneas se conocen con el nombre de isoyetas (análogas a las curvas de nivel de un terreno) y éstas dividen la cuenca en sectores que tienen áreas irregulares. Procedemos a determinar el área de cada sector por medio de un planímetro polar, teniendo cuidado que ésta esté comprendida entre dos isoyetas adyacentes, i.e. la isoyeta que tomamos quede enmarcada por el área del sector respectivo. Al igual que el método de Thiessen, determinamos el área de cada sector, con su precipitación respectiva (dada por la isoyeta contenida dentro del área) finalmente, sumándolas para obtener la precipitación total media y el área total de la cuenca.

#### C. EVAPORACION

A pesar de que siempre hay un continuo intercambio de moléculas de agua que provienen de o emigran hacia la atmósfera, la evaporación se puede definir como el flujo neto de vapor que es transportado hacia la atmósfera. Para producir dicho flujo se necesitan aproximadamente 600 calorías por cada gramo de agua evaporado. Si la temperatura de la superficie permanece constante, para poder producir flujos considerables de vapor, i.e. evaporación, debe darse por medio de radiación, y de conducción ya sea por la masa de aire directamente arriba de la superficie, o por energía almacenada debajo de ésta.

## 1. FACTORES QUE CONTROLAN LA EVAPORACION

Dentro de los factores más importantes podemos mencionar:

1. Viento.
2. Humedad relativa (presión de vapor).
3. Radiación.
4. Tipo de superficie.

## 2. MEDICION DE LA EVAPORACION

Para poder determinar la cantidad de agua evaporada, se utilizan los evaporímetros, los cuales se pueden clasificar en:

A. tanque tipo A (a la intemperie). B. evaporímetro francés piché (a la sombra).

El tanque tipo A como su nombre lo indica, consiste de un tanque circular de 6 pies de diámetro y 4 pulgadas de alto. Este está puesto sobre una estructura de madera, para poder dejar que el aire circule. Dicho tanque es llenado con agua, y se determina la cantidad evaporada por medio de un tornillo micrométrico colocado en uno de los bordes de éste. También existen tanques con flotadores, los cuales sirven para determinar la evaporación en lagos o embalses. El evaporímetro francés consta de 2 bulbos, uno seco y el otro húmedo. Se coloca un ventilador enfrente del bulbo húmedo, y se determina la evaporación en función de la humedad, comparándolo con el bulbo seco.

## D. TRANSPIRACION

La transpiración se define como el proceso biológico por medio del cual las plantas cambian el agua de un estado líquido a gaseoso.

### 1. FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSPIRACION

1. Humedad relativa.
2. Radiación.
3. Porcentaje de horas luz.
4. Temperatura.

### 2. MEDICION DE LA TRANSPIRACION

La transpiración se puede determinar por medio de los lisímetros. Estos son de dos tipos: A. lisímetro de laboratorio. B. lisímetro de campo.

El lisímetro de laboratorio consta de un matraz dentro del cual es puesto un cultivo, se riega con agua y se pesa. Este se coloca sobre una balanza, la cual sirve para controlar su peso. La diferencia de peso nos muestra la cantidad de agua que ésta perdiendo, la cual ha sido transpirada hacia la atmósfera. El lisímetro de campo consta de dos toneles concéntricos, los cuales son puestos dentro de un hoyo en el suelo. El tonel interior está perforado y se llena con un tipo de cultivo, mientras que el tonel exterior se llena con agua y se le adhiere en un extremo un piezómetro ( tubo que controla el nivel del

agua dentro del tonel). A la par del lisímetro se coloca un pluviómetro, debido a que éste se encuentra a la intemperie, por lo cual puede llover y afectaría nuestros resultados. La transpiración va a ser determinada en función del tiempo, es decir, la cantidad de agua que va a demandar el cultivo.

#### E. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración, como su nombre lo indica, es la combinación de la transpiración y evaporación. Este término es usado con mucha frecuencia en hidrología, ya que abarca dos procesos, uno biológico y otro físico, por medio de los cuales el agua pasa de un estado líquido a gaseoso. Debido a que trabajamos con la unidad de planificación (cuenca), la evapo-transpiración será un parámetro que nos indique la cantidad de agua que es aprovechada por la vegetación y la que se pierde por evaporación directa.

#### F. ESCURRIMIENTO

Cuando la lluvia empieza a caer sobre un área más o menos permeable, hay un período inicial durante el cual: A. la lluvia es interceptada por los edificios, árboles, postes, rótulos, etc, los cuales previenen que alcance el suelo. B. parte de ésta se infiltra. C. otra parte es interceptada por depresiones, las cuales son capaces de almacenar cantidades considerables de ésta.

La porción restante, que logra sobrepasar las condiciones

mencionadas anteriormente, se convierte en escorrentía o escurrimiento y como su nombre lo indica, es la que se ve correr sobre las calles o logra añadirse a las corrientes de los ríos haciendo que éstos aumenten su caudal a tal punto que puedan desbordarse.

## 1. FUENTES DE ESCURRIMIENTO

Dentro de las fuentes más importantes podemos mencionar: A. la precipitación que cae de forma directa sobre un área determinada. B. proveniente del agua subterránea.

## 2. FACTORES QUE AFECTAN EL ESCURRIMIENTO

Los factores que influyen sobre el escurrimiento los podemos clasificar en dos grupos generales: A. climáticos. B. topográficos.

Los factores climáticos más importantes son: A. tipo de precipitación. B. intensidad. C. duración. D. distribución de la precipitación en la cuenca. E. dirección. F. antecedentes de la precipitación y el contenido de humedad del suelo. G. evaporación y transpiración.

Los factores topográficos más importantes son: A. uso potencial del suelo. B. tipo de suelo. C. área. D. forma. E. elevación. F. pendiente. G. orientación. H. tipo de drenaje de la cuenca.

### 3. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

Otro aspecto importante que debemos tomar en cuenta al analizar el escurrimiento, es el coeficiente de escorrentía, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$\text{COEF esc} = \text{volumen escurrido} / \text{volumen precipitado}$$

Podemos notar que dicho coeficiente relaciona al volumen que escurre, o sea, el agua que se mueve sobre la superficie del suelo o sobre un cuerpo de agua, con el volumen precipitado o el que es producto de la lluvia. Los valores de éste comprenden el rango de 0 a 1. Si tenemos valores pequeños de éste, podemos inferir que se trata de un área forestada, es decir, la lluvia que cae sobre ésta es prácticamente absorbida por el suelo. En cambio, si tenemos valores cercanos a la unidad, podemos inferir que se trata de un área urbana donde la superficie está prácticamente impermeabilizada, y por ende la lluvia que cae no es absorbida por el suelo.

### 6. INFILTRACION

Al momento de examinar los distintos tipos de hidrogramas de diferentes ríos, podemos ver que unos se mantienen relativamente estables durante el año, mientras que otros tienen un carácter intermitente. El factor de mayor peso para determinar la estabilidad o intermitencia del flujo en una fuente hídrica, es la fuentes de abastecimiento. Si dicha fuente es la escorrentía, el río tendrá caudales de inundación durante cierta época del año y prácticamente

dejará de fluir en otras. Por otra parte, si el área de drenaje de una cuenca es muy permeable (en el caso de que se tiene suelo de tipo granular) y no se tiene ningún estrato impermeable por encima del nivel freático, prácticamente no se va a tener escorrentía y el flujo de dicho río será constante durante el año.

La habilidad que posee el área de drenaje de una cuenca para absorber y retener el agua que se precipita sobre ésta, dará un parámetro muy importante en el perfil del hidrograma resultante. Dicha habilidad de la cuenca se conoce con el nombre de capacidad de infiltración.

#### 1. DEFINICION

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra la superficie del suelo y se mueve verticalmente hacia abajo, hasta interceptar el nivel freático. Sabemos que al momento de penetrar la superficie, parte de ésta es absorbida por el humus, y la restante se convierte en lo que conocemos como agua subterránea.

La lluvia es capaz de penetrar la superficie del suelo solamente durante e inmediatamente después de los períodos de lluvia máxima, esto es, períodos en los cuales la intensidad de la lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo. Cuando la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración, el régimen de infiltración es aproximadamente igual al régimen de la lluvia.

## 2. CAMBIOS EN EL USO POTENCIAL

La mayoría de cambios provienen principalmente de cambios en el uso potencial del suelo y cambios en la vegetación. En cambio, cuando una cuenca o una porción de gran tamaño es sujeta a un cambio brusco del uso potencial del suelo, por ejemplo una deforestación desmedida, o es utilizada como área de cultivo, la infiltración es afectada considerablemente.

## 3. METODOS PARA DETERMINAR LA INFILTRACION

Existen dos métodos generales para determinar la capacidad de infiltración. El primero es por medio del infiltrómetro, en el cual el agua es aplicada de manera artificial sobre un área pequeña, y su capacidad de infiltración puede ser determinada de manera directa. El segundo es por medio del análisis del hidrograma de escorrentía o escurrimiento resultante de la lluvia natural sobre el área de drenaje de la cuenca.

## 4. INFILTROMETROS

Los infiltrómetros se pueden dividir en dos clases: A. anillos concéntricos o tubo simple, en los cuales el régimen de llenado es determinado directamente como el régimen al cual el agua debe ser añadida para mantener una misma profundidad, usualmente 1/4 de pulgada dentro del infiltrómetro. B. simuladores de lluvia.

Si el infiltrómetro es de anillos concéntricos, por lo general son metálicos y huecos con diámetros desde las 9 a 36 pulgadas, y son puestos sobre sus extremos inferiores dentro del suelo, dejando sus extremos superiores sobre la superficie de éste. Luego, el agua es aplicada en ambos compartimientos y es mantenida a un mismo nivel. La función del anillo exterior, es prevenir que el agua que se encuentra dentro del anillo interior pase a través de la parte inferior de dichos anillos, y moje un área más grande de la contemplada. La capacidad de infiltración y su variación, serán determinadas por el régimen al cual el agua tiene que ser añadida al anillo interior, para mantener su mismo nivel.

En caso sea de tubo simple, éste se coloca a una profundidad dentro del suelo, igual a la que el agua penetra durante el experimento. Esto se hace para evitar que ésta abarque un área más grande, y por ende, afecte nuestros resultados. Luego se observa el régimen al cual hay que añadir el agua para mantener el mismo nivel.

A pesar de que estos dispositivos proveen una manera simple y recta para determinar la capacidad del suelo de absorber agua bajo condiciones específicas, los resultados obtenidos son de tipo cualitativo, y no cuantitativo, ya que solamente consideramos los siguientes parámetros: A. uso potencial del suelo. B. cobertura vegetal. C. pendiente. Otra de sus limitantes es que se realizan bajo condiciones específicas, las cuales son: A. no hay compactación del suelo cuando hacemos "llover" sobre un área específica, como tampoco infiltración de material fino. B. la compresión del aire que llena los espacios vacíos es nula, debido a que éste puede desplazarse

lateralmente. C. al momento de que el infiltrómetro penetra la superficie del suelo, se altera la estructura de este en el área de contacto.

Los simuladores de lluvia riegan agua en un régimen constante, a excepción del período inicial, en el cual se sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo. Se toman los valores de la escorrentía producida, para que con esta información se trace la curva de infiltración.

#### 5. ANALISIS DEL HIDROGRAMA

Cuando contamos con información precisa acerca de la intensidad de la lluvia, y la escorrentía que se produce por ésta, nos permite determinar con bastante exactitud la capacidad de infiltración de un suelo. Debido a ésto, podemos elaborar con bastante confianza distintos hidrogramas de lluvias, que tienen características similares. Con dichos hidrogramas, podemos determinar la curva de infiltración del suelo.

#### 6. MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO

La humedad del suelo se puede determinar de las siguientes formas: A. uso de bloques porosos de absorción. B. por medio de tensiómetros. C. relación entre la conductividad termal del suelo y su contenido de humedad. D. resistencia de los materiales dieléctricos del suelo. E. emanaciones de materiales radioactivos.

#### IV. DEFINICION DE AGUA SUBTERRANEA

La precipitación que cae sobre la superficie del suelo se puede convertir ya sea en escorrentía o se puede infiltrar, dependiendo de si la intensidad de la lluvia excede o no la capacidad de infiltración del suelo. El agua que logra infiltrarse satisface primeramente el humus, otra porción queda atrapada en los espacios vacíos ( los cuales eran ocupados por el aire ) por fuerzas moleculares, y la porción que logra llegar a los estratos inferiores (hasta encontrar un estrato impermeable) logra saturar los espacios vacíos del suelo. La superficie, bajo la cual todos los espacios vacíos están saturados de agua se denomina nivel freático. El agua que se encuentra bajo dicha superficie recibe el nombre de agua subterránea.

##### A. EL CICLO HIDROLOGICO Y EL AGUA SUBTERRANEA

La precipitación, percolación o infiltración, escurrimiento, y evaporación son etapas en el ciclo hidrológico, el cual no tiene principio ni fin. Del agua que llega a la tierra, alguna cae directamente sobre las superficies acuáticas. Otra parte fluye sobre la tierra y hace su ruta por arroyos y ríos, estanques, lagos y depósitos o mares y océanos. Parte de ella retorna de inmediato a la atmósfera por evaporación, desde las superficies acuática y terrestre así como por evaporación y transpiración de la vegetación y otra parte se hunde en la tierra.

Parte del agua que penetra en la corteza terrestre, es retenida

cerca de la superficie, donde alguna cantidad se evapora directamente, y otra es tomada por la vegetación, para ser retornada a la atmósfera por transpiración. El remanente del agua infiltrada escurre hacia abajo por gravedad, hasta alcanzar el nivel freático, para unirse al depósito subterráneo dentro de la corteza terrestre. Como podemos ver el agua subterránea proviene directa o indirectamente de la precipitación: A. directamente, como agua de lluvia o de deshielo que se filtra al interior del suelo, por grietas o pasajes en formaciones rocosas y penetra a profundidad suficiente para alcanzar el nivel freático. B. indirectamente, como agua superficial de corrientes, pantanos, lagos y depósitos, que se filtra al suelo a través de terrenos permeables cuando el nivel freático es inferior a las superficies libres del agua. Las corrientes que recargan al suelo se conocen como corrientes influentes, mientras que las corrientes que toman agua del suelo, como corrientes efluentes.

La cantidad de lluvia que se filtra hacia el suelo para convertirse en agua subterránea es incierta. Entre los factores más importantes se pueden mencionar:

1. Permeabilidad hidráulica: Esta determina la rapidez de infiltración de la lluvia y su paso al nivel freático.

2. Turbidez: La materia suspendida arrastrada por erosión de suelos cerrados obstruye los poros de los suelos abiertos.

3. Modelos de las lluvias y humedad del suelo: Las lluvias ligeras tienen tiempo para filtrarse hacia el suelo, las lluvias

intensas no. Esto se debe a la velocidad de infiltración, la cual varía inversamente proporcional con el tiempo. Los suelos húmedos se saturan rápidamente, los secos almacenan agua en las depresiones superficiales, así como en sus propios poros. Parte del agua almacenada puede llegar al nivel freático eventualmente. Las lluvias intensas compactan el suelo, y las precipitaciones prolongadas hacen que éste se hinche. Ambas reducen las aberturas superficiales. El desplazamiento del aire del suelo se opone a la filtración. Las grietas hechas por el sol y los canales biológicos las aceleran.

4. Cubierta del terreno: La vegetación retarda el escurrimiento y aumenta la evaporación superficial, así como la retención y transpiración del agua del suelo.

5. Geología: Esta tiene mucho que ver con la infiltración. Por ejemplo: A. lentes de materiales impermeables que interceptan el agua y evitan que alcance el nivel freático. B. lechos confinantes de materiales compactos.

6. Pendiente : Las pendientes pronunciadas favorecen el escurrimiento y reducen la infiltración.

## 8. GEOLOGÍA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La estructura geológica de un área provee la más valiosa información acerca de la ocurrencia y cantidad del agua subterránea. La roca que forma la mayor parte de la corteza terrestre está conformada por minerales. En términos geológicos, roca incluye tanto

las formaciones consolidadas como las sueltas o no consolidadas. Las rocas pueden ser clasificadas en tres grupos de acuerdo a su origen: A. ígneas. B. metamórficas. C. sedimentarias. Las ígneas a su vez se pueden subdividir en dos clases: A. intrusivas. B. extrusivas. Las rocas intrusivas son compactas, y por lo general no ceden agua. Tienen porosidades muy bajas ( menor al 1% ) y son prácticamente impermeables. Cuando éstas son fracturadas pueden tener permeabilidad y porosidad apreciable hasta unos cientos de pies desde la superficie. La permeabilidad resultante de la fractura de rocas intrusivas tiene rangos desde 0.001 a 10 Darcys. Las rocas metamórficas son por lo general compactas, altamente cristalinas, e impermeables.

Las formaciones sedimentarias se pueden dividir en dos clases: A. sólidas o consolidadas. ( suelos como: talpetate, arenisca, roca caliza ). B. sueeltas o no consolidadas (arcilla, grava, arena). El grado de cimentación juega un papel importante en este tipo de roca. La arenisca que se encuentra parcialmente cementada o fracturada cede agua con mucha facilidad. Su porosidad tiene un rango del 5 al 30%, y su permeabilidad oscila entre 1 y 500 milidarcys.

La roca caliza varía en densidad, porosidad, y permeabilidad. Cuando éstas no son deformes, son usualmente densas e impermeables. La porosidad secundaria es el factor más importante en este tipo de formaciones. Podemos ver que la distribución no uniforme de los intersticios en distancias pequeñas es producto de la marcada diferencia en la porosidad secundaria, la cual depende de las condiciones locales. Después de la arenisca, son la segunda fuente más importante de agua subterránea.

Las gravas y arenas son los mejores acuiferos de origen sedimentario. Tienen excelentes características del almacenaje y transmisión, y por lo general, son recargados de una manera rápida. La porosidad, cesión específica, y la permeabilidad dependen de: A. tamaño de las partículas. B. distribución. C. configuración. D. forma. Las gravas y arenas con una granulometría bien definida suelen ser los acuiferos más productivos. Las porosidades típicas son de 25 a 65%, y su cesión específica mayor al 20%.

### C. FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

La precipitación constituye la fuente principal de agua subterránea. Esta puede infiltrarse directamente hasta llegar al estrato donde está el agua subterránea, o puede infiltrarse a través de los lechos de los ríos o lagos. Hay que señalar que la mayor parte del agua precipitada es atrapada por el suelo (humus), está sujeta a evapotranspiración, y el resto que logra infiltrarse llega a formar parte del agua subterránea. Excepto en suelos arenosos, el agua precipitada puede pasar directamente a los estratos inferiores, siendo prácticamente en su totalidad utilizada como recarga directa.

Las condiciones geológicas del lugar juegan un papel importante en el comportamiento del agua subterránea. Si el nivel freático se encuentra muy cerca del nivel del suelo, la percolación es considerable. Si los estratos superiores son impermeables la percolación es prácticamente despreciable.

Otra segunda fuente serían los ríos que cortan o intersecan depósitos permeables de aluvión, siempre y cuando cumplan con las siguientes condiciones: A. estar arriba del nivel freático. B. ser un río influente.

Una tercera fuente sería el agua que es llevada hacia la superficie por rocas intrusivas, o el agua que es atrapada por las rocas sedimentarias durante su formación. El problema con ésta es que contiene una alta concentración de minerales.

#### D. DISTRIBUCION VERTICAL DEL AGUA SUBTERRANEA

La distribución vertical del agua subterránea, se puede dividir en dos zonas principales: A. zona de aereación. B. zona de saturación. La zona de aereación consiste en intersticios ocupados parcialmente por agua y por aire. A cambio, en la zona de saturación, todos los intersticios están llenos de agua bajo presión hidrostática.

En la zona de aereación vamos a tener agua suspendida, debido a que dicha zona no es muy profunda. Esta a su vez se puede subdividir en: A. humus. B. zona de aereación intermedia. C. franja capilar.

La zona de saturación se extiende desde la parte superior de la zona saturada, hasta el estrato de roca impermeable. En el caso de la ausencia de un estrato impermeable superior, el nivel freático delimitará a dicha zona. Esta se define como la superficie de presión atmosférica, y delimita el nivel que el agua puede alcanzar cuando un pozo penetra un acuífero. Por lo general, la zona saturada puede

extenderse un poquito por encima del nivel freático, debido a la atracción capilar. Sin embargo, el agua es retenida en este lugar a una presión menor que la atmosférica.

El agua que encontramos en dicha zona, la denominamos agua subterránea. Otro sinónimo para ésta es agua freática.

### 1. ZONA DE AERACION

Humus: Como ya dijimos, el agua en esta zona se encuentra en un estado suspendido, o sea, los intersticios también están ocupados por aire. Sólo se satura excepto cuando llueva en exceso o sea irrigada. Esta se extiende desde la superficie del suelo hasta donde llegan las raíces principales de la vegetación. Su grosor dependerá de dos factores: A. tipo del suelo. B. tipo de vegetación.

La cantidad de agua presente en dicha zona, depende principalmente de la exposición del suelo a la humedad. Bajo condiciones áridas, tiende a establecerse un equilibrio agua-vapor entre el aire del ambiente y las superficies de las partículas de grano fino. Como resultado de esto, sólo se tendrán películas muy finas de humedad, las cuales se conocen como agua hidrosférica, que se define de la siguiente manera: agua que recubre los granos del suelo (mantenida por fuerzas de tensión molecular) a una presión de 3 ATM (atmósferas), la cual no puede ser utilizada por la vegetación. Cuando existe humedad adicional en suelos de grano grueso, el agua puede formar anillos de contacto que llenan los espacios vacíos entre los granos del suelo. Dichos anillos son conocidos como agua pelicular,

los cuales son mantenidos por fuerzas de tensión superficial, y ésta puede ser aprovechada por la vegetación. Durante periodos irregulares de tiempo, el humus puede contener excesos de agua producto de las lluvias o irrigación. Este remanente se conoce como agua gravitacional, y como su nombre lo indica actúa por medio de la fuerza de gravedad.

Zona de aereación intermedia: Esta se extiende desde la parte inferior del humus, hasta la parte superior de la franja capilar. Su grosor puede variar, desde los 0 metros, cuando el nivel freático coincide con el nivel del suelo, hasta los 100 metros, cuando el nivel freático se encuentra en los estratos más profundos. La función principal de dicha zona es de conectar a la zona más cercana de la superficie del suelo (humus), con la más cercana al nivel freático (franja capilar). También es un corredor por el cual el agua que se desplaza verticalmente hacia abajo (agua gravitacional) tiene que atravesar. El agua suspendida inmóvil es mantenida en su lugar por fuerzas hidroscópicas y capilares.

Franja capilar: La franja capilar o zona capilar se extiende desde el nivel freático, hasta el límite donde el agua puede ascender por tensión superficial. Si pudiéramos idealizar los poros como tubos capilares, la ascensión capilar ( $h_c$ ) puede ser derivada del equilibrio existente entre la superficie de tensión del agua y el peso de la columna de agua. Dicho equilibrio lo expresamos de la siguiente manera:

$$h_c = \frac{2\sigma}{r\gamma} \cos \lambda$$

Onde:

(  $\gamma$  ): superficie de tensión

(  $\gamma'$  ): peso específico del agua

( r ) : radio del menisco.

(  $\lambda$  ): es el ángulo de contacto entre el menisco y la pared del tubo.

( cuando el agua es pura y está en un tubo limpio,  $\lambda$  es 0. )

Cuando la temperatura es de 20°C (  $\gamma$  ) = 0.074 g / cm y (  $\gamma'$  ) = 1 g / cm<sup>3</sup>, y la ascensión capilar se expresa de la siguiente forma:

$$H_c = 0.15 / r$$

## 2. ZONA DE SATURACION

En la zona de saturación, el agua subterránea llena todos los intersticios o poros. Un parámetro que nos da la cantidad de agua que hay por unidad de volumen, es la porosidad efectiva. Cierta porción del agua puede ser removida por bombeo a través de pozos o por drenaje, sin embargo, el resto es mantenido en su lugar por fuerzas moleculares y de tensión superficial.

Nivel freático: Es la superficie estática del agua, al ser penetrada por pozos en la zona de saturación. Se puede decir que es un duplicado de la topografía del terreno, siendo por lo general más elevada en las montañas, y más baja en los valles. Puede ser también definida como la superficie de un cuerpo de agua que está ajustándose constantemente a una condición de equilibrio. Si no existiera recarga ni descarga para un acuífero, dicho nivel permanecería horizontal.

Debido a que las condiciones de precipitación y las características de los estratos superiores, pueden variar en una misma cuenca, el nivel freático puede ser más alto en unas áreas que en otras, siendo mayor la variación de este bajo las áreas de mayor recarga.

En conjunto, podemos decir que los siguientes factores hacen que dicho nivel esté reajustándose constantemente. Estos son: A. Permeabilidad de los estratos superiores. B. Influencia de lagos, ríos, y pozos. Cuando el agua se encuentra en fisuras o cavernas, la situación cambia. El flujo del agua es turbulento y no laminar, como en la situación anterior. Por ende, el nivel freático sufre cambios continuos y bruscos. Se ha observado que el nivel del agua se mantiene por lo general constante cuando está en un sistema de orificios interconectados, e irregular cuando éstos están aislados.

## V. ACUIFEROS

Son las formaciones geológicas que contienen y pueden transmitir agua subterránea. También pueden ser definidos como las formaciones geológicas que contienen material permeable saturado, capaz de ceder cantidades significativas de agua a pozos o manantiales. El contenido de agua encontrada, depende de los siguientes factores: A. Las características del acuífero B. Intensidad y frecuencia de la recarga. La capacidad de un acuífero se determina por medio de la porosidad, la cual es la relación del volumen de poros o espacios vacíos al volumen total del acuífero.

Otro parámetro importante es el de cesión específica o conductividad hidráulica, el cual es el volumen de agua (expresado como porcentaje del volumen total del acuífero) que fluye libremente por gravedad de un acuífero. Esta es por lo general menor que la porosidad, ya que hay agua que es retenida dentro del acuífero por fuerzas capilares y moleculares. La cesión específica de materiales de grano fino es menor que la de materiales de grano grueso. Por ejemplo: La arcilla tiene una porosidad alta, pero cede muy poca agua al ser perforado un pozo. En cambio, el limo o roca fracturada, a pesar de tener una porosidad baja, cede con facilidad toda el agua que contiene.

Económicamente hablando, los acuíferos más importantes son los de grava y arena, con una cesión específica bastante alta.

## A. TIPOS DE ACUIFEROS

Estos se pueden clasificar en tres tipos: A. no confinados B. confinados o artesianos C. semi-confinados.

Los acuíferos no confinados o acuíferos libres, son aquellos que poseen la parte superior de la zona de saturación sin confinamiento, o sea, ésta se encuentra bajo presión atmosférica. Dicha superficie es libre de ascender o descender en respuesta a los cambios de almacenamiento en la zona de saturación. Este tipo de flujo se conoce como no confinado.

La superficie imaginaria que une todos los niveles estáticos en los pozos dentro de acuíferos no confinados recibe el nombre de nivel freático. Dicho nivel tiene cambio en su forma y pendiente, y se ve afectado por: A. áreas de carga y descarga. B. bombeo de pozos perforados. C. permeabilidad del medio. Todos estos factores en conjunto hacen que el nivel freático tenga ascensos y descensos, los cuales a su vez reflejan cambios del volumen de agua contenido dentro del acuífero. Más de una zona de saturación puede ocurrir cuando un estrato impermeable, o semipermeable, o una lente en la zona de aireación, proyecta a una zona de saturación más pequeña por encima del nivel freático. A este fenómeno se le conoce como nivel freático aporchado.

Los acuíferos confinados o artesianos, son aquellos en que la parte superior de la zona de saturación está confinada, por un lecho

de permeabilidad baja. Este también puede recibir el nombre de lecho de confinamiento. El comportamiento de dichos acuíferos es análogo al de las tuberías. La presión estática en un punto dentro del acuífero será igual a la diferencia entre la elevación del nivel freático en el área de recarga y la pérdida de carga a través del acuífero hasta el punto en cuestión. Cuando un pozo es perforado en un acuífero artesiano, éste actúa como piezómetro en una tubería, y el agua alcanzará un nivel equivalente al valor de la presión estática local. Cuando dicha presión es lo suficientemente fuerte para hacer subir al agua por encima del nivel del suelo, el pozo recibe el nombre de pozo artesiano. La superficie definida por el nivel del agua en un grupo de pozos artesianos, se conoce como superficie piezométrica.

La forma de la superficie piezométrica es muy parecida a la del gradiente hidráulico de una tubería. Si no existe ninguna fuente de bombeo en el acuífero ésta permanecerá horizontal o estable, pero si existe, tendrá cierto grado de inclinación hacia el punto de descarga. Cuanto mayor sea el bombeo, mayor será la pendiente de dicha superficie. La pendiente del gradiente es pronunciada en áreas de permeabilidad baja, y de pendiente cero o nula en áreas de permeabilidad alta.

Cuando el agua es extraída de un acuífero artesiano, se origina una depresión local de la superficie piezométrica. Dicha caída en la presión hace que el agua sufra una pequeña expansión y que el acuífero se contraiga. También esta caída es acompañada de un incremento del flujo de agua hacia el pozo. Por ende, pasado un intervalo de tiempo, esto se refleja con un descenso del nivel freático en el área de

recarga. En acuíferos muy grandes, este intervalo de tiempo se mide en años.

Los acuíferos artesianos tienen una gran importancia económica, ya que pueden transportar agua a distancias considerables, y elevar el agua por encima del nivel del acuífero, reduciendo de esta forma costos de bombeo.

Los acuíferos semi-confinados son mucho más frecuentes que los libres y los artesianos. Estos son comunes de encontrar en valles aluviales, planicies, o en cuencas de lagos extintos, donde un estrato permeable es cubierto por encima o por abajo por un estrato de semi-confinamiento.

Cuando un pozo es perforado en un acuífero semi-confinado, el agua es removida de dos maneras: A. por flujo horizontal dentro del acuífero, B. por flujo vertical a través del estrato de semi-confinamiento al acuífero.

Por lo general los acuíferos son delimitados en su parte superior o inferior por lechos de confinamiento, los cuales se definen como: material relativamente impermeable estratigráficamente adyacente a uno o más acuíferos. Los lechos de confinamiento se pueden clasificar en: A. Acuicludo: material saturado, pero relativamente impermeable que no cede cantidades apreciables de agua a los pozos. Ejemplo: arcilla. B. Acuífugo: formación relativamente impermeable que no es capaz de contener ni transmitir agua. Ejemplo: granito. C. Acuitardo: estrato saturado de permeabilidad baja que impide el

movimiento del agua subterránea y que no cede agua a los pozos, pero que puede transmitir cantidades considerables hacia o proveniente de acuíferos adyacentes, y cuando tienen un espesor considerable pueden actuar como una zona de almacenamiento para agua subterránea. Ejemplo: arcilla arenosa.

## VI. FLUJO EN ROCAS FRACTURADAS

En las rocas fracturadas, las discontinuidades interconectadas se consideran como las únicas vías por donde el agua fluye libremente. Mientras tanto, los bloques sólidos de roca se consideran totalmente impermeables. Debido a esto, el análisis del flujo de agua a través de rocas fracturadas, puede hacerse de dos maneras: A. continuum. B. discontinuum o discreto.

El continuum o primer método permite suponer que la masa fracturada es hidráulicamente equivalente a un medio poroso. La ventaja de dicho método es que la ley de Darcy puede ser aplicada de manera directa, y no es necesario hacer uso de nuevas teorías para tal caso. Si se presentan condiciones para que el primer método no pueda ser utilizado, el flujo debe considerarse como si ocurriese en fracturas individuales. Es aquí donde el segundo método o discreto debe utilizarse.

### A. ROCAS FRACTURADAS

Al igual que en los medios porosos intergranulares, cuando seleccionamos un volumen pequeño de roca fracturada, éste puede estar constituido prácticamente por orificios o roca sólida. Un volumen más grande puede incluir fisuras y roca sólida, pero esta proporción variará a medida que seleccionemos distintos puntos dentro de la misma roca. Dicha variación disminuye a medida que incrementamos el volumen seleccionado, hasta finalmente llegar al volumen óptimo o representativo. Para muchas rocas fracturadas se ha visto que a medida

que se incrementa dicho volumen, los parámetros de ésta variarán hasta encontrar de nuevo su punto de equilibrio.

Para poder emplear el primer método en el análisis del flujo de agua en roca fracturada se deben considerar ciertos aspectos:

1. Todos los parámetros importantes tales como: permeabilidad, dispersividad, compresibilidad de la roca, etc, son significativamente más pequeños en las condiciones de laboratorio que en las condiciones que se presentan en el campo.

2. Muchos modelos de roca fracturada que han sido usados en el análisis de distintos patrones de flujo, han demostrado que no existe una correlación, para seleccionar un volumen óptimo de una muestra a analizar. Para evitar esto es necesario seleccionar el volumen más grande de roca posible, y ensayar en éste las distintas pruebas, para determinar los parámetros de dicha muestra.

3. Dependiendo del tipo de roca que se va a analizar, el grado de homogeneidad de ésta, influirá si el volumen de la muestra escogida representará fielmente el comportamiento de dicha roca.

Por el contrario, si las condiciones que encontramos no nos permiten aplicar el primer método, debemos considerar que el flujo de agua se da en fracturas individuales o grupos de estas. Esto nos traerá como consecuencia los siguientes problemas:

1. Para poder determinar el tipo de flujo, se necesita

información acerca de la orientación, densidad de fractura, grado de conectividad, dimensión de las aperturas, y rugosidad de las fracturas.

2. Si las aperturas son de tamaño considerable, el flujo puede ser turbulento en lugar de laminar. Por consiguiente la ley de Darcy no puede ser aplicada.

3. Los valores de conductividad hidráulica variarán con cambios de esfuerzo y presión a los que esté sometida la roca.

En este caso, la conductividad hidráulica o permeabilidad puede ser calculada para un grupo de fracturas por medio de las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{\rho_w g N b^3}{12 \mu} \qquad k = \frac{N b^3}{12}$$

donde:

K: conductividad hidráulica.

k: permeabilidad.

b: apertura.

N: número de juntas por unidad de distancia de la roca.

$\rho_w$  : densidad del agua.

g : gravedad.

$\mu$  : viscosidad.

Nota: en este caso, el producto Nb recibe también el nombre de porosidad planar.

Retención específica: la retención específica ( $S_r$ ) de un suelo o roca, es la relación existente entre el volumen de agua que puede retener después de saturado en contra de la gravedad, y el volumen total (volumen de éste). Esta se expresa de la siguiente manera:

$$S_r = W_r / V$$

Donde:

$W_r$ : volumen ocupado por el agua retenida.

$V$ : volumen total de la roca o suelo.

Cesión específica: la cesión específica ( $S_y$ ) de una roca o suelo, es la relación entre el volumen total de agua que después de saturado puede ser drenado por gravedad, y el volumen total. Dicha relación se expresa así:

$$S_y = W_y / V$$

Donde:

$W_y$ : volumen de agua drenada.

$V$ : volumen total.

Tanto los valores de  $S_r$  como de  $S_y$  pueden ser expresados como porcentajes. Debido a que  $W_r$  y  $W_y$  constituyen el volumen total en un material saturado, podemos expresarlos de la siguiente manera:

$$T = W_r + W_y$$

Nota: todos los poros están interconectados.

## B. COEFICIENTE DE TRANSMISIBILIDAD

El coeficiente de transmisibilidad se puede definir como la habilidad de un acuífero para transmitir agua. Es el producto del grosor saturado del acuífero ( $b$ ), y el valor promedio de la conductividad hidráulica de la sección vertical del acuífero ( $k$ ). Lo podemos expresar de la siguiente forma:

$$T = kb$$

Dicha fórmula nos muestra el flujo de agua a través de un segmento vertical del acuífero de un pie de ancho, bajo un gradiente hidráulico unitario. Las dimensionales de éste son  $\text{pie}^2/\text{día}$ ,  $\text{gpd}/\text{pie}$ .

## C. COEFICIENTE DE ALMACENAJE

El agua que es recargada o descargada de una acuífero, representa un cambio en el volumen almacenado dentro de éste. Para acuíferos no confinados éste se expresa como el producto del volumen del acuífero comprendido dentro del nivel freático, al principio y al final de un período de tiempo, y la cesión específica promedio de dicha formación. En acuíferos confinados, sin embargo, suponiendo que éste permanece saturado, cambios en la presión producen cambios pequeños en su volumen de almacenaje. La presión hidrostática dentro de un acuífero soporta parcialmente el peso del material superior, y

el resto el soportado por el material sólido de éste. Cuando la presión hidrostática es reducida, por ejemplo, cuando se bombea agua de un pozo perforado en un acuífero, la carga dentro de éste aumentará. Una compresión del acuífero resulta, y la fuerza a que parte del agua salga. Aún más, un decremento de la presión causa una pequeña expansión y una subsecuente salida de agua. La capacidad de un acuífero de ceder agua puede ser expresada en términos de su coeficiente de almacenaje.

El coeficiente de almacenaje se define como el volumen de agua, que un decremento unitario en el gradiente hidráulico, cede de su almacenaje en un prisma vertical del acuífero con un área de sección transversal unitaria. Para un acuífero confinado, el coeficiente de almacenaje ( $S$ ), es igual al volumen de agua cedida del acuífero, cuando la superficie piezométrica se declina en una distancia unitaria. Dicho coeficiente es una cantidad adimensional. En la mayoría de acuíferos confinados, éste comprende valores que van desde 0.00005 hasta 0.005, indicando que cambios significativos en la presión sobre áreas de tamaño considerable, son requeridos para producir flujos provenientes de los acuíferos. En acuíferos confinados el agua es cedida por medio de dos procesos: A. Decremento del nivel freático en el área de recarga del acuífero. B. Respuestas elásticas debidas a cambios de presión dentro del acuífero y lechos de confinamiento, inducidos por la extracción de agua. Para ello, Jacob desarrolló la siguiente fórmula:

$$S = \theta r^B [\beta + (\alpha / \theta)]$$

Donde:

- (  $\theta$  ): porosidad promedio del acuífero.
  - (  $\gamma$  ): peso específico del agua.
  - (  $\beta$  ): compresibilidad del agua.
  - (  $\alpha$  ): compresibilidad vertical del acuífero.
- $b$ : grosor saturado del acuífero.

Para acuíferos no confinados el agua puede ser cedida por medio de dos procesos: A. Drenaje del material en la superficie libre del acuífero. B. Respuesta elástica del material debajo de la superficie libre. Por lo general, el agua cedida por la respuesta elástica, es baja comparada cuando ésta es drenada a través de la superficie libre. La velocidad de drenaje depende de las características del material que conforma el acuífero. Hay que hacer notar que el coeficiente de almacenaje varía con el tiempo, incrementándose en regímenes pequeños. La transmisibilidad del acuífero baja, a medida que el nivel freático decrece. El coeficiente de almacenaje de acuíferos no confinados puede ir desde 0.01 hasta 0.3.

## VII. POROSIDAD Y POROSIDAD EFECTIVA

La cantidad de agua que puede ser almacenada por un material saturado, depende de su porosidad, la cual es la razón entre el volumen de los intersticios de un suelo o roca y su volumen total. Los intersticios o poros son todas aquellas porciones de la roca o suelo que no son ocupadas por partículas de mineral; pero pueden ser ocupadas por agua. Estos son los conductos por donde el agua subterránea se desplaza, y se caracterizan por: A. tamaño. B. forma. C. irregularidad D. distribución. El concepto de porosidad abarca todos los tipos de intersticios, los primarios y secundarios. Los intersticios primarios fueron creados por procesos geológicos que gobiernan el génesis de las rocas. En sedimentos granulares no consolidados éstos coinciden con los espacios intergranulares. En rocas ígneas, éstos incluyen aberturas tubulares y vesiculares. Los intersticios secundarios son resultado de la acción geológica, mecánica, y química sobre la roca original. Estos incluyen juntas, fallas, fisuras, canales de solución, y planos de almacenamiento en rocas. Con respecto a su tamaño, éstos se pueden clasificar en: A. capilares: debido a su tamaño las fuerzas de tensión superficial pueden retener el agua dentro de éstos. B. supercapilares: son de mayor tamaño que los capilares. C. subcapilares: son tan pequeños que el agua es retenida dentro de éstos por fuerzas adhesivas. Dependiendo de su conexión, éstos se pueden clasificar en: A. comunicados. B. aislados.

Cuando encontramos intersticios de gran tamaño y fracturas sobre las rocas, éstos son resultado de un fuerte intemperismo. La porosidad

secundaria es utilizada para determinar la cantidad de agua que puede ser extraída de una formación, cuando ésta carece de porosidad intergranular. Un ejemplo de esto son las rocas masivas. Esta porosidad depende de condiciones locales y de propiedades de carácter heterogéneo. También se ha podido observar que varía con la profundidad.

Hay que hacer notar que la porosidad es una calidad estática de los suelos y rocas, y no es una medida de la permeabilidad, la cual es una característica dinámica que controla el flujo del agua. No toda el agua almacenada es libre de locomoción, sólo aquella que se encuentra en formaciones con poros interconectados. El agua que se almacena en aberturas aisladas es completamente inmóvil. Parte del agua que se encuentra en los poros interconectados es retenida en su lugar por fuerzas moleculares y de tensión superficial. Este almacenamiento muerto se conoce como retención específica.

Hay una diferencia marcada entre almacenamiento total y almacenamiento útil. Aquella porción de poros en el cual el flujo toma lugar, se llama porosidad efectiva o cesión específica del material y se define como: cantidad de agua que hay en los poros, la cual puede drenar libremente o puede ser extraída por medio del uso de la gravedad. La cesión específica para arcillas plásticas es de 0%, y de 30% para gravas y arenas. La mayoría de acuíferos está entre el 10-20%.

## VIII. PERMEABILIDAD

La permeabilidad de una roca o suelo es la capacidad de transmitir un fluido bajo la influencia de un gradiente hidráulico. La permeabilidad es afectada tanto por la geometría de los poros como por la de las partículas de roca. La resistencia o fricción al flujo depende de la naturaleza del sistema de poros, y no de su volumen relativo.

La unidad standard de permeabilidad intrínseca, que depende sólo de las propiedades del medio, se llama Darcy y se expresa como: Caudal en  $\text{cm}^3$  seg, de un fluido con un centipoise de viscosidad, a través de un área de sección transversal de un centímetro cuadrado bajo un gradiente de presión de 1 ATM por centímetro. Este es equivalente a un caudal de 18.2 galones de agua por día por pie cuadrado bajo un gradiente hidráulico de un pie por pie a una temperatura de 60 F ( 15 C ).

La homogeneidad o isotropía de un medio se refiere a la distribución espacial de la permeabilidad. Se dice que un medio poroso es isotrópico si su permeabilidad es la misma en todas direcciones. Se dice que es anisotrópico si la permeabilidad varía con la dirección. Esta es muy común en depósitos sedimentarios. El medio es homogéneo si la permeabilidad es constante en cada punto de éste. Es no homogéneo si varía en cada punto de éste. Los acuíferos que poseen porosidad secundaria son no homogéneos.

## IX. DESCARGA DEL AGUA SUBTERRANEA

La descarga del agua subterránea se da por medio de dos formas:  
A. evapotranspiración. B. descarga superficial.

Cuando la franja capilar es intersectada por un sistema de raíces de la vegetación en el área, se genera una ruta para transpirarla directamente a la atmósfera. En algunos casos se puede observar una fluctuación diurna del nivel freático, a causa de dicha transpiración. En caso de que la franja capilar esté lo suficientemente cerca de la superficie, el agua puede evaporarse directamente. Todo esto en conjunto recibe el nombre de evapotranspiración.

Cuando el nivel freático o un acuífero artesiano intersecan el nivel del suelo, el agua es descargada de forma directa. Si el régimen de descarga o caudal es bastante bajo, y el agua es capaz de esparcirse sobre un área grande, ésta se dice que actúa bajo difusión. El agua en dicha condición puede acumularse, evaporarse, o fluir, dependiendo de la magnitud de la difusión, clima, y de la topografía del terreno.

En cambio, si la descarga del agua es grande, y se realiza sobre un área pequeña, recibe el nombre de manantial. Los manantiales ocurren de distintas formas y pueden ser clasificados de acuerdo a la causa, estructura de la roca, descarga, temperatura, y variabilidad. Estos se pueden dividir en dos grandes grupos: A. aquellos que son el resultado de las fuerzas no-gravitacionales. B. aquellos que son el

resultado de fuerzas gravitacionales. También tenemos los manantiales volcánicos, los cuales tienen su origen en las rocas volcánicas, y los manantiales de fisuras que resultan de las fracturas que se extienden a profundidades considerables dentro de la corteza terrestre. Por lo general, estos dos tipos de manantiales mencionados son termales (ésto significa que descargan agua a una temperatura mayor que la del agua subterránea en condiciones normales).

Los manantiales gravitacionales resultan del flujo del agua bajo presión hidrostática. Estos se subdividen en cuatro grupos:

A. manantiales de depresión: estos se forman cuando el nivel freático interseca el nivel del suelo.

B. manantiales de contacto: se presentan cuando una formación permeable que cede agua con facilidad, está colocada sobre una formación menos permeable que interseca el nivel del suelo.

C. manantiales artesianos: estos son el resultado de la descarga de agua bajo presión proveniente de acuíferos artesianos, ya sea cuando éstos sobrepasan directamente el nivel del suelo, o cuando existe una abertura en el lecho de confinamiento.

D. manantiales de roca impermeable: éstos son el producto de canales tubulares o fracturas de roca impermeable.

E. manantiales tubulares o de fractura: éstos provienen de tubos de lava, canales de solución, y de fracturas de roca impermeable que

contienen agua subterránea.

La descarga de los manantiales depende del área de recarga para el acuífero, y el régimen de descarga. Por lo general, los manantiales pueden tener fluctuaciones en su descarga. Dichas fluctuaciones, son una respuesta a las variaciones en el régimen de recarga con períodos que van desde minutos hasta años, que a su vez dependen de las condiciones geológicas e hidrológicas.

Los manantiales permanentes, drenan acuíferos permeables de gran tamaño y su descarga se da durante todo el año, mientras que los manantiales intermitentes tienen descarga durante ciertos períodos del año, cuando la recarga del agua subterránea es suficiente. Estos se encuentran por lo general en roca volcánica o sedimentaria. Los manantiales periódicos son los que tienen fluctuaciones de descarga más o menos regulares durante el año, las cuales son causadas por: A. variaciones en la transpiración. B. cambios en la presión atmosférica. C. mareas que afectan a los acuíferos artesianos. D. sifones naturales que actúan sobre cuencas de almacenamiento subterráneo.

#### A. HIDRAULICA DEL AGUA SUBTERRANEA

Hagen ( 1839 ) y Poiseuille ( 1846 ) demostraron que la velocidad de un flujo de agua en tubos capilares es proporcional a la pendiente del gradiente de energía (  $S$  ). Darcy ( 1856 ) confirmó la aplicabilidad de este concepto para el flujo en arenas uniformes, resultando la siguiente ecuación:

$$V = KS$$

Esta es mejor conocida como la ley de Darcy. Sabemos que la velocidad (  $V$  ) se puede expresar como:

$$V = Q / A$$

donde:

Q: es el gasto o caudal ( volumen por unidad de tiempo ).

A: área de sección transversal del acuífero.

El coeficiente (  $K$  ) se refiere a la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad. Tiene las mismas dimensionales que la velocidad (pie/día o metro/día), ya que la pendiente (  $S$  ) es adimensional (metro/metro o pie/pie). como se considera despreciable la carga de velocidad en el flujo de agua subterránea, la pendiente (  $S$  ) es la pendiente del nivel freático.

La velocidad actual (  $V_{act}$  ) con que el agua se desplaza dentro del acuífero, se expresa como:

$$V_{act} = Q / A_{act} = Q / ( p \times A ) = V / P$$

Donde:

P: porosidad del medio expresada como decimal.

$A_{act}$ : área actual ( efectiva ).

En el caso de acuíferos formados por partículas muy finas, la porosidad debe ser sustituida por la porosidad efectiva (  $\alpha \times p$  ),

donde ( $\alpha$ ) es la fracción del espacio de poros que ocupa el agua en movimiento. Ahora bien,  $1 - (\alpha)$  representa la fracción de poros que es ocupada por agua inactiva, retenida por fuerzas moleculares y que no contribuye con el flujo. Para arenas y gravas la porosidad efectiva es igual a la unidad.

El coeficiente de permeabilidad standard ( $K_s$ ), se puede expresar como (en sistema inglés): galones por día que pasan a través de un área de 1 pie<sup>2</sup>, bajo un gradiente hidráulico unitario. (En sistema internacional): metros por día que pasan a través de un área de 1 m<sup>2</sup> bajo gradiente hidráulico unitario. Debido a que la viscosidad cinemática es un parámetro importante para el flujo laminar, la permeabilidad estándar está graduada a una temperatura de 60°F ( 15°C ), la cual es representativa del agua subterránea. Podemos observar que la permeabilidad varía inversamente al igual que las viscosidades cinemáticas respectivas cuando la temperatura no es de 60°F ( 15°C ), la cual se expresa así:

$$K = K_s \times ( V_{60} / V_t )$$

Donde:

$V_{60}$ : viscosidad del agua a los 60°F ( 15°C ).

$V_t$ : viscosidad del agua a una temperatura dada.

La transmisibilidad ( $T$ ) es el flujo expresado en galones por día ( o metro<sup>3</sup>/día ) a través de una sección del acuífero de 1 pie ( o 1 metro ) de ancho, bajo un gradiente hidráulico unitario. Dicho flujo se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = K_s \times A \times S = T \times B \times S$$

Donde:

B: ancho del acuífero.

A: área de la sección transversal.

S: pendiente del nivel freático.

Podemos notar que la transmisibilidad de un acuífero puede ser expresada como:  $T = (K_s) (A/B) = (K_s) (Y)$

donde:

Y: profundidad o grosor de la zona de saturación dentro del acuífero.

Hay que hacer notar que los coeficientes K,  $K_s$ , y T dependen no sólo de las características del medio, sino también de las del fluido.

La permeabilidad intrínseca (k) de un medio se expresa como:

$$k = (c) (d^2)$$

donde:

c: coeficiente adimensional.

d: diámetro medio de las partículas.

El Darcy ha sido tomado como la unidad estándar para expresar la permeabilidad intrínseca.

$$1 \text{ Darcy} = 0.987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ Darcy} = 1.062 \times 10^{-11} \text{ pie}^2$$

Por medio de análisis bidimensional podemos relacionar el coeficiente de permeabilidad (K), con el de permeabilidad

intrínseca (  $k$  ) como sigue:

$$K = ( k \times g ) / V$$

Donde:

$g$ : gravedad.

$V$ : viscosidad cinemática.

## B. ORIGEN Y EDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Casi toda el agua subterránea puede ser considerada como parte del ciclo hidrológico, donde incluimos el agua superficial y meteórica ( atmosférica ). Un bajo porcentaje puede ingresar a dicho ciclo proveniente de otras fuentes.

El agua que ha estado sin contacto con la atmósfera por un periodo geológico considerable se denomina agua fosilizada. Como su nombre lo indica, es agua proveniente de intersticios fosilizados. Esta pudo haber emigrado del océano o agua dulce, y por lo general tiene un alto contenido de minerales. El agua magmática es aquella que se deriva del magma. Dependiendo de la profundidad, ésta se agrupa en: A. agua plutónica, cuando son de profundidades considerables. B. agua volcánica, cuando son de profundidades bajas ( 3-5 kms. ). El agua de origen magmático o cósmico que no ha sido parte de la hidrosfera se denomina agua juvenil o nueva. Por último, tenemos el agua metamórfica, la cual procede de rocas que han entrado en proceso de metamorfización.

Para poder determinar la edad del agua subterránea, se utilizan los radioisótopos, de los cuales los más usados son: A. hidrógeno 3.

6. carbono 14. El hidrógeno 3 tiene una semivida\* de 12.3 años, el cual es producido en la parte superior de la atmósfera por radiación cósmica, transportado hacia el suelo por medio de la lluvia, y ésta es absorbida por el suelo. La ecuación de su semivida es:

$$A = ( A_0 ) ( e^{-\lambda t} )$$

donde:

A: radioactividad observada.

A<sub>0</sub>: cantidad original al momento que el agua entró al acuífero.

( λ ): constante de descomposición.

t: edad del agua.

El carbono 14 tiene una semivida de 5730 años, y es también producido en la atmósfera en cantidades constantes. El hidrógeno 3 se utiliza para determinar la edad del agua subterránea para periodos no mayores a 50 años, mientras que el carbono 14 se usa para periodos que van desde cientos de años hasta 50,000.

NOTA: Semivida es una medida de la estabilidad de una sustancia radioactiva, es simplemente el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los átomos en una cantidad inicial ( A<sub>0</sub> ). Cuanto mayor es la semivida de una sustancia, tanto más estable es esta.

### C. MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

El estado natural del agua subterránea es de continuo movimiento. Dicho movimiento está gobernado por la gravedad, y es

afectado de una manera directa por la resistencia ( fricción ) ofrecida por el medio poroso. La diferencia de gradiente entre cualesquiera de dos puntos hace que el agua tenga energía para su movimiento. El agua se desplaza de lugares de energía potencial alta, a lugares con energía potencial baja, siendo la pérdida del gradiente disipada como calor. Debido a que la descarga, recarga, y el almacenamiento varían con el tiempo, la distribución del gradiente en varios puntos del acuífero es no estacionaria.

El flujo del agua subterránea es inestable y no uniforme, comparado con el agua superficial. También cabe agregar que es bastante lento. Debido a la existencia de bajas velocidades y el espacio tan reducido del medio donde se desplaza, da como resultado números de Reynolds muy bajos, y por consiguiente podemos concluir que el flujo es casi laminar. El flujo turbulento se da en cavernas de limo, rocas volcánicas, y gravas gruesas.

Dependiendo de la permeabilidad intrínseca, el patrón de movimiento puede variar considerablemente dentro de la misma formación geológica. Por lo general, el flujo tiende a concentrarse en zonas donde la permeabilidad es alta, esto es, donde los intersticios son de mayor tamaño y tienen una mejor intercomunicación o conexión.

En acuíferos homogéneos e isotrópicos, el movimiento del agua va con la dirección de la pendiente más fuerte del nivel freático o superficie piezométrica. Cuando existe una marcada no-homogeneidad y anisotropía en la permeabilidad, la dirección del movimiento del agua subterránea puede ser altamente variable.

## X. HIDRAULICA DE POZOS

La hidráulica de pozos trata con problemas relacionados acerca de cuanta agua es capaz de ceder un pozo, pronosticar los efectos de bombeo sobre el agua subterránea y la capacidad potencial del acuífero como fuente hídrica. La respuesta de un acuífero al bombeo depende de: A. tipo de acuífero. B. características del acuífero. C. lechos de confinamiento. D. diseño y construcción del pozo. E. manejo y operación del pozo.

La primera porción de agua que es bombeada procede de los estratos que estén en contacto inmediato con el pozo. Transcurrido cierto periodo de tiempo, el nivel del agua (ésto es, superficie piezométrica o nivel freático) empieza a descender. Dicho descenso se conoce con el nombre de cono de abatimiento. La forma de dicho cono va a estar determinada por el gradiente hidráulico requerido para transportar el agua del acuífero hasta el pozo de bombeo. La distancia o nivel al cual el nivel del agua es forzado a bajar, se conoce como abatimiento. El radio de influencia se define como la distancia que va desde el centro del pozo hasta el punto donde la línea de abatimiento coincide con el nivel freático. Conforme se continúa el bombeo, la forma del cono cambia a medida que se va alejando del pozo. Esta es la fase dinámica, en la cual el flujo es dependiente del tiempo (régimen de no equilibrio), y ésto se refleja en el cambio continuo de las velocidades y niveles del agua. Pasado un lapso de tiempo considerable, la forma del cono de abatimiento se estabiliza cerca del pozo, y ésto se va reflejando a medida que se aleja de éste. De aquí

en adelante, el cono se moverá paralelamente al mismo en dicha área. Un nuevo estado de equilibrio se alcanzará si la descarga natural es disminuida o la recarga natural es incrementada en una cantidad igual al régimen de bombeo del pozo. Dicho estado se conoce como régimen de equilibrio, y se caracteriza por el estancamiento del nivel del agua (ya no desciende más).

#### A. INTERFERENCIA DE POZOS

Cuando los conos de abatimiento de dos pozos ( por los cuales se está bombeando agua ) se traslapan, se dice que un pozo interfiere con el otro. Como resultado de dicha interferencia, el régimen de descenso del nivel freático se incrementa de una manera acelerada. Para un grupo de pozos que se encuentran dentro de un mismo campo, el abatimiento puede ser determinado en cualquier punto si los caudales de descarga de los pozos son conocidos. Aplicando en principio de superposición, el abatimiento en cualquier punto del área de influencia de los pozos es igual a la sumatoria de los abatimientos producidos por cada pozo individualmente. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$S_t = S_a + S_b + S_c + S_d + \dots + S_n$$

donde:

$S_t$ : abatimiento total medido en un punto determinado.

$S_a, S_b, S_c, S_d, \dots, S_n$ : abatimiento causado por cada pozo.

Otro aspecto importante que afecta el abatimiento en los pozos es la geometría del terreno y el número de éstos. En general, en los

campos de pozos destinados para el abastecimiento de agua potable, debe tomarse en cuenta la interferencia que se puede producir en éstos, a la hora de perforarlos. Dicha medida es recomendable también para los pozos de observación.

## B. FLUJO INTERMITENTE A LOS POZOS

Se han desarrollado ecuaciones de relaciones para el flujo de agua al interior de pozos, en los cuales el periodo de bombeo es una variable adicional. Este importante avance en la hidráulica de pozos ha eliminado la necesidad de alcanzar las condiciones de flujo estable o de equilibrio (régimen de equilibrio). Debido a que el acercamiento gradual del cono de depresión a una situación de estabilidad es producido primariamente por la remoción de agua del almacenamiento conforme el cono se profundiza, entra en juego un coeficiente de almacenamiento. El coeficiente de almacenamiento y la transmisibilidad se denominan entonces como las constantes de formación del acuífero.

El desarrollo original de la ecuación de Theis se deriva de una analogía con el flujo de calor hacia una depresión o punto en el cual se remueve calor a una velocidad uniforme. La solución matemática del problema de flujo de calor se ha transferido directamente al problema hidráulico, siendo la ecuación:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

En donde  $W(u)$  es la función integral de  $u$ , siendo definido el límite inferior de  $u$  como:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

donde

S: coeficiente de almacenamiento.

t: tiempo durante el cual se ha bombeado el pozo.

Dicha ecuación es conocida como la ecuación de Theis. La integral exponencial de la ecuación anterior recibe el nombre de función del pozo de u,  $W(u)$ . Puede ser resuelta por expansión dentro de una serie convergente:

$$W(u) = -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} + \dots$$

La ecuación de no equilibrio o de Theis permite la determinación de las constantes de formación S y T por medio del bombeo en pozos de observación. En la práctica es la que más se usa, debido a que tiene las siguientes ventajas sobre la ecuación de equilibrio. Estas son: A. el valor de S puede ser determinado. B. sólo se requiere de un pozo de observación. C. el periodo de bombeo es generalmente corto. D. no se requiere de suponer estabilidad en el flujo.

Hay que hacer notar la importancia de conocer las siguientes suposiciones a la hora de aplicar la ecuación de no equilibrio o Theis. Si éstas no son tomadas en cuenta, es muy probable que los resultados que obtengamos sean incorrectos. Dichas suposiciones son: A. el acuífero es homogéneo, isotrópico, de grosor uniforme, y de un área de extensión infinita. B. antes del bombeo, la superficie piezométrica se considera horizontal dentro de éste. E. el diámetro del pozo es infinitesimal, para que el almacenaje dentro de éste sea despreciable. F. el agua que va siendo removida es descargada por

medio de una declinación en el gradiente.

Debido a que existe bastante dificultad (de tipo matemático) de aplicar la ecuación anterior, se han desarrollado ciertas aproximaciones sencillas para solventar dicho problema. Las tres más conocidas son: A. Theis. B. Cooper y Jacob. C. Chow.

### C. METODO DE THEIS

La ecuación anterior puede ser simplificada a:

$$S = \left( \frac{Q}{4\pi T} \right) W(u)$$

Donde  $W(u)$  es una representación simbólica de la integral exponencial. Dicha ecuación queda escrita de la siguiente manera:

$$\frac{r^2}{t} = \left( \frac{4T}{S} \right) u$$

Se puede ver que la relación entre  $W(u)$  y  $u$  debe ser similar a la existente entre  $s$  y  $r/t$  porque los términos dentro del parentesis en ambas ecuaciones son constantes. Debido a dicha similitud, Theis desarrolló soluciones aproximadas para  $S$  y  $T$  por medio de un método gráfico de superposición.

Cuando planteamos en un papel logarítmico los valores de  $W(u)$  y  $u$ , se traza una curva la cual se conoce con el nombre de curva típica. Los valores de  $r/t$  y los del abatimiento son planteados también en una hoja de papel logarítmico del mismo tamaño que la anterior ( donde fueron planteados los valores de  $W(u)$  y  $u$  ). Los valores de la curva tiempo-abatimiento son superpuestos sobre los de la curva típica.

Luego de asegurarse de que los ejes horizontales de ambas curvas (eje  $x$ ) estén paralelos, se busca el segmento que coincida en ambas curvas. Se escoge un punto particular dentro de dicho segmento, y se anotan sus coordenadas respectivas. Con los valores de  $W(u)$ ,  $u$ ,  $r/t$ , y  $s$  (las coordenadas del punto seleccionado), por medio de las ecuaciones anteriores podemos hallar los valores de  $S$  y  $T$ .

#### D. METODO DE COOPER-JACOB

Cooper y Jacob notaron que para valores pequeños de  $r$  y valores grandes de  $t$ ,  $u$  se torna muy pequeña y los primeros dos valores de la serie convergente son despreciables. Como resultado de esto, el abatimiento puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right)$$

Si esta expresión la escribimos con decimales logarítmicos, se reduce a:

$$\Delta = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

Debido a esto al plotear los valores del abatimiento en contra del logaritmo de  $t$  ( esto lo hacemos en papel semilogarítmico ), se forma una línea recta. Cuando  $s=0$  y  $t=t_0$ , resulta que:

$$\phi = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt_0}{r^2 S}$$

Despejando  $S$  queda:

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

Podemos encontrar el valor de  $i$ , si notamos que  $t/t_0=0$ , entonces  $t/t_0=1$ . Si reemplazamos a  $s$  por  $\Delta s$ , tenemos la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \Delta s}$$

Para poder resolver nuestro problema, debemos determinar primero

el valor de  $T$ , y luego el de  $S$ . Se advierte que debido a una aproximación al decir que trabajamos con una línea recta, los valores de  $u$  deben ser restringidos a valores pequeños para evitar errores ( $u < 0.01$ ).

#### E. METODO DE CHOW

Chow desarrolló un método que descarta el uso de hacer coincidir gráficos y no tener restricciones en su aplicación. Se toman los valores de abatimiento de un pozo de observación localizado cerca del pozo donde se está realizando el bombeo. Los valores son ploteados en un papel semilogarítmico de la misma manera que en el método de Cooper-Jacob. Se escoge un punto al azar localizado sobre dicha curva y se anotan sus coordenadas,  $t$  y  $s$ , respectivamente. Después de realizado esto, se dibuja una tangente que toca a la curva sobre el punto escogido y se determina la diferencia de abatimiento ( $\Delta s$ ). Se calcula  $F(u)$  de la siguiente manera:

$$F(u) = \frac{s}{\Delta s}$$

Posteriormente encontramos los valores correspondientes de  $W(u)$  y de  $u$  del gráfico siguiente. Finalmente se calculan los valores de  $T$  y  $S$  con las ecuaciones del método de Theis.

## XI. CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA

La contaminación del agua subterránea se puede definir como la degradación inducida artificialmente de la calidad natural del agua subterránea. La contaminación puede impedir el uso del agua y puede crear peligro para la salud a través de los tóxicos en ella, y por ende, siendo una fuente de enfermedades. La mayoría de la contaminación se origina con la disposición del agua residual, la cual es producto del uso particular que se le da al agua. A pesar de esto, un gran número de fuentes y causas pueden modificar la calidad del agua subterránea, abarcando desde tanques o pozos sépticos hasta la irrigación para la agricultura. En contraste con la contaminación del agua superficial, la contaminación del agua subterránea es difícil detectarla, y aún más de controlar, y esto puede persistir durante décadas. Debido a que el uso del agua subterránea como recurso hídrico ha aumentado, deberían incrementarse los esfuerzos para prevenir, reducir, y eliminar dicha contaminación.

Contaminación relacionada con el uso del agua: Los posibles contaminantes del agua subterránea son prácticamente ilimitados. Entre los más comunes podemos enumerar: A. orgánicos. B. químicos (inorgánicos). C. biológicos. D. físicos. E. radiológicos. Las fuentes y causas de la contaminación del agua subterránea, se pueden vincular de una manera cercana al uso humano. Una serie de modificaciones complejas e interrelacionadas causadas a la naturaleza del agua subterránea, derivan de las alteraciones hechas sobre el ciclo hidrológico, por agentes humanos.

Las fuentes principales de la contaminación del agua subterránea se pueden agrupar en cuatro categorías: A. municipal. B. industrial. C. agrícola. D. misceláneo. La mayor parte de la contaminación deriva de la disposición de los desechos sobre o dentro del suelo.

Otra manera de clasificar las causas de contaminación es de acuerdo a su geometría: A. fente puntual: es aquella que proviene de un solo punto. B. fente lineal: como su nombre lo indica, son aquellas fuentes que tienen un patrón lineal. C. fente difusiva: estas son las que ocupan un área extensa, que puede ser definida o no, con facilidad.

#### A. FUENTE MUNICIPAL Y CAUSAS

Fugas en los alcantarillados: Los alcantarillados sanitarios se hacen con el mayor cuidado para que éstos en el futuro no tengan ninguna clase de fuga. En la realidad, las fugas provenientes de éstos hacia el suelo ocurren frecuentemente, en particular las de alcantarillados viejos. Las fugas pueden tener varias causas, entre las cuales se pueden enumerar: A. mano de obra deficiente. B. tuberías de alcantarillado defectuosas. C. fracturas causadas por las raíces de los árboles. D. rupturas por sobrecargas. E. fracturas producidas por actividad sísmica. F. falta de soporte en su cimentación. G. corte debido a asentamientos diferenciales. H. Flujo de las aguas servidas hacia los laterales, causado por la infiltración. Debido a que los sólidos en suspensión tapan las grietas o fracturas, y el suelo que rodea a las tuberías tiende a sellarlas a causa de la actividad anaeróbica, las fugas de orificios menores son

por lo general muy pequeñas.

Las fugas de los alcantarillados, sirven de fuente para grandes concentraciones de nitratos, químicos orgánicos, y bacterias que pueden infiltrarse dentro del agua subterránea. El sistema de alcantarillado que colecta las aguas servidas de los sectores industriales, contiene metales pesados (dependiendo del tipo de industria) como: arsénico, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, y mercurio, los cuales pueden infiltrarse dentro del agua subterránea.

Desechos líquidos: El agua servida de los sectores urbanos, puede originarse del uso doméstico, industrial, o escorrentía causada por las lluvias. Por lo general, dicha agua servida recibe cierto grado de tratamiento o luego es descargada a las aguas superficiales. En la actualidad, se ha puesto en práctica descargar agua servida previamente tratada directamente al suelo, que sirve como recarga para el agua subterránea. Dicha agua servida se mezcla con el agua subterránea, la cual pasado cierto periodo de tiempo, puede ser aprovechada como recurso.

El agua municipal o servida puede ser transporte para bacterias, virus, químicos orgánicos e inorgánicos, que a su vez se infiltran en el agua subterránea. Cuando posteriormente extraemos dicha agua para darle un uso potable, debemos tener en mente los efectos que va a ocasionar sobre la salud. Dichos efectos son por ejemplo: enfermedades hídricas (producidos por virus o bacterias), metales pesados, etc. Aparte de ésta, si tenemos que usar cantidades mayores a las normales

para clorar el agua, en lugar de hacerla apta para un uso potable, la podemos contaminar aún más.

Otro aspecto importante que cabe mencionar, es el uso de pozos poco profundos para almacenar la escorrentía producto de las lluvias, y las aguas servidas o cloacales (pozos de absorción o sépticos). Dichos pozos han recibido fuerte crítica por ser un factor de contaminación potencial, ya que descarga al acuífero agentes de contaminación, de una manera directa. El problema se agrava, cuando éstos son perforados cerca de pozos donde se está bombeando agua, o en estratos de grano fino (ejemplo: acuíferos encontrados en limo o basalto ).

Desechos sólidos : Esta es una de las mayores fuentes de contaminación del agua subterránea. Un relleno sanitario puede ser definido como sigue: área utilizada como depósito de desechos sólidos de origen urbano o municipal. La mayoría de estos depósitos, no cumplen con las normas sanitarias que rigen su construcción, sino que se construyen como cualquier tipo de obra civil. Cuando llueve, este problema se agranda, ya que el agua que se infiltra en dichos rellenos, hace que se produzcan lixiviados, los cuales pueden llegar hasta donde está el acuífero, y por consiguiente contaminarlo. Aparte de la lluvia, otros factores como: infiltración de agua superficial (ríos, lagos, etc), agua proveniente de alguna tubería adyacente al relleno, y el contacto directo del acuífero con el relleno (en el caso de que el nivel freático tenga contacto con los sólidos) pueden producir lixiviados. En el caso de un relleno sanitario propriadamente construido, los lixiviados pueden ser detectados y controlados.

logrando así, prevenir la contaminación del agua subterránea.

Este problema cobra mayor fuerza, cuando tenemos el caso de que fuertes lluvias se combinan con niveles freáticos muy cercanos a la superficie del suelo. De los contaminantes más comunes provenientes de los rellenos sanitarios, podemos enumerar: A. hierro. B. manganeso. C. cloro. D. nitratos. E. alcalinidad. F. dureza. A su vez, éstos también pueden contaminar el aire, por medio de gases que se liberan de los desechos contenidos dentro de éstos. Entre los mismos podemos enumerar: A. metano. B. dióxido de carbono. C. amoníaco. D. sulfato de hidrógeno. Dichos gases al ser inhalados, dañan el sistema respiratorio de la persona, o inclusive, si están presentes en el aire en cantidades considerables, pueden causar la muerte.

## B. FUENTE INDUSTRIAL Y CAUSAS

Desechos líquidos: Los principales usos del agua dentro de la industria son: A. enfriamiento. B. remoción de impurezas. C. procesos y elaboración de productos. Las características de las aguas servidas dependerán del tipo de industria y de producto. El agua utilizada para enfriamiento, ha sido previamente "suavizada", lo que resulta en una gran cantidad de sales y calor presentes en el agua servida, que son de los contaminantes más comunes. En la mayoría de industrias, el agua servida se descarga en "lagunetas" lo que hace que los contaminantes se filtren por los lechos de éstas, hasta llegar al nivel freático.

Fugas de tuberías y tanques: En la mayoría de industrias se

almacenan en tanques subterráneos combustibles de distinto tipo, que son transportados por redes de tuberías hacia los lugares de trabajo. Debido a esto, dichos tanques y tuberías, están expuestos a que en cualquier momento haya una falla mecánica que genere una fuga, y esto se convierta en un contaminante del agua subterránea. Un ejemplo típico es el petróleo y sus derivados.

Las fugas ocurren con mayor frecuencia en gasolineras, donde se almacenan en depósitos subterráneos, gasolina, diesel, y aceite. Cuando se tiene una fuga de aceite (el cual es un líquido inmisible), por ejemplo, éste va a infiltrarse a través de los estratos permeables hasta llegar al nivel freático. Al momento de llegar, se esparce para formar una capa impermeable, y luego se empieza a desplazar lateralmente con el agua subterránea.

### C. FUENTE AGRICOLA Y CAUSAS

Fertilizantes: Cuando éstos son aplicados en zonas agrícolas, por lo general una porción considerable se filtrará hasta el nivel freático. Los fertilizantes primarios son compuestos de nitrógeno, fósforo, y potasio. Por lo general, el fósforo y el potasio no tienen mayor trascendencia en la contaminación del agua subterránea. Como sabemos, cierta parte del nitrógeno en solución es adsorbido por el suelo y usado por las plantas, pero el resto penetra hasta el estrato donde está el agua subterránea, contaminándola de esta manera.

Otros tipos de fertilizantes son el sulfato de cal y sulfuro, los cuales son utilizados con bastante frecuencia. Cuando éstos entran

en contacto con el agua subterránea, incrementan el índice de salinidad de ésta.

Pesticidas: Los pesticidas son usados para el control de plagas en las áreas de cultivo. Debido a esto, cuando están presentes en cantidades considerables, llegan a convertirse en un gran riesgo para el agua subterránea. La potabilidad del agua subterránea es dañada significativamente, a veces irreversiblemente cuando éstos entran en contacto con ésta. Los efectos de éstos dependerán de: A. tipo de pesticida. B. regímenes de lluvia o irrigación. C. características del suelo. La mayoría de los pesticidas son insolubles en agua, mientras que una minoría son absorbidos por el suelo o son sujetos a degradación microbacteriana.

#### D. FUENTE MISCELANIA Y CAUSAS

Descarga superficial: La descarga superficial o derrame de líquidos sobre la superficie del suelo de una manera descontrolada, al momento de infiltrarse en el suelo, puede llegar a degradar la calidad del agua subterránea. En el caso de sectores industriales, podemos mencionar: A. derrames de líquidos (químicos, kerosena, gasolina, etc.). B. fugas de tuberías o válvulas. C. manejo inadecuado de desperdicios. También hay que hacer notar que en las gasolineras, cuando se despacha combustible, existen desperdicios (el combustible sigue saliendo de éstas) que se riegan sobre el suelo. Dicha contaminación de hidrocarburos es mayor cuando hay derrames de los tanqueros que abastecen a dichos lugares. Estos al entrar en contacto con el nivel freático, forman una capa sobre éste. El aceite quemado,

es otro contaminante que proviene de gasolineras y talleres mecánicos, el cual es arrojado directamente sobre el suelo. Otros establecimientos que podemos mencionar, son los centros comerciales y obras en construcción, donde es posible encontrar condiciones de disposición de desechos similares a las citadas anteriormente.

Finalmente, los derrames de tuberías aéreas y tanques aéreos de almacenamiento, colisiones en las que se ven involucrados camiones que transportan líquidos potencialmente contaminantes, etc. pueden llegar a dañar la potabilidad del agua subterránea.

Depósitos de desperdicios: Por lo general, es posible ver depósitos de desperdicios cerca de plantas industriales, obras en construcción, y áreas destinadas a la actividad agrícola. Estos materiales apilados pueden encontrarse en dichos lugares de manera temporal o indefinida. Al momento que empieza a llover, el agua que entra en contacto con éstos produce lixiviados que pueden infiltrarse en el suelo. Estos pueden transportar metales pesados, sales, y cualquier tipo de material orgánico e inorgánico, que son agentes contaminantes de agua subterránea.

Pozos de absorción: Estos constituyen la fuente más numerosa y mayormente distribuida de contaminación del agua subterránea. El uso que tienen estos pozos es por lo general de tipo doméstico, aunque también hospitales, centros comerciales, e industrias pueden hacer uso de éstos. Dichos pozos estarán presentes en áreas que no tienen un sistema de alcantarillado adecuado o es inexistente. La función primaria de dichos pozos es de separar los desechos sólidos que estén

arrastrándose o vayan flotando, de los desechos líquidos que llevan las aguas servidas domésticas, y transportarlos a un filtro de arena para luego ser absorbidos de manera directa por el suelo.

Los contaminantes que transportan estas aguas servidas son: A. bacterias patógenas. B. virus. C. sales y minerales. D. nitrógeno. Como podemos ver, la contaminación o el riesgo de una contaminación potencial es significativa cuando el número de casas que poseen este sistema es grande, ya que habrá muchos focos de contaminación esparcidos dentro de un área de gran tamaño.

Contaminantes biológicos: Dentro de los más importantes podemos mencionar: A. bacterias patógenas. B. virus. C. parásitos. No se necesita saber bastante acerca de infectología o ingeniería sanitaria para poder ver los grandes problemas en la salud que causan los contaminantes. Dichos efectos se conocen como enfermedades hídricas (enfermedades causadas por el agua contaminada), entre las cuales podemos mencionar: A. fiebre tifoidea. B. cólera. C. polio. D. hepatitis. También pueden causar desórdenes de segundo orden en el sistema digestivo.

La fuente principal de dichos contaminantes es de desechos orgánicos humanos o animales, los cuales son transportados por las aguas servidas. Los focos principales de donde estos desechos orgánicos provienen son: A. pozos de absorción o plantas de tratamiento funcionando defectuosamente. B. lixiviados de rellenos sanitarios. C. manejo inadecuado de fertilizantes agrícolas.

Otras fuentes de contaminantes biológicos que podemos enumerar son: A. construcción defectuosa de pozos de absorción, los cuales dejan filtrar las aguas servidas al suelo, contaminando de esta manera pozos para bombeo de agua circunvecinos. B. rupturas en las tuberías de drenaje sanitario o pozos de absorción localizados cerca de pozos para bombeo de agua.

## XII. ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO

### A. ASPECTOS GEOLOGICOS

El valle de Guatemala constituye una parte del altiplano, formando un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena de conos volcánicos Cuaternarios. Esta cadena volcánica, cuyos conos ascienden hasta los 4000 msnm, se extienden en dirección ONO-ESE paralela a la costa pacífica del país. La elevación máxima del terreno al norte de los volcanes y al este del lago de Amatitlán es de 2300 msnm, para disminuir progresivamente hacia el este hasta 1500 msnm, en el valle de Guatemala.

La morfología cuneiforme del terreno entre este sistema de fallas del Motagua y la cadena volcánica, ha sido influenciada por un sistema de fallas de bloque, con rumbo NNE hasta NNO, que forman una serie de bloques levantados y bloques hundidos, de los cuales el Valle de Guatemala es un ejemplo.

A ambos lados de la divisoria continental los ríos han cortado cañones profundos en la planicie del Valle de Guatemala que ésta constituido por cenizas y tobas volcánicas. En estas rocas poco resistentes a la erosión mecánica fluvial, se han formado cañones con paredes casi verticales de hasta 140 metros de altura, que representan las densas redes dendríticas juveniles del río Las Vacas que drena al río Motagua, en el norte y del río Villalobos al sur de la divisoria continental, el cual drena hacia el Lago de Amatitlán.

Como podemos ver, la morfología y geología es muy variada, haciendo del Valle de Guatemala un lugar de contrastes marcados y pendientes bastante pronunciadas. Hay que hacer notar que nuestra micro-cuenca está situada entre los cauces del río Villalobos y río Pinula respectivamente, teniendo como punto más alto el trébol (norte) y como punto más bajo el ojo de agua (sur). Está delimitada al oeste por la calzada Aguilar Batres, y al este por la avenida Petapa (ver mapa 3, apéndice 1). Debido a la localización de nuestra micro cuenca, nuestra atención se centrará en la región sur del Valle de Guatemala. En los cursos inferiores de los ríos Villalobos y Pinula se han formado planicies de inundación, donde se han acumulado depósitos fluviales. El sistema fluvial del río Villalobos ha formado un delta en forma de un abanico con dedos cortos, que representan antiguas desembocaduras del río. El radio del abanico es de 2.5 km aproximadamente. El frente meridional del delta casi alcanza el lado opuesto del lago, dividiéndolo en una parte oriental de unos 7 km<sup>2</sup> y una parte occidental de unos 8 km<sup>2</sup>. La pequeña planicie adyacente a la parte oriental del delta ha sido formada por acumulaciones aluviales de corrientes que descienden de los terrenos al este del Lago de Amatitlán. La red dendrítica de los cursos superiores de diversos afluentes del río Villalobos al oeste y suroeste de la capital está interrumpida por tramos rectos constituidos por fallas de rumbo NNE. También en el río Pinula y sus afluentes, se observan partes de los valles influenciados por fallas de rumbo N y de rumbo NE.

Un sistema de fallas de bloque con rumbo N a NNE forma una serie de escarpas de 20 a 150 metros de altura en la zona entre el Lago de Amatitlán y el río Villalobos. Estas fallas han causado la formación

de una serie de bloques levantados y hundidos que forman la orilla norte del Lago de Amatitlán. En conjunto forman una superficie con inclinación suave hacia el norte, hasta los municipios de Villa Nueva y Villa Canales. Existen también flujos de lava en dirección NNE bajo una delgada cubierta y una cresta poco pronunciada con rumbo NE que se extiende desde el Cerro del Teatro Nacional al Cerro del Carmen y posiblemente hasta la Pedrera al NE de la capital. Finalmente el cerro sobre el Ojo de Agua con eje longitudinal NNE entre los ríos Villalobos, la Quebrada el Frutal y el río Pinula, que posiblemente forman una extensión hacia el sur de la cresta anteriormente mencionada. Su superficie refleja unos derrames cortos de lava de un espesor considerable, cuyos flujos se extienden desde la cumbre hacia el sur (Ojo de Agua) y hacia el NE.

En lo que se refiere en a la estratigrafía de la región, el área del Lago de Amatitlán está formado por cortes de hasta 350 metros de altura que consisten en acumulaciones de flujos de lavas andesíticas-latíticas. En el Ojo de Agua, cerca de la confluencia del río Villalobos con la Quebrada el Frutal, afloran rocas con alto grado de areniscas y conglomerados compuestos de material derivado de lavas andesíticas bajo una cubierta de cenizas (ver mapa 5, apéndice 1). Estas lavas andesíticas muestran un fisuramiento bien desarrollado. Las lavas del Ojo de Agua y las del Lago de Amatitlán corresponden con las lavas de la Formación Sanguayabá (dicha formación es de composición riolítica y de color rosado, cuyos afloramientos al este de la capital alcanzan espesores de unos 200 metros. Estos muestran en parte estructuras de flujo y textura esferulítica y representan efusiones de fallas y fisuras).

Otra fuente valiosa de lo que es la estratigrafía de la micro-cuenca son los pozos perforados al norte del Lago de Amatitlán, y el que está en la Universidad de San Carlos.

Pozo 319/1: Universidad de San Carlos: Se encuentra en el sector SO de la capital. Dicho pozo muestra un perfil interesante que nos da una idea mucho más clara de las rocas del centro del Valle de Guatemala. Desde la superficie hasta los 101 metros se penetran cenizas poco consolidadas y estratos intercalados de arenas pomíticas fluviales. A los 101 metros aparecen tobas vítricas que corresponden con rocas idénticas del área al este del graben. Estas tobas tienen un espesor de 150 metros, las cuales son bastante homogéneas y quebradizas. A los 252 metros cambia el carácter de la roca. Una toba pomítica con fragmentos líticos de andesita de 65 metros de espesor sobreyace a una lava, cuya parte superior está meteorizada. Dicha lava se extiende desde los 318 hasta los 343 metros, la cual tiene un color gris oscuro. Con un cambio brusco, aparecen sedimentos lacustres y deltáicos bajo la lava, de los cuales los 5 metros superiores son sedimentos finos carbonosos de color negro, intercalados por una lámina de arena fina. A los 348 metros la granulometría de los sedimentos se vuelve más gruesa. Arenas volcánicas deltáicas con pequeños fragmentos de pomez, de estratificación marcada. Dicha perforación abarca una profundidad total de 359 metros.

Pozo 307/1: Carmen Guillén, a 1.5 kms al norte del Lago de Amatitlán: De los 0 a 115 metros se ha encontrado una secuencia de estratos de cenizas pomíticas, paleosuelos, sedimentos fluviales y

lacustres compuestos de fragmentos de lava, pómez y ceniza. De los 115 metros hasta el fondo del pozo ( 211 metros de profundidad total ), se presentan lavas dacíticas-andesíticas fracturadas.

Otro parámetro interesante fue el de un estudio geoelectrico de los depósitos de aluvión del río Villalobos y del Ojo de Agua. El espesor de los aluviones del río oscilaba entre los 80 a 100 metros, mientras que para los pozos 39/1 Diamante VI y 126/1 Diamante V que se encuentran a 1 km al sur del Ojo de Agua en el Valle del río Villalobos sugieren espesores de 314 y 160 metros de depósitos gravosos respectivamente.

#### B. ASPECTOS HIDROLOGICOS

El llamado Valle de Guatemala, está localizado en la cabecera de las cuencas hidrográficas de los ríos Michatoya y Las Vacas, afluentes principales de las cuencas de los ríos María Linda en la Vertiente del Pacífico y Motagua en la Vertiente del Atlántico respectivamente. La extensión superficial del área es de 805.61 km<sup>2</sup>, correspondiendo 570.57 km<sup>2</sup> a la cuenca del río Michatoya (cuenca sur) y 235.04 km<sup>2</sup> a la cuenca del río Las Vacas (cuenca norte).

La actividad volcánica, los movimientos tectónicos, la meteorización y la erosión fluvial son los principales agentes naturales que han modelado la topografía de las actuales cuencas hidrográficas de los ríos Michatoya y Las Vacas. El límite entre estas dos cuencas lo constituye en parte agua continental (Pacífico-Atlántico), de orientación aproximada NO-SE, en cuyas inmediaciones se

ha desarrollado el valle donde esta localizada la Ciudad de Guatemala. Las pendientes del terreno pueden considerarse como moderadamente bajas para la cuenca del Michatoya.

Debemos hacer notar que el área de estudio es la micro cuenca de la Quebrada del Frutal. Dicha micro cuenca esta contenida dentro de la sub cuenca del río Pinula, la cual a su vez está contenida en la cuenca del río Michatoya (cuenca sur). De acuerdo con los puntos anteriormente mencionados haremos énfasis en dicha región (ver mapa 2, apéndice 1).

Las pendientes de la cuenca sur se pueden clasificar en dos grandes grupos: A. de 0 a 0.2 m/m se presentan con una frecuencia del 60%. B. de 0.7 a 0.8 m/m se presentan únicamente con una frecuencia de 8%. Tanto dentro de la cuenca como en la periferia se encuentran áreas de regular extensión superficial con bajas pendientes, las cuales constituyen zonas importantes para la recarga de las aguas subterráneas (Ciudad real y Petapa). Sin embargo, como consecuencia del desarrollo urbano alcanzado en estas áreas, su importancia con relación a la recarga de agua subterránea es cada día menor.

En la parte baja de los cauces de los principales ríos de la cuenca del Michatoya, encontramos valles aluviales de regular importancia en cuanto a su magnitud superficial, y de gran interés hidrogeológico por constituir zonas favorables al escurrimiento y almacenamiento del agua subterránea. Dichos valles son:

<u>VALLE ALUVIAL</u>	<u>SUPERFICIE ( KM2 )</u>
Río Villalobos	9.32
Río Pinula	4.0

### C. PARAMETROS HIDROLOGICOS

#### 1. VIENTO

La posición geográfica del país y su relieve determinan las condiciones generales de circulación de los vientos, cuyo régimen interior resulta de la acción combinada de dos importante zonas de perturbación atmosférica: A. La región de El Caribe al noreste. B. zona de tormentas tropicales del Pacífico (zona sur). La estrechez continental, la cercanía de los océanos (Atlántico y Pacífico), el relieve barométrico, y el gradiente de presiones imperantes durante el año, determinan la dirección predominante de los vientos en la región del Valle de Guatemala, la cual se mantiene como NNE, sufriendo una inversión temporal SSO durante los meses de marzo a junio.

#### 2. TEMPERATURA

El régimen de temperatura que se observa en la región, está influenciado fundamentalmente por su elevación respecto del nivel medio del mar. Las variaciones medias de la temperatura oscilan en un rango de 6 grados celcius, conforme se incrementa su elevación (ver apéndice 4).

### 3. HUMEDAD

Los valores medios anuales están comprendidos entre 65 y 90%, presentándose los valores mínimos y máximos mensuales de enero a mayo y de junio a diciembre respectivamente.

### 4. PRECIPITACION

La forma de precipitación preponderante en el Valle de Guatemala es lluvia, no obstante pueden observarse otras formas como: A. rocío. B. granizo. C. otras precipitaciones ocultas, cuya importancia cuantitativa aún no se ha determinado.

Las precipitaciones pluviales, por la exposición, elevación y características morfológicas de las cuencas, pueden generarse como: A. orográficas. B. convectivas. Las primeras en la parte baja y las segundas en la cabecera de las cuencas del Valle de la ciudad.

La época lluviosa del año se inicia generalmente en el mes de mayo y tiene una duración aproximada de seis meses. Este hecho permite definir claramente en la región, la estación seca y la estación húmeda, de igual manera que el año hidrológico, el cual da inicio el primero de mayo y finaliza el treinta de abril del año civil siguiente. Dentro del período de lluvias, se puede distinguir la existencia de dos máximos, los cuales se presentan generalmente en los meses de junio y entre agosto y septiembre, desfasándose este último en algunos años, entre los meses de septiembre y octubre. Puede notarse por otro lado, y contrastando con la característica anterior,

la ocurrencia de cortos períodos secos dentro de la época de lluvias, la llamada cunicula, cuya época de ocurrencia no es fija, pues se presenta indistintamente en los meses de junio, julio o agosto (ver apéndice 4).

##### 5. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El régimen de las agua superficiales de las cuencas que integran el Valle de Guatemala, por la naturaleza geomorfológica de los cauces, en particular por las grandes pendiente desarrolladas, es típicamente torrencial. Sin embargo, en las partes bajas del río Villalobos y Michatoya, las formaciones aluviales de poca pendiente dan a las aguas un régimen más tranquilo. En época de lluvias, bajo la influencia de las tormentas orográficas y convectivas los caudales aumentan rápidamente, alcanzando valores pico relativamente grandes y luego de pasado el efecto de las lluvias, el caudal también desciende rápidamente. Cuando se trata de precipitaciones de tipo ciclónico, por alcanzar éstas mayores duraciones, los caudales altos se mantienen durante períodos más largos, lográndose lógicamente un mayor almacenamiento en las cuencas. Los caudales de la época seca son bastante pequeños (algunas decenas de litros / seg para los más altos), lo cual se debe al efecto de un uso y aprovechamiento intensivo y generalizado del agua, alcanzado por el desarrollo urbano, agrícola e industrial y la población en general de la región.

##### 6. EVAPOTRANSPIRACION

Los fenómenos de evaporación y transpiración constituyen

parámetros del ciclo hidrológico muy importantes, por las cantidades de agua que transfieren en forma de vapor a la atmósfera. Los métodos más usuales para la evaluación de la evapotranspiración son los siguientes:

- A. lisímetros.
- B. balance hidrológico.
- C. uso de fórmulas basadas en factores climáticos.

## 7. INFILTRACION

Podemos decir que la humedad del suelo y los acuíferos, son mantenidos por la lluvia que cae sobre una región específica, la cual logra depositarse y escurrir verticalmente a través del suelo, y por consiguiente, subsuelo. Esto se conoce como infiltración. La naturaleza de las rocas y suelos subyacentes dentro de la cuenca son en principio favorables al proceso de infiltración. Para la cuenca del río Michatoya, especialmente su parte superior, aguas arriba del Lago de Amatitlán, se tienen suelos relativamente poco profundos y un subsuelo formado en su mayor parte por sedimentos volcánicos de estructura granular y por rocas de diferente grado de consolidación, lo cual ofrece condiciones favorables para la infiltración.

## 8. USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Los usos y aprovechamientos más frecuentes del agua dentro de la cuenca son:

A. captación de aguas superficiales para propósitos de abastecimiento de agua potable (municipal y privado).

B. captación de agua subterránea (pozos y galerías), para abastecimiento de agua potable (municipal y privado).

C. derivación de aguas superficiales para propósitos de riego en aprovechamientos agrícolas de pequeña y regular extensión.

D. captación de aguas subterráneas por medio de pozos para propósitos de riego.

E. derivación de aguas superficiales para usos industriales.

F. captación de aguas subterráneas por medio de pozos para uso industrial.

G. utilización de las aguas superficiales para conducir desechos líquidos y sólidos.

H. descargas de aguas servidas al subsuelo (sistemas individuales y colectivos) por medio de pozos ciegos y fosas sépticas.

I. utilización de aguas superficiales para propósitos de recreación.

## G. ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS

El Valle de Guatemala como sabemos, tiene un área de 805.81 km<sup>2</sup>, estando hidrográficamente dividido por la divisoria continental de aguas del país en dos cuencas: A. La Cuenca Norte o del río Las Vacas de 235.04 km<sup>2</sup> de extensión. B. La Cuenca Sur o del río Michatoya, que tiene una extensión de 570.57 km<sup>2</sup>. Los límites de la Cuenca Norte han sido trazados siguiendo las aguas de la cuenca del río Las Vacas hasta la estación hidrométrica "San Antonio Las Flores". Los límites de la Cuenca Sur siguen los límites de las cuencas del río Villalobos, del Lago de Amatitlán y la del río Michatoya, hasta la estación hidrométrica "Palín". El río Las Vacas es afluente del río Motagua y el río Michatoya del río María Linda. La divisoria continental de agua cruza la Ciudad de Guatemala siguiendo aproximadamente la dirección calzada San Juan - Trébol - Puerta Parada, dividiendo la ciudad en dos partes.

Dichas cuencas comprenden el área de drenaje de las aguas superficiales y recolectan la lluvia caída dentro de sus límites naturales formados por los puntos culminantes de las divisorias de aguas en el relieve orográfico. Un estudio realizado con isótopos ambientales mostró que los flujos de salida totales de la cuenca del valle son superiores a los flujos de entrada. Por otra parte, hay flujos de entrada subterráneos a la cuenca, muy importantes del lado este, en tanto que los del lado oeste y del norte son de menor importancia. También se pudo confirmar con este estudio que el origen de la recarga más importante al manantial Ojo de Agua y zona central del valle, proviene del lado este del valle, con aportes muy escasos

de agua infiltrada en el valle propio y aportes importantes menores, del lado noroeste y oeste. Por lo tanto, la extensión de la cuenca hidrogeológica (aguas subterráneas) que alimenta el Valle de Guatemala tiene un área que rebasa los límites de la cuenca hidrológica superficial. La extensión real de dicha cuenca hidrogeológica no ha sido determinada, pero sin duda se extiende mayormente en dirección este, hacia el altiplano de San José Pinula y las cabeceras del río Aguacapa. Como sabemos, los flujos de entrada provenientes del norte de la divisoria continental son nulos. Los flujos de entrada subterráneos provenientes del altiplano de San Lucas Sacatepequez-Florencia y las faldas del Volcán de Agua es moderado. En el extremo sur, el Lago de Amatitlán opera como embalse regulador de todo el recurso hídrico (superficial y subterráneo). El límite meridional del lago, constituido por las faldas y el complejo volcánico del Volcán Pacaya opera como un límite de la cuenca hidrogeológica del Valle de Guatemala.

En base al uso potencial del agua subterránea y desde el punto de vista práctico de la explotación de dicho recurso, se distinguen en el área dos acuíferos, los cuales son: A. Acuífero superior. B. Acuífero inferior. Dichos acuíferos poseen buenas características geológicas, y debido a ello tienen buena conexión hidráulica entre sí.

#### 1. ACUIFERO SUPERIOR

El acuífero superior está constituido esencialmente por potentes depósitos cuaternarios de piroclastos pomíceos compactos hasta sueltos, mal clasificados y mal estratificados, en los cuales

existen localmente intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres, paleosuelos y lavas. Se han incluido dentro del acuífero superior los sedimentos aluviales depositados en la parte media e inferior de los valles de los ríos Villalobos, Pinula y Las Minas, los depositados en el delta que el río Villalobos forma al desembocar en el Lago de Amatitlán y los sedimentos aluviales depositados en el valle del río Michatoya.

Los piroclastos pomáceos forman potentes acumulaciones de cenizas finas a gruesas con lapilli, bombas, pómez y fragmentos líticos de lava andesítica o dacítica. Los más compactos se encuentran hacia la parte norte del área, mientras que los más sueltos se encuentran hacia el sur del área. Los mayores espesores de piroclastos se encuentran en la parte central del área, en donde generalmente sobrepasan los 200 metros, tendiendo a disminuir hacia los extremos. La granulometría de los piroclastos disminuye de sur a norte. Estos están saturados en un promedio de 38 metros.

Dichos piroclastos tienen permeabilidad primaria, la cual es en general baja debido a la presencia de abundante material fino y a su compactación misma. Los sedimentos tienen buena permeabilidad, pero debido a su reducido espesor no ejercen mayor influencia sobre el valor total de la permeabilidad del acuífero superior. Los sedimentos lacustres, también en intercalación con los piroclastos, actúan, debido a su carácter arcillo limoso, a manera de acuícludos. Por encima de los depósitos piroclásticos se encuentran los sedimentos aluviales, los cuales ocupan en total un área de 57.5 km<sup>2</sup>. En los depósitos del río Villalobos, el espesor máximo comprobado de los

sedimentos es de aproximadamente 110 metros, mientras que, en los ríos Pinula y Las Minas éstos tienen un espesor máximo de 50 metros. Los sedimentos depositados en el delta del río Villalobos ocupan un área de 16.7 km<sup>2</sup> y tienen un espesor máximos comprobado de 145 metros.

Los sedimentos aluviales están compuestos de cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas, poseyendo en general de buenas a regulares características de permeabilidad. El delta del río Villalobos tiene el volumen más importante de sedimentos saturados de buena permeabilidad, exceptuando en sus bordes.

## 2. ACUIFERO INFERIOR

El acuífero inferior está formado de lavas, y tobas vítricas soldadas principalmente. Este acuífero constituye el más importante del área por sus características de permeabilidad, extensión, y espesor. Los afloramientos de lava ocupan un área de aproximadamente 84 km<sup>2</sup>, siendo esporádicos en los extremos este y oeste del área y continuos en la margen norte del Lago de Amatitlán y al sur del mismo lago. El espesor total de las lavas y tobas terciarias no es conocido y de acuerdo con la información obtenida en algunas perforaciones, al parecer es mayor de 220 metros, estando saturadas aproximadamente en los primeros 200 metros. En el pozo No. 318 / 1 Ojo de Agua II - EMPAGUA, el espesor de lavas es superior a 218 metros. La extensión del acuífero inferior es de aproximadamente 550 km<sup>2</sup>.

La permeabilidad de las lavas y tobas es secundaria y alcanza valores altos, especialmente en el sur del área, debido a que ellas

están intensa y profundamente fracturadas. Las fracturas están abiertas y tienen buena comunicación entre sí, aún en profundidades considerables, como pudo comprobarse con la perforación de los pozos 312/1 y 318/2 , Ojo de Agua I y Ojo de Agua II, respectivamente (ver plano 1, apéndice 1). Dentro del acuífero inferior existen distintos niveles con diverso grado de fracturamiento. En el Ojo de Agua existe un manantial con un caudal que varía entre 516 y 244 litros por segundo, el cual se produce en lavas andesíticas fracturadas, cubiertas en su tope por piroclastos. Las lavas se encuentran expuestas en un corte vertical, al pie del cual se ponen en contacto lateral con sedimentos aluviales de menor permeabilidad, por lo que el agua que circula por las fracturas de las lavas emerge al verse parcialmente represadas por los sedimentos aluviales de menor permeabilidad. A unos 10 metros del contacto de la pared de lavas, los sedimentos aluviales tienen un espesor de 39 metros, los que hacia el sur, a una distancia horizontal de 130 metros ya tienen un espesor de 110 metros.

La alta permeabilidad de la lavas, especialmente andesíticas, puede observarse en algunos sectores del curso superior del río Pinula, en donde éste las ha cortado. En estos cortes de las lavas fracturadas nacen numerosos manantiales que alimentan el caudal del río. Estas se encuentran hacia el sur del área y están más fracturadas que las lavas andesíticas - dacíticas y andesíticas basálticas del centro y norte, por lo que la permeabilidad de aquellas es mayor que la de esta últimas. Las tobas soldadas vítricas también tienen una buena fracturación lo que permite a su vez buena circulación de agua a través de ellas.

### 3. PROFUNDIDAD

Las menores profundidades conocidas al nivel de saturación se encuentran en los aluviones de los ríos Pinula y Villalobos, en el delta que este río forma al desembocar en el Lago de Amatitlán y en el valle del río Michatoya. En estos lugares la profundidad al nivel de saturación se encuentra entre 0.69 y 16.29 metros, las profundidades más frecuentes variando entre 4 y 6 metros. Para toda la cuenca del valle de la ciudad capital el nivel de saturación se encuentra en promedio a 35 metros de profundidad.

En la Cuenca Norte, según registro de 108 datos, el nivel del agua subterránea en los pozos se encuentra entre 1.22 y 109.73 metros de profundidad, oscilando en un 70% de los casos, entre 30 y 70 metros. En la Cuenca Sur se dispone de 224 datos de profundidad al nivel de saturación, siendo los valores extremos 0.69 y 335.3 metros. En un 58% de los casos la profundidad al nivel del agua subterránea es menor a 50 metros, en un 20% ésta varía entre 50 y 80 metros, y en un 22% es mayor a los 80 metros.

### 4. PRESION

El agua subterránea contenida en el acuífero superior se encuentra en su mayor parte bajo condiciones libres o freáticas, y semiconfinadas. En los piroclastos pomíceos el confinamiento está provocado por la intercalación de sedimentos lacustres finos y horizontales con abundante ceniza pomítica y polvo volcánico algo

descompuesto.

En el acuífero inferior se encuentra también bajo condiciones libres y de semiconfinamiento. Dicho semiconfinamiento se debe a que sobre este acuífero yacen los piroclastos pomáceos compactos y en menor grado sedimentos aluviales, los cuales tienen una permeabilidad más baja que las lavas fracturadas del acuífero superior. Esto se puede ver reflejado en el pozo exploratorio No. 273/1 - OAS - Ojo de Agua I, al interceptarse el acuífero inferior a los 6 metros de profundidad, el nivel original del agua subterránea ascendió 1.53 metros. En el pozo No. 312/1 Ojo de Agua I - EMPAGUA, al interceptarse el acuífero inferior a los 110 metros de profundidad, el nivel original del agua dentro del pozo ascendió 3.15 metros.

##### 5. ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS

Por medio del uso de los hidrogramas de los pozos estudiados se ha podido llevar un control del ascenso y descenso del nivel freático. El proceso de ascenso se inicia primero en los pozos con niveles de agua cercanos a la superficie del terreno, casi al mismo tiempo que el comienzo de la temporada de lluvias, y más tarde en los pozos con niveles mayores a 20 metros. El descenso de niveles en estos mismos pozos, se inicia primero en aquellos con niveles cercanos a la superficie, casi conjuntamente con el término de las lluvia, y en los pozos con niveles de más de 20 metros se inicia algunos meses después.

De la observación de los hidrogramas se ha podido establecer que en la Cuenca Sur existe un fenómeno de descenso continuo del nivel

de agua subterránea, el que a pesar de recibir recarga no se recupera totalmente. Este fenómeno es debido, al parecer, a la explotación intensiva de aguas subterráneas, lo que ha provocado que se estén minando los acuíferos.

## 6. ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO

En la Cuenca Sur, el agua subterránea escurre de los extremos este y oeste de la cuenca y desde la divisoria continental hacia el Lago de Amatitlán. El sentido general del escurrimiento del agua subterránea está condicionado por la forma de la superficie freática que tiene una disposición similar a la superficie del terreno (obedece a la condiciones topográficas imperantes). Parte del flujo de agua subterránea dentro del área, se dirige hacia algunos cauces superficiales, formando el caudal base de estos cursos (ver mapa 6, apéndice 1).

## 7. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

Los valores del coeficiente de almacenamiento y especialmente de transmisibilidad son bastante dispares, faltando evidentemente información suficiente consistente en calidad, como para poder determinar valores más confiables de los coeficientes hidráulicos de los acuíferos. No obstante, por medio del análisis de la información existente y del conocimiento geológico que se tiene del área, puede deducirse que la transmisibilidad del acuífero inferior varía aproximadamente entre 500 y 5000 m<sup>3</sup> / día / metro. Los valores más altos de transmisibilidad en el acuífero inferior se han encontrado en

la lavas andesíticas del sector de Ojo de Agua, Lago de Amatitlán, Petapa, Villa Nueva y Ciudad Real. Los piroclastos no consolidados tienen mayores valores de transmisibilidad que los consolidados. El valor de la transmisibilidad de los piroclastos en general disminuye desde el sur hacia el norte, debido a la disminución de su granulometría en ese mismo sentido. Los sedimentos aluviales del delta del río Villalobos tienen una transmisibilidad media de 2500 m<sup>3</sup> / día / metro.

Con el conocimiento que se tiene de la geología del área, y aplicando valores de coeficientes de almacenamiento, según tablas elaboradas por FAO se obtuvo para los depósitos piroclásticos de la Cuenca Sur un coeficiente de almacenamiento promedio de 0.10. Para calcular el coeficiente de almacenamiento de los sedimentos aluviales se consideró su granulometría y compactación, aplicándose luego tablas con valores de coeficiente de almacenamiento para sedimentos aluviales, que fueron elaboradas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S.). Se determinó así que el valor del coeficiente de almacenamiento de los sedimentos aluviales de los ríos Pinula, Las Minas y Villalobos es de aproximadamente 0.20, de los depósitos del delta del río Villalobos es de 0.15 y de los sedimentos aluviales del Valle de Michatoya es de 0.12, debido a la presencia de materiales más finos. En general, los sedimentos aluviales y los piroclastos sueltos tienen mayor capacidad de almacenamiento que los depósitos piroclásticos compactos.

En el caso de las lavas se tomaron en cuenta además de la geología del terreno, las tablas elaboradas por FAO, en las que

también se contemplan lavas fracturadas, habiéndose adoptado un valor de coeficiente de almacenamiento de 0.25 para las lavas andesíticas del sur del área y de 0.15 para las del centro. También se puede decir que el acuífero inferior tiene un valor de 0.22, según la distribución de las lavas y calidad de fracturamiento.

La distribución del caudal específico es muy irregular en el área. En el acuífero superior de la Cuenca Sur, el valor del caudal específico en los depósitos aluviales varía entre 13 y 65 m<sup>3</sup> / hora / metro, siendo el valor promedio de 38.5 m<sup>3</sup> / hora / metro. Los valores mayores se encuentran en el delta del río Villalobos. El caudal específico de los depósitos proclásticos del mismo acuífero varía entre 0.20 y 10.3 m<sup>3</sup> / hora / metro, siendo el valor promedio igual a 2.9 m<sup>3</sup> / hora / metro. Los valores para las andesitas fracturadas, oscilan entre 37.25 y 207.5 m<sup>3</sup> / hora / metro, respectivamente. El valor promedio para éstas es de 104 m<sup>3</sup> / hora / metro.

El gradiente hidráulico bajo el cual escurre el agua subterránea, varía entre 2 y 12%, estimándose un valor medio de 8%. Esta característica tiene pequeñas diferencias entre el estado alto (octubre, noviembre) y el bajo (abril, mayo) del nivel freático.

#### 8. VOLUMENES DE ALMACENAMIENTO

Los depósitos piroclásticos del acuífero superior tienen un volumen aproximado de 53.12 km<sup>3</sup>, producto de una superficie de 664 km<sup>2</sup> por una profundidad de 38 metros, por lo que el agua subterránea se encuentra ocupando los poros de un volumen aproximado de 25.2 km<sup>3</sup>.

Los sedimentos aluviales de los ríos Pinula, Villalobos y Las Minas tienen en conjunto un volumen aproximado de 1 km<sup>3</sup>, producto de un área de 16.8 km<sup>2</sup>, por una profundidad promedio de 7 metros, por lo que el agua subterránea los poros de un volumen aproximado de 0.89 km<sup>3</sup>. De acuerdo a las características litológicas de los sedimentos aluviales, se puede asignar a éstos una porosidad media de 25%, lo que significa que el volumen de agua almacenada en los sedimentos aluviales de los ríos Pinula, Villalobos, y Las Minas es aproximadamente 223 millones de metros cúbicos. Para fines prácticos interesa el volumen de agua que se puede extraer de estos materiales, dentro de ciertos límites de descenso del nivel freático. Ello depende de la producción específica del material, que en este caso concuerda con el coeficiente de almacenamiento el que para los sedimentos aluviales fue estimado en 20%, es decir cada metro cúbico de relleno aluvial aporta en promedio 0.20 metros cúbicos de agua. Al hacer descender la superficie freática en un metro en el área neta de los sedimentos aluviales se dispondrá aproximadamente de 3.36 millones de metros cúbicos de agua.

En el delta del río Villalobos se encuentran almacenados aproximadamente 374 millones de metros de agua, producto de un área de 16.7 km<sup>2</sup> por una profundidad media saturada de 112 metros y una porosidad de 20%. Siendo el coeficiente de almacenamiento de estos sedimentos deltáicos aproximadamente igual a 0.15, al hacer descender un metro la superficie freática pueden disponerse de 25.1 millones de metros de agua.

Del acuífero inferior no se tiene información suficiente que permita establecer con cierta seguridad su espesor. No obstante ello, puede afirmarse que su espesor medio no es menor de aproximadamente de 200 metros. Considerando solo este espesor y una extensión de 550 km<sup>2</sup> aproximadamente, extensión que mayormente se encuentra subyaciendo a los piroclastos, el volumen de éste se puede considerar de 110 km<sup>3</sup>. Si en este volumen la porosidad media por fracturación es de un 25% aproximadamente, resulta que el agua almacenada en el acuífero inferior sería igual a  $27,500 \times 10^6$  metros cúbicos. El coeficiente de almacenamiento de las lavas es de 0.22, de donde resulta que al hacer descender en un metro el nivel del agua, se dispondría de aproximadamente 120 millones de metros de agua.

#### 9. EXTRACCION DEL AGUA SUBTERRANEA

En el área del Valle de Guatemala, el agua subterránea está siendo descargada de manera artificial por aproximadamente 2220 pozos excavados, 395 pozos perforados, de los cuales se han inventariado 357, por 7 galerías de infiltración, manantiales y del flujo base de los ríos.

Los pozos excavados son utilizados principalmente para abastecer consumos domiciliarios, de ganado, aves y en ciertos casos para el riego de hortalizas. Son excavados a mano, por lo que sólo llegan a unos pocos metros por debajo del nivel de saturación. La profundidad de los pozos varía entre 3 y 110 metros. El medio de extracción de agua más utilizado en estos pozos es el manual. Como dijimos anteriormente de los 395 pozos perforados, se censaron 357, que

corresponden a un 90% del total. El 10% no censado es utilizado esencialmente para abastecimientos de agua de residencias, en las cuales el pozo ha sido contruido dentro de la misma residencia. Los propietarios en muchos casos niegan dar información sobre el pozo y su existencia misma, razón por la que en estos casos no fueron registrados.

Durante el año hidrológico 1975 - 1976 se explotaron 39.94 millones de metros cúbicos de agua mediante pozos perforados y durante el año hidrológico 1976 - 1977 se explotaron 47.27 millones de metros cúbicos. Del total de agua subterránea explotada mediante pozos perforados durante el último año hidrológico, un 84.51% fue utilizado para abastecimiento potable, un 12.52% para uso industrial y un 2.96% en riego. Del total de pozos perforados que fueron censados, 213 se encuentran en la Cuenca Sur y 143 en la Cuenca Norte. En la Cuenca Sur la profundidad de los pozos perforados varía entre 24.13 y 396.24 metros, siendo 159.76 la profundidad promedio. El agua subterránea en el área es también explotada mediante 8 galerías de infiltración, todas ellas ubicadas en la Cuenca Sur. Todas éstas fueron excavadas en piroclastos pomáceos, siendo las más importantes: A. El Mariscal. B. San Bernardo. Las primeras (tres en total) fueron excavadas paralelamente en ambos márgenes del río Mariscal, y las segundas (cinco en total) excavadas perpendicularmente al río del mismo nombre en la Finca Las Charcas. De las galerías El Mariscal se explotan anualmente 1.80 millones de metros cúbicos de agua y de las de San Bernardo, 0.30 millones de metros cúbicos de agua. En el lugar conocido como Ojo de Agua, existe una galería propiedad de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), excavada también en piroclastos pomáceos.

Dicha galería produce 0.80 millones de metros cúbicos anualmente. También en la Cuenca Sur existe un importante manantial conocido como Ojo de Agua, explotado también por EMPAGUA. La producción de este manantial, según información proporcionada por la misma empresa, es de 14.43 millones de metros cúbicos de agua anualmente.

Del flujo base de los ríos del área se extraen anualmente alrededor de 12.84 millones de metros cúbicos de agua, especialmente por EMPAGUA. Del río que mayor caudal base se extrae es el de Pinula, alimentado esencialmente por el acuífero inferior.

La extracción total de agua subterránea de pozos excavados, pozos perforados, galerías de infiltración, del flujo base de los ríos y de manantiales, ascendió a 72.67 millones de metros cúbicos durante el año hidrológico 1975 - 1976 y a 80 millones de metros cúbicos durante el año hidrológico 1976 - 1977. En la Cuenca Sur 56 y 62.07 millones de metros cúbicos respectivamente. Del total de agua subterránea explotada en el área, 90.85% se emplea en abastecimiento de agua potable, 7.40% en industrias, y 1.75% en riego de pequeñas parcelas.

#### 10. MANEJO DEL AGUA

De la Cuenca Sur se exportan anualmente a la Cuenca Norte aproximadamente 29 millones de metros cúbicos de agua potable, de los cuales 5.5 millones de metros cúbicos son producidos por la Compañía de Aguas del Mariscal y 23.5 millones de metros cúbicos por EMPAGUA. Además del agua potable exportada de la Cuenca Sur a la Cuenca Norte,

se exportan también alrededor de 11 millones de metros cúbicos como aguas servidas.

#### 11. RECARGA, MOVIMIENTO, Y DESCARGA DEL AGUA SUBTERRANEA

Las características de recarga, movimiento y descarga del agua subterránea se han determinado mediante el conocimiento climático del área, las fluctuaciones de la superficie freática, el movimiento general y cuantificación del agua subterránea en escurrimiento y encuestas de extracción.

En las franjas montañosas de los límites este y oeste del área, la fuerte pendiente del terreno resta oportunidad a la infiltración del agua. La franja central del valle es relativamente plana, lo que aumenta la oportunidad de infiltración, pero a la vez es una zona con alta concentración de viviendas, carreteras, etc., que disminuyen esa oportunidad. En términos relativos, se puede indicar que los sedimentos aluviales y los piroclastos sueltos tienen mayor capacidad de infiltración que los piroclastos compactos. Las condiciones geológicas de la Cuenca Sur son más favorables a la infiltración que las de la Cuenca Norte.

El estudio de isótopos ambientales ha comprobado que existe una recarga de agua subterránea a la Cuenca Sur proveniente del extremo este del área, de la cual es favorecido, especialmente el Manantial Ojo de Agua.

El resultado de los análisis de isótopos muestra

consistentemente que al este de una línea norte sur por el eje del Valle de Guatemala, entre el río El Molino y la quebrada El Frutal, recibe una recarga principalmente proveniente del este, es decir del lado del altiplano de San José Pinula que representa por lo menos un 60% de la recarga. La infiltración directa del agua caída sobre este lado de la cuenca es muy poca, en tanto que el agua proveniente del noroeste de la divisoria continental, puede representar hasta un 35% de esta. Estas observaciones son válidas para el agua del manantial de Ojo de Agua.

Asumiendo valores cualitativos de infiltración a los materiales que conforman el relleno del graben del Valle de Guatemala y aplicando métodos hidrológicos, se ha determinado que en la Cuenca Sur se infiltran en promedio un 22% de las lluvias, mientras que en la Cuenca Norte se infiltran un 8% de las lluvias.

La descarga natural del agua subterránea en la Cuenca Sur se hace en mayor grado hacia el Lago de Amatitlán y en menor grado hacia el curso de los ríos para formar el caudal base de éstos. También el agua subterránea es descargada naturalmente por manantiales, la mayoría de los cuales vierte sus aguas al curso de los ríos, alimentando su caudal base. El flujo de agua subterránea que descarga al Lago de Amatitlán por su margen norte ha sido cuantificado en 57.43 millones de metros cúbicos por año. El agua que descarga al lago en forma de flujo base lo hace únicamente por medio del río Villalobos, alcanzando un volumen anual de 10.08 millones de metros cúbicos de agua. El agua que descarga naturalmente por medio del manantial Ojo de Agua, alcanza aproximadamente un caudal de 14.43 millones de metros

cúbicos por año, caudal que es captado en el mismo sitio de su emergencia y utilizado para abastecimiento de agua potable. Los otros manantiales principales del área descargan conjuntamente su caudal aproximado de 2.87 millones de metros cúbicos de agua por año hacia el curso de los ríos. El Lago de Amatitlán descarga parte de sus aguas como flujo subterráneo hacia el valle del río Michatoya. El monto de esta descarga ha sido calculado en 1.92 millones de metros cúbicos por año.

## 12. CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS

De las aguas superficiales en la Cuenca Sur, los estudios realizados revelan que en los ríos el arrastre de sólidos, principalmente en suspensión, es elevado. Los estudios revelan asimismo concentraciones altas de fósforos, nitritos, potasio, sodio, y también valores altos de coliformes en todos los ríos, esto último indicando contaminación fecal.

El agua de los ríos de la Cuenca Sur, por su contaminación bacterial, no son aptos para consumo humano, previo tratamiento. Las concentraciones de nitritos, por otra parte, sobrepasan la concentración máxima aceptable por las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## XII. CONDICION ACUTAL DE LA MICRO CUENCA

### A. USO POTENCIAL DEL SUELO

El uso potencial que tiene el suelo enmarcado por nuestra área de estudio, no tiene posibilidad de aprovechamiento económico. Este puede ser utilizado únicamente para preservación de las condiciones ecológicas adecuadas, tales como conservación de cuenca, condiciones de suelo, flora y fauna (bosques naturales).

### B. DESARROLLO URBANISTICO

El desarrollo urbanístico existente en la micro cuenca es bastante variado y marcado. Para poder visualizar mejor este aspecto debemos tomar en cuenta los límites regionales, así como el tipo de infraestructura que se encuentra dentro de dicha región. Como sabemos la cuenca está delimitada al oeste por la calzada Aguilar Batres, al norte por El Trébol, al este por la avenida Petapa, y al sur por el Ojo de Agua (campo de pozos de EMPAGUA).

Si dividimos a la cuenca, tomando como punto de referencia a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), tenemos entonces dos zonas: A. zona norte: se extiende desde nuestro punto de referencia hasta El Trébol. B. zona sur: se extiende desde nuestro punto de referencia hasta el Ojo de Agua. Analizando la primera zona, podemos ver que prácticamente ha sido ocupada por colonias o zonas residenciales, existiendo también una cantidad considerable de talleres de mecánica automotriz, gasolineras, centros comerciales,

bancos, etc, los cuales pueden ser distinguidos con facilidad. Como consecuencia de esto, las áreas verdes son reducidas, y en algunas partes prácticamente no existen. La segunda zona, no presenta mayor variación que la anterior. Se pueden apreciar centros comerciales, fábricas, gasolineras, maquilas, talleres de mecánica automotriz, residenciales o colonias, etc. Cabe mencionar, que existe una pequeña variación entre las dos zonas. Primero que todo, la cantidad de asentamientos presentes en dicha zona (zona sur) es mayor. Dichos asentamientos se concentran formando una especie de "cinturón" en la parte más baja de esta zona. Para ser más específicos, éstos se extienden desde la colonia "El Mezquital" ubicada del lado de la calzada Aguilar Batres, pasando por atrás de la Central de Mayoreo, hasta llegar a la parte baja de San Miguel Petapa. Otro aspecto importante, es el hecho que se presentan áreas de considerable tamaño, en las cuales no se ha construido aún. Debido a ello, es posible que la precipitación que cae sobre estas, pueda penetrar el suelo hasta llegar al nivel freático. Estas zonas se extienden desde San Miguel Petapa hasta los campos de pozos del Ojo de Agua y Diamante respectivamente.

Para poder tener una mejor idea de qué es lo que podemos encontrar en nuestra área de estudio, se hizo un recorrido a lo largo de la calzada Aguilar Batres y avenida Petapa. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

#### Trayecto Calzada Aguilar Batres

- Gasolineras: 7

- Talleres de mecánica automotriz y transporte pesado: 11
- Aceiteras: 6
- Centros Comerciales: 5
- Fábricas: 5
- Colonias o residenciales: 9
- Asentamientos: 3

#### Travecto Avenida Petapa

- Gasolineras: 7
- Talleres de mecánica automotriz y transporte pesado: 18
- Aceiteras: 9
- Centros Comerciales: 2
- Fábricas: 39
- Colonias o residenciales: 8
- Asentamientos: 4

Hay que hacer notar que este recorrido es una aproximación en cuanto al conteo presentado. Sin embargo, nos da un parámetro calificativo de las distintas actividades que se llevan a cabo en nuestra área de estudio.

#### C. CALIDAD DE LOS SERVICIOS Y CONDICION SOCIOECONOMICA

Otro aspecto importante que se presenta en nuestra área de estudio, es la diversidad existente en cuanto a la condición socioeconómica (ver apéndice 2). Como mencionamos anteriormente, existe un marcado desarrollo urbanístico. Debido a ello la calidad de

los servicios existentes, y por consiguiente el aspecto socioeconómico, son un reflejo directo de este.

Para poder entender mejor ésto, debemos hacer referencia a ciertas áreas localizadas en la micro cuenca. Si bien es cierto que la mayoría del terreno es ocupado por residenciales o colonias, no todas gozan de los servicios de agua potable, alcantarillado, y energía eléctrica. Para ello, debemos mencionar el caso de las colonias Monte María, El Carmen, Prados de Monte María, Villa Sol, etc., donde dichos servicios se presentan en muy buenas condiciones. Hay que hacer notar que el tipo de vivienda es de clase media alta a clase alta, por ende, la condición socioeconómica imperante es mejor que en muchos sectores. En estas colonias también se cuenta con calles pavimentadas, áreas recreativas y deportivas, además de áreas verdes.

Por otro lado, tenemos el caso de las colonias La Reformita, Venezuela, Villalobos, Nimahuyú, Planes El Frutal, El Mezquital, Ciudad Real, etc., donde los servicios presentan irregularidades. El tipo de vivienda encontrado es de clase media baja a clase baja. Se ha podido observar que el servicio de agua potable en estas colonias es oscilatorio, existiendo horas durante el día en el que no se cuenta con este. El servicio de alcantarillado es deficiente, o en algunos casos inexistente. Debido a ésto, en los días en que la lluvia es bastante fuerte, las calles se inundan formándose "lagunas". Cabe señalar que muchas calles no están pavimentadas, y las áreas verdes, recreativas, y deportivas son muy pocas o inexistentes.

Es preciso tomar en cuenta, que debido a que existe

Irregularidad con el servicio de agua potable en estas colonias, la gente se ve forzada a comprar agua con los camiones cisterna de empresas privadas. Añadido al problema del servicio de agua potable, se pudo observar que el sistema de alcantarillado tiene usos de tipo sanitario. Esto significa, que la gente los usa como "basureros", dejando ir en estos desechos de tipo humano y animal. Un caso típico de ésto, se pudo observar en los tragantes localizados cerca de los mercados. Estos servían como "letrinas" que contenían de todo, incluso hasta neumáticos de automóvil y camión. Dicha situación se pone caótica cuando llegan los meses de lluvia, haciendo que la escorrentía riegue por todos lados estos desechos.

Por último, y no por ello deja de ser importante, es el caso de los asentamientos. Podemos enumerar entre estos a El Búcaro, La Esperanza, Unidos por la paz, Fegua 1 y 2, etc. Como sabemos el déficit habitacional en Guatemala es bastante alto, y por ello, las personas que no tienen residencia propia invaden un terreno para poder habitar en él. En dichos terrenos, se levantan "champas" hechas de cartón, lepa, y plástico. Por consiguiente, éstas carecen de servicios de alcantarillado y agua potable, viéndose zanjas que corren a nivel del suelo con agua servida y desechos de todo tipo. Estas van a descargar a los barrancos adyacentes o las calles que están en su cercanía.

Las condiciones en las cuales tiene que vivir esta gente son infrachumanas, y por ende, deben tomarse en cuenta, ya que afectan a la población en general.

XIV. EXPLOTACION Y CONSUMO DEL AGUA EN EL AREA DE ESTUDIO

A. FABRICAS

El consumo proveniente de este sector es diverso y grande. En nuestra area de estudio la mayoria de las fabricas se encuentran localizadas en la "zona sur" (ver apéndice 3). De acuerdo con un conteo realizado por la Autoridad del Lago de Amatitlán (AMSA), el número y tipo de fabricas es el siguiente:

ZONA 12

NUMERO TOTAL DE FABRICAS: 198

TIPO DE FABRICA	CANTIDAD
PAPEL/MADERA	5
YESO	6
PLASTICO	20
METALURGICA	22
TEXTIL	80
ALIMENTOS	5
QUIMICA	60

SAN MIGUEL PETAPA

NUMERO TOTAL DE FABRICAS: 13

TIPO DE FABRICA	CANTIDAD
PAPEL/MADERA	1
PLASTICO	3
METALURGICA	1
TEXTIL	4
ALIMENTOS	1
QUIMICA	3

Podemos darnos cuenta que las fábricas con mayor presencia son las de plástico, metalúrgica, y textil. Seguidas de éstas están la química, de alimentos, yeso, y papel/madera. Como podemos ver las actividades realizadas en estas son variadas, por ende, el agua es utilizada de igual forma.

Si centramos nuestra atención en dichas actividades, podemos enumerar los siguientes usos:

1. Es utilizada en procesos de enfriamiento para regular la temperatura de operación de hornos, calderas, y maquinaria de trabajo pesado.

2. Es utilizada en la elaboración de alimentos destinados al consumo humano y animal.

3. Es utilizada en la precipitación, destilación, y elaboración de químicos.

4. Es utilizada en remoción de metales pesados utilizados en la

industria metalúrgica.

5. Es utilizada para remover impurezas presentes en el algodón, del cual es materia prima básica en la industria textil.

6. Es utilizada en la limpieza de la pulpa (proveniente de la madera), materia prima básica en la industria de papel.

Las cantidades empleadas son oscilantes, dependiendo del tamaño de la fábrica, así como, su producción. Es sabido por todos que la oferta depende de la demanda. Algunos de los productos elaborados por éstas son de consumo general, y por ello, los podemos ver muy bien cotizados en el mercado. Debido a ello, es lógico suponer que requieren de una gran cantidad de agua, en algunos casos exagerada. Hay que enfatizar que no se tiene ningún dato concreto en cuanto al número de pozos que dichas fábricas poseen, pero bien es cierto, que hagan uso de éstos para satisfacer su gran demanda.

## B. COLONIAS

Como discutimos anteriormente, nuestra área de estudio está ocupada casi en su totalidad por zonas residenciales o colonias. Debido a que unas son más populosas que otras, la demanda de agua será de igual forma.

En el recorrido efectuado a lo largo de la micro cuenca, se pudo encontrar que las colonias o residenciales privadas, donde la condición socioeconómica era bastante favorable, existía un cierto

número de pozos perforados destinados a la extracción de agua. Añadido a esto, había residencias que contaban con pozo propio. Una de las razones para ello era la lejanía del sistema de agua potable, o bien, la irregularidad existente en éste.

Por el contrario, en las colonias de tipo popular la cantidad de pozos perforados no era mucha, debido a que la gente que vive allí no tiene la capacidad económica para ello. Lo que sí es cierto es que dependen de los camiones cisterna, para proveerse de dicho recurso. En otros casos, debido a la fluctuación del servicio de agua potable, almacenan el agua en recipientes. Esta la utilizan para beber, elaborar sus alimentos, o higiene personal.

El uso primordial que le dan a dicho recurso es para consumo humano. Debido a esto la calidad fisicoquímica y sanitaria del agua tiene que ser de lo mejor. Por ello, la demanda de este sector tiene una gran importancia e incide directamente sobre la salud humana.

## XV. AGENTES DE CONTAMINACION

### A. CONTAMINACION DOMESTICA

La contaminación doméstica, como su nombre lo indica, es la procedente del uso del agua potable por el sector residencial. Como es sabido, el uso principal que tiene el agua es para consumo humano. Como consecuencia de ello, podemos clasificar al agua servida en dos grupos: A. aguas grises. B. aguas negras o cloacales. Las aguas grises son las que provienen de los lavatrastos, lavamanos, lavadoras automáticas, etc. Las aguas negras o cloacales son las provenientes de los inodoros. Si prestamos atención a esto, podremos notar que las aguas negras presentan el factor de contaminación más alto.

Para visualizar esto de una mejor manera, es importante hacer notar que en las aguas negras se encuentra la bacteria coli. La bacteria o bacilo coli no produce enfermedades y normalmente vive en el intestino del hombre. Su presencia en el agua es indicativa de una contaminación de origen humano. Se usa como parámetro o indicador por las siguientes razones: A. El bacilo coli es de fácil detección. B. Es más resistente a condiciones adversas que las bacterias patógenas. C. Su presencia es indicativo de contaminación fecal.

Según la Asociación de Protección Ambiental Norteamericana (EPA), el valor máximo permisible que puede tener el agua (para ser considerada potable), cuando es sometida a un examen bacteriológico, es de 3 bacterias coli en una muestra de 100 centímetros cúbicos. Se hace referencia a estos valores, ya que la ley que regula las aguas

servidas es obsoleta.

Como mencionamos anteriormente, hay un marcado contraste en la infraestructura de las colonias pesentes en el área de estudio. Por esta razón, debemos analizar las distintas causas que contribuyen a que haya contaminación de dicho sector. Primero que todo, unas colonias (Monte María, Villa Sol, etc.) son más "viejas" que otras. Esto significa que tienen mayor tiempo de existir como tales. Debido a ésto, cuentan con sistema de alcantarillado. Según información proporcionada por EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua de la Ciudad Capital), este descarga hacia la vertiente del río Motagua. Por otro lado, los colonias (Prados de Monte María, Cedros, etc.) más "jóvenes" que cuentan con dicho sistema, descargan directamente dentro del área enmarcada por la micro cuenca. Si añadimos a ésto, la situación que se vive en la colonias de tipo popular (Villalobos, El Mezquital, Venezuela, etc.) en las cuales los tragantes son basureros y el alcantarillado es deficiente, nuestro problema se torna más complejo.

#### 8. CONTAMINACION INDUSTRIAL Y AGROINDUSTRIAL

La presencia del sector industrial y agroindustrial en el área de estudio es considerable. Debido a que existe gran variedad de industrias, es difícil determinar el tipo y cantidad de desechos que provienen de éstas. Por ello podemos suponer de inmediato que éstos juegan un papel importante en la contaminación del agua subterránea (ver apéndice 3).

Dentro de dichos desechos podemos enumerar los siguientes:

A. Acido nítrico y sulfúrico: Estos ácidos (usados en la industria textil, química, hule y plástico, etc.) hacen que el pH del agua baje. Para entender esto hay que recordar que el pH tiene un rango de 0 a 14. Este determina la concentración de iones hidrógeno y iones hidróxilo respectivamente. Si una solución tiene un número igual de iones hidrógeno e hidróxilo se dice que es neutra (tiene un pH de 7). Por el contrario, si predomina la cantidad de iones hidróxilo, se dice que es alcalina (su rango es de 8 a 14). En el caso contrario, predomina la cantidad de iones hidrógeno, entonces se dice que es ácida (su rango es de 0 a 6). Por lo general, el agua en su estado natural tiene un pH de 7 a 9, por lo que es considerada como un ácido débil.

Si el pH del agua baja considerablemente (digamos un pH de 3) se convierte en un agente corrosivo, el cual no puede ser utilizado para consumo humano, debido a que tiene efectos que varían de muy serios a letales.

B. Metales Pesados: Entre éstos podemos mencionar al cadmio, plomo, cromo, etc. De los mencionados anteriormente, vamos a centrar nuestra atención sobre los más usados en el área de estudio.

Plomo: De acuerdo con la EPA (Asociación de Protección Ambiental Norteamericana), el límite tolerable para mantener la salud humana es de 0.05 mg/l. Si el agua contaminada por éste tiene rangos de 8 a 10 mg/l y es consumido por espacio de varias semanas, tiene efectos nocivos. Si la concentración es de 15 mg/l o más, y siempre es

consumida en un mismo periodo de tiempo, puede tener efectos mortales. Dentro de los efectos nocivos podemos mencionar serios daños en los riñones, hígado, cerebro, y sistemas nervioso y reproductivo. También se ha encontrado que interfiere con el funcionamiento de los glóbulos rojos (a veces destruyéndolos), y si es ingerido por los niños puede causar retraso mental.

Cadmio: De acuerdo con la EPA la concentración máxima es de 0.01 mg/l. Los efectos de éste sobre la salud humana son: hipertensión causada por retención de éste en los riñones, espasmos, náusea, y diarrea. También se ha registrado que produce una enfermedad conocida como "itai-itai", la cual es una hiperexcreción de calcio que resulta en osteoporosis.

La agroindustria por su parte produce fertilizantes y pesticidas, los cuales si son ingeridos pueden causar la muerte. También hay que mencionar que este sector consume combustibles (diesel, gasolina, kerosina, etc.) para su funcionamiento, teniendo a veces que almacenarlos por debajo de la superficie. Dichos depósitos al expirar su vida útil o dependiendo del material de que son hechos sirven de agentes contaminantes, dejando infiltrar su contenido. Si estos entran en contacto con el nivel freático, pueden dañar por décadas o permanentemente dicho recurso.

Otro contaminante que hay que mencionar es el calor. Este es producto del uso del agua en sistemas de enfriamiento. Debido a que se manejan altas temperaturas (en calderas, hornos, maquinaria de trabajo pesado, etc.) el agua que enfría dichos sistemas absorbe gran cantidad

de energía, saliendo a veces a más de 100 C. Esta es descargada directamente no pudiéndose consumir, y si entra en contacto con el agua subterránea hace que su densidad baje. Al descender su densidad puede causar que se mineralice (reacciona con magnesio y hierro), hasta tal punto que si es consumida funciona como laxante.

## XVI. PLANES Y PROYECTOS

El diseño y planificación de un programa de restauración para agua subterránea es complejo, debido a que los contaminantes no se comportan de igual manera. El movimiento de éstos está regido por los siguientes factores: A. gravedad. B. permeabilidad del material. C. coeficiente de miscibilidad de los contaminantes.

Otro aspecto importante es la cantidad de contaminante que llega al nivel freático. Esto depende de: A. características del contaminante. B. propiedades químicas, geológicas, y biológicas de la zona de aereación. C. precipitación.

Para poder tener resultados favorables en la restauración, hay que tener información adecuada del área a tratar. Esto implica datos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, y geoquímicos. Además de ello hay que saber con exactitud qué clase de contaminantes están presentes, así como sus características y distribución.

El área de estudio seleccionada presenta un panorama complejo acerca del tipo de contaminantes y cantidades presentes. Debido a ello, se presentará una serie de proyectos de restauración a corto plazo, los cuales de acuerdo a nuestras necesidades y tecnología, están a nuestro alcance.

### A. TRATAMIENTO IN SITU

Este método de tratamiento es muy práctico debido a que no se

necesita mayor infraestructura, y reduce la exposición directa con el contaminante. Por lo general, dicho método tiene un alto grado de efectividad, ya que depende de las características físicas y geoquímicas del acuífero.

Este puede ser catalogado en dos grupos: A. tratamiento fisicoquímico. B. tratamiento biológico. El primer método es bastante eficiente para tratar compuestos orgánicos e inorgánicos. Este consiste, en aplicar reacciones de óxido-reducción para inmovilizar dichos contaminantes, por medio de precipitación y detoxificación de metales pesados y compuestos orgánicos. Para poder llevar a cabo este tratamiento, se necesita la presencia de pozos de inyección cuando se trata de acuíferos profundos. En el caso de acuíferos poco profundos se puede hacer uso de galerías de infiltración.

El segundo método o biológico, como su nombre lo indica, es una biorestauración. Para ello, se estimula la actividad de los microorganismos presentes en el área a tratar por medio de nutrientes. Este consiste en hacer que los microorganismos descompongan o degraden compuestos orgánicos altamente peligrosos, a sustancias más simples e inofensivas. Dependiendo del tipo de contaminantes, su biodegradación puede ser aeróbica o anaeróbica. Hay que tener en mente que este proceso puede tardar años, dependiendo del tipo de compuestos de que se trate. Lo que sí es cierto, es que es un método deseable, ya que destruye por completo los agentes contaminantes, y no produce a su vez residuos peligrosos para la salud.

## B. SISTEMAS DE BOMBEO

Este método, como su nombre lo indica, involucra un sistema de bombeo y tratamiento simultáneo. Debido a esto, también se le conoce como "dos en uno". Por lo general, presenta soluciones rápidas para problemas específicos. Su aplicación dependerá de los siguientes factores: A. características hidrogeológicas del área a tratar. B. fuentes de contaminación. C. características del contaminante.

Hay que hacer notar, que como se trata de pozos de bombeo, el espaciamiento entre éstos debe considerarse. Una de las desventajas de este método, es que al bombear se crean zonas de subsidencia, por lo cual baja la permeabilidad y el contaminante no puede ser removido. Para evitar esto se efectúa el bombeo por lapsos, es decir, se le da tiempo a los contaminantes a que entren en equilibrio con el agua subterránea. Dicho equilibrio a su vez es logrado por medio de difusión en las zonas de baja permeabilidad.

## C. SISTEMAS DE INTERCEPCION

Los sistemas de intercepción son análogos a los sistemas de bombeo. Los drenajes subterráneos utilizados en los sistemas de intercepción, funcionan como una línea infinita de pozos de bombeo. Dichos drenajes se colocan perpendicularmente a la dirección del flujo de agua subterránea, logrando captarla para llevarla a un lugar específico de tratamiento. Una de sus grandes ventajas es que previenen que los lixiviados y el agua contaminada, puedan llegar a zonas de menor gradiente hidráulico.

Este puede ser clasificado a su vez en dos tipos: A. sistema pasivo. B. sistema activo. El pasivo utiliza la gravedad, mientras que el activo bombas.

En pocas palabras, un sistema de interceptación consta de una trinchera, la cual es excavada a una profundidad específica mayor que la del nivel freático. Luego de ésto es colocada una tubería perforada, la cual sirve para captar el agua contaminada.

En los sistemas activos, se puede utilizar un sistema horizontal o vertical de remoción. El sistema vertical, consta de un grupo de pozos de bombeo colocados a lo largo de la trinchera de interceptación. En el horizontal, se utiliza la tubería perforada. En cualquiera de los dos casos, se usa material granular (arena o grava) para poder mantener la estabilidad de los muros de la trinchera. Son muy efectivos para remover compuestos orgánicos o productos derivados del petróleo.

#### D. USO DE OZONO

Como sabemos, el desinfectante tradicional para purificar el agua es el cloro. Estudios recientes hechos por la Asociación de Protección Ambiental Norteamericana (EPA), han mostrado que el ozono tiene mayor efectividad para matar virus y bacterias patógenas. Por ello ya es empleado en muchos países de Europa, y recientemente en algunas ciudades de Estados Unidos. La desventaja de éste radica en que los costos de producción son bastante altos, por lo cual es más

caro que el cloro. Con el avance de la tecnología, la elaboración de éste es más rápida y eficiente, haciendo que su precio sea accesible al mercado internacional. Es por ello que hay que tenerlo en mente, para un uso no muy lejano.

## **XVII. DIAGNOSTICO DE LA MICRO CUENCA**

La micro cuenca del río El Frutal presenta una situación polifacética. El desarrollo urbanístico existente es desordenado, creando zonas muy pobladas, con condiciones socioeconómicas precarias. Esto lo podemos ver en El mezquital, Venezuela, Villalobos, etc., donde los servicios de alcantarillado y agua potable son deficientes. Aquí la gente tiene que comprar agua, y los tragantes son colectores de basura (orgánica e inorgánica) los cuales a su vez causan que las calles se inundan en época de invierno.

Por otro lado, están las residenciales privadas, contando con mejor calidad de servicios. Debido a que un grupo de éstas aparecieron luego del terremoto, descargan sus aguas servidas de una manera directa dentro del área de estudio.

Los asentamientos, como se sabe, carecen de todo tipo de servicios. Esto conlleva a que la gente que los habite viva en condiciones infrahumanas, siendo "agentes" de contaminación directa. La mayoría de éstos están situados en la zona sur de la micro cuenca, formando un cinturón a lo largo del Ojo de Agua y Diamante. Podemos ver en conjunto, que este sector (doméstico) pueda influenciar a que los análisis de los pozos, reflejen índices altos de bacteria coli.

El sector industrial, también juega un papel importante. La mayoría de este sector se encuentra localizada en la parte sur. La actividad desempeñada es diversa, existiendo fábricas de alimentos enlatados, hasta tubería de hierro galvanizado. Debido a ello, generan

una gran variedad de desechos, los cuales pueden tener consecuencias de gran impacto sobre el agua subterránea y la salud humana.

Es importante hacer notar, que una gran parte del área de estudio está "impermeabilizada", es decir, hay pocos sectores sin utilizarse. Cuando el invierno llega, la lluvia arrastra gran cantidad de sedimento, "lavando" las calles. Por ende, el agua que queda sobre la superficie se evapora, por lo cual la infiltración es muy poca.

## XVIII. CONCLUSIONES

1. La cuenca es la unidad básica de planificación, para que exista un balance entre las aguas superficiales y subterráneas.
2. La evapotranspiración indica la cantidad de agua que es aprovechada por la vegetación y la que se pierde por evaporación directa.
3. La velocidad del viento incide directamente en el proceso de evaporación. Esto es, a mayor velocidad mayor evaporación.
4. El coeficiente de escorrentía es un indicador del grado de impermeabilización de un área. Cuanto más cercano a la unidad es, mayor impermeabilización hay.
5. La precipitación constituye la fuente principal de agua subterránea.
6. Las gravas y arenas constituyen los mejores acuíferos, debido a sus características de almacenaje y transmisión.
7. El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen, la existencia, y circulación del agua subterránea, es esencial para la captación y uso adecuado de ésta.
8. En las rocas fracturadas, las discontinuidades interconectadas se consideran como las únicas vías por donde el agua fluye libremente.

9. El coeficiente de transmisibilidad y almacenaje, indican la habilidad de un acuífero de transmitir y ceder agua, respectivamente.
10. En el campo de pozos Ojo de Agua, afloran rocas con alto grado de areniscas y conglomerados, compuestos de material derivado de lavas andesíticas bajo una cubierta de ceniza.
11. La naturaleza de las rocas y suelos subyacentes dentro de la micro cuenca son favorables para el proceso de infiltración, el cual es el que sustenta al agua subterránea.
12. El coeficiente de almacenamiento de las lavas andesíticas del Ojo de Agua es de 0.22.
13. La recarga principal para el agua subterránea enmarcada por la micro cuenca, proviene del altiplano de San José Pinula.
14. La dirección del gradiente hidráulico en la micro cuenca, es de norte a sur. Es decir, del Trebol al Ojo de Agua respectivamente.
15. El desarrollo urbanístico existente en el área de estudio es desordenado, provocando una mala utilización del recurso hídrico.
16. La mayor parte de las industrias se concentran en la zona sur.
17. El "cinturón" de asentamientos se extiende desde la colonia Villalobos hasta San Miguel Petapa (zona sur).

18. La calidad natural del agua, refleja el tipo y cantidad de sustancias solubles e insolubles, con las cuales ésta ha tenido contacto.

19. Debido a que el agua subterránea se desplaza a velocidades muy pequeñas, puede permanecer contaminada por largos períodos de tiempo, cuando se trata de metales pesados o productos derivados del petróleo.

20. La calidad química del agua en acuíferos cercanos a la superficie oscila con bastante facilidad. En cambio, la de acuíferos profundos se mantiene homogénea.

21. Los pozos abandonados constituyen una vía directa de infiltración para contaminantes que están sobre la superficie.

22. El índice más grande de bacteria Coli fue de 24,000 gérmenes por centímetro cúbico. Este fue encontrado en los siguientes pozos: Diamante 3, Diamante 1, y Pozo Anexo 2.

23. La presencia de la bacteria Coli en el agua es un indicador de contaminación fecal, de la cual se derivan las enfermedades hídricas (diarrea, Fiebre tifoidea, colera, etc.).

24. Debido a la impermeabilización existente en la micro cuenca, los ríos Villalobos y El Frutal son utilizados para la descarga de agua servida. Debido a ello, los lechos de dichos ríos pueden ayudar a que los contaminantes se infiltren, hasta interceptar el nivel freático.

## **XIX. RECOMENDACIONES**

1. Que los planes y proyectos presentados en esta tesis, puedan ser tomados en cuenta por las instituciones (públicas y privadas) encargadas de administrar y proteger dicho recurso.
2. Debido a que el reglamento que autoriza la descarga de aguas servidas en cuerpos de agua está en trámite, es importante que el nuevo reglamento que está por emitirse, pueda entrar en vigencia,
3. Promover la investigación de dicho recurso, destinando fondos específicos a las instituciones encargadas de preservar la flora, fauna, medio ambiente, y agua.
4. Organizar de una manera adecuada los resultados de los exámenes químico-sanitarios del campo de pozos Ojo de Agua y Diamante, para tener un control más detallado de su comportamiento.

## XX. BIBLIOGRAFIA

ARAGON V.R. 1974. Aprovechamientos Agrícolas potenciales de la Cuenca del Río Villalobos hasta la desembocadura en el Lago de Amatitlán. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Agrícolas. 136pp.

Anderson M.G. y T.P. Burt. 1990. Process Studies in Hillslope Hydrology. 1 ed. John Wiley & Sons. New York. 539pp.

R. Brassington. 1990. Field Hidrogeology. 2 ed. John Wiley & Sons. New York. 175pp.

Domenico P.A. y F.W. Schwarz. 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. 1 ed. John Wiley & Sons. New York. 824pp.

Fair G.M., J.C. Geyer y D.A. Okum. 1971. Elements of Water Supply and Wastewater Disposal. 2 ed. John Wiley & Sons. New York. 752pp.

Franklin J. A. y M. B. Dusseault. 1989. Rock Engineering. 1 ed. McGraw-Hill Inc. New York. 600pp.

Gibson U. P. y R. D. Singer. 1974. Manual de los Pozos Pequeños. 2 ed. Editorial Limusa S. A. Mexico, D. F. 181pp.

Ground Water Volume 1: Groundwater and Contamination. EPA.

Informe Final: Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de La Ciudad de Guatemala. INSIVUMEH. 1978. 303pp.

Johson A.I. y D.J. Finlayson. 1988. Artificial Recharge of Groundwater. 1 ed. American Society of Civil Engineers. New York. 644pp.

King H. W., C. D. Wisler y J. G. Woodburn. 1958. Hydraulics. 5 ed. John Wiley & Sons. London. 351pp.

Linsley R. K. y J. B. Franzini. 1979. Water Resources Engineering. 3 ed. McGraw-Hill. New York. 716pp.

Linsley R. K., M. A. Kohler y J.L. Paulhus. 1975. Hidrology for Engineers. 2 ed. McGraw-Hill. New York. 482pp.

Quality Criteria for Water. 1986. EPA.

Sanders J. E. 1981. Principles of Physical Geology. 1 ed. John Wiley & Sons. New York. 624pp.

Sowers G. B. 1993. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 7 ed. Editorial Limusa S. A. Mexico D. F. 677pp.

Steel E. W. y T. J. McGhee. 1979. Water Supply and Sewerage. 5 ed. McGraw-Hill. New York. 665pp.

Todd D.K. 1980. Groundwater Hydrology. 2 ed. John Wiley & Sons. New York. 535pp.

Wiser C. O. y E. F. Brater. 1976. Hidrology. 2 ed. John Wiley & Sons. New York. 408pp.

#### ENTREVISTAS:

Ing. Rodolfo González Morasso, asesor de EMPAGUA

Ing. Oscar Salazar, catedrático de Geología en la Universidad del Valle de Guatemala

Ing. Fulgencio Garavito, asesor del Departamento de Agrometeorología del INSIVUMEH

Lic. Otto Marroquín, director del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria USAC

Arq. María Reina, directora de la Autoridad de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA)

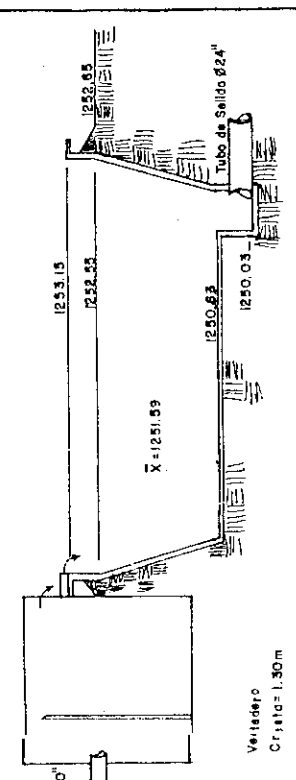
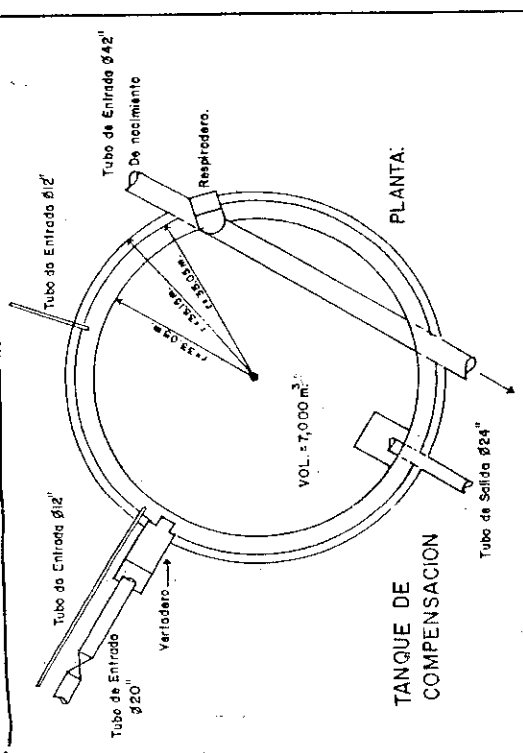
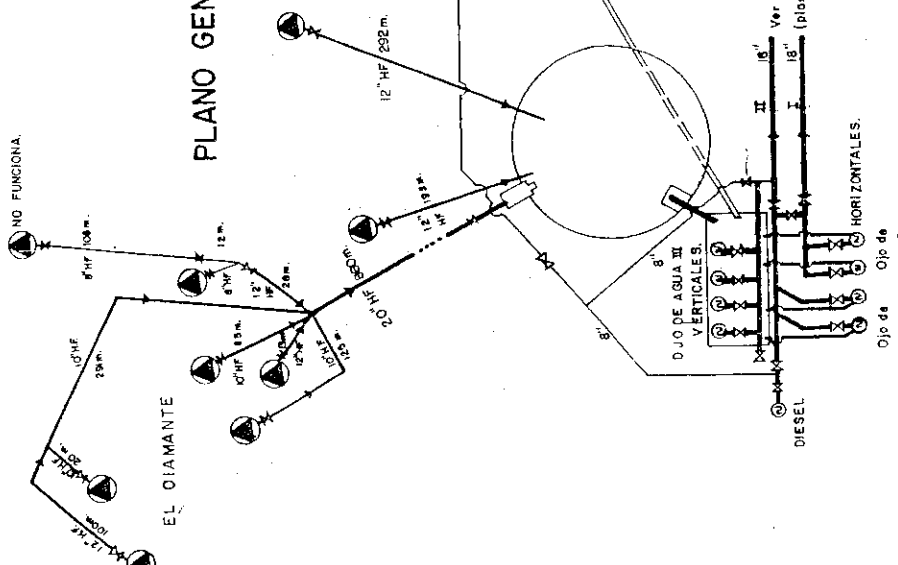
Ing. Franklin Matzdorf, director del Departamento de Ingeniería Civil en la Universidad del Valle de Guatemala

# APENDICES

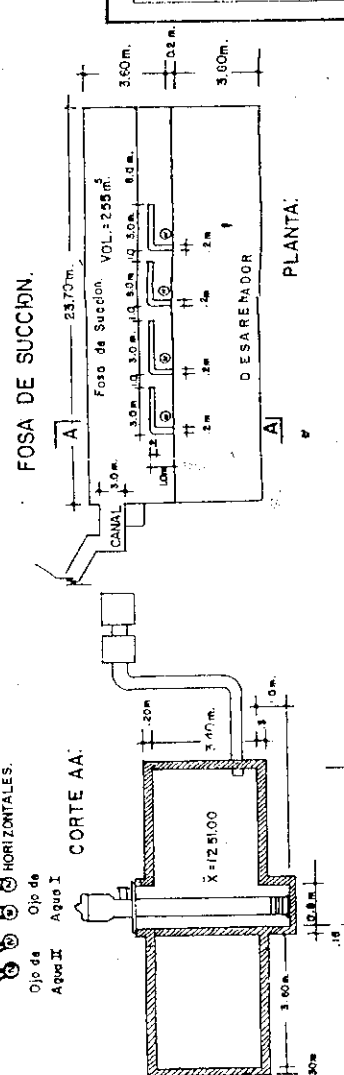
# APENDICE 1

## PLANOS Y MAPAS

# PLANO GENERAL DE UBICACION.



## PERFIL.

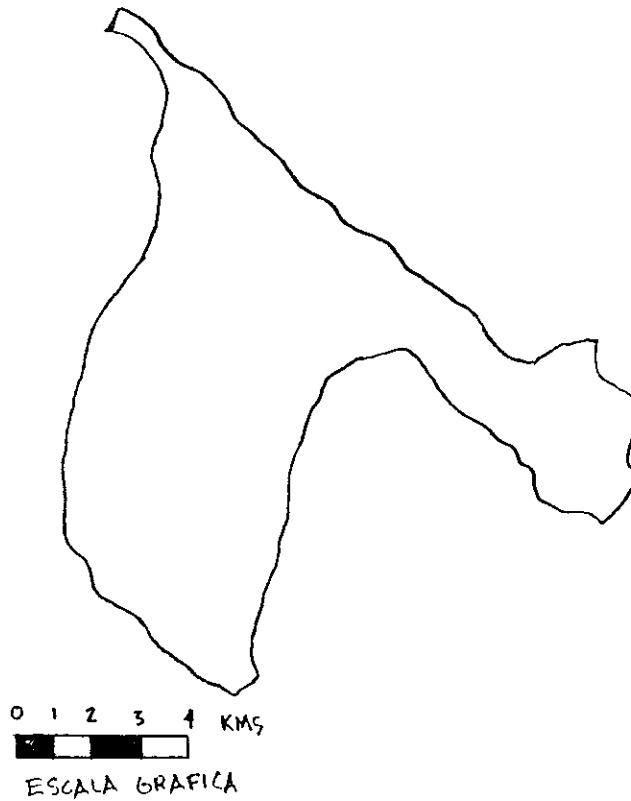


Sin escala.

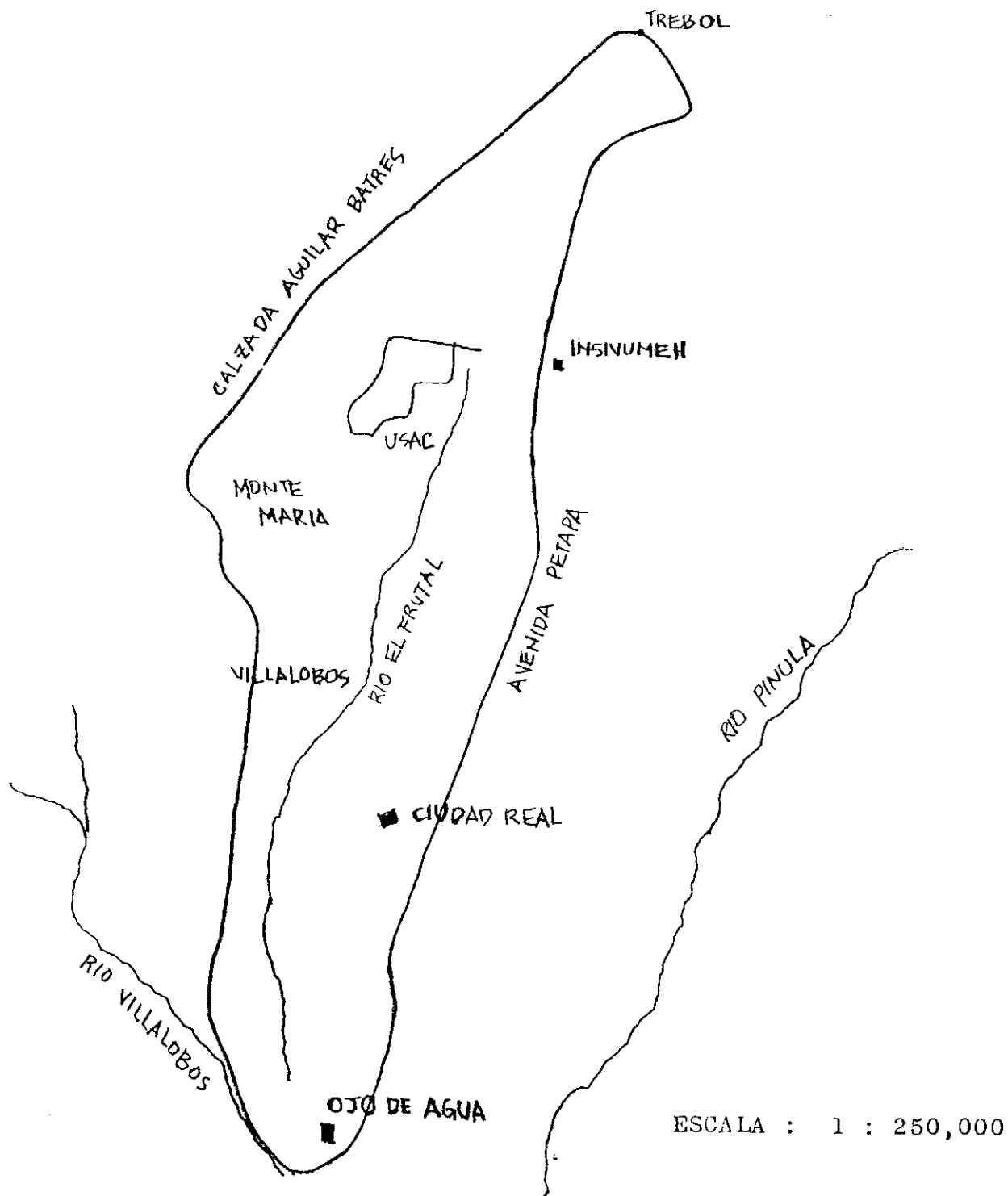
REPUBLICA DE GUATEMALA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA (SAPAGUA)	SERIE FASE DEL ESTUDIO DEL PROYECTO MON OCCIDENTAL DE INTRODUCCION DE AGUA A LA CIUDAD DE GUATEMALA	VEREDERO Plano No. 606 y 611 Fecha: Mayo de 1952	PL. N. 632
--	--	--	---------------

MAPA 1

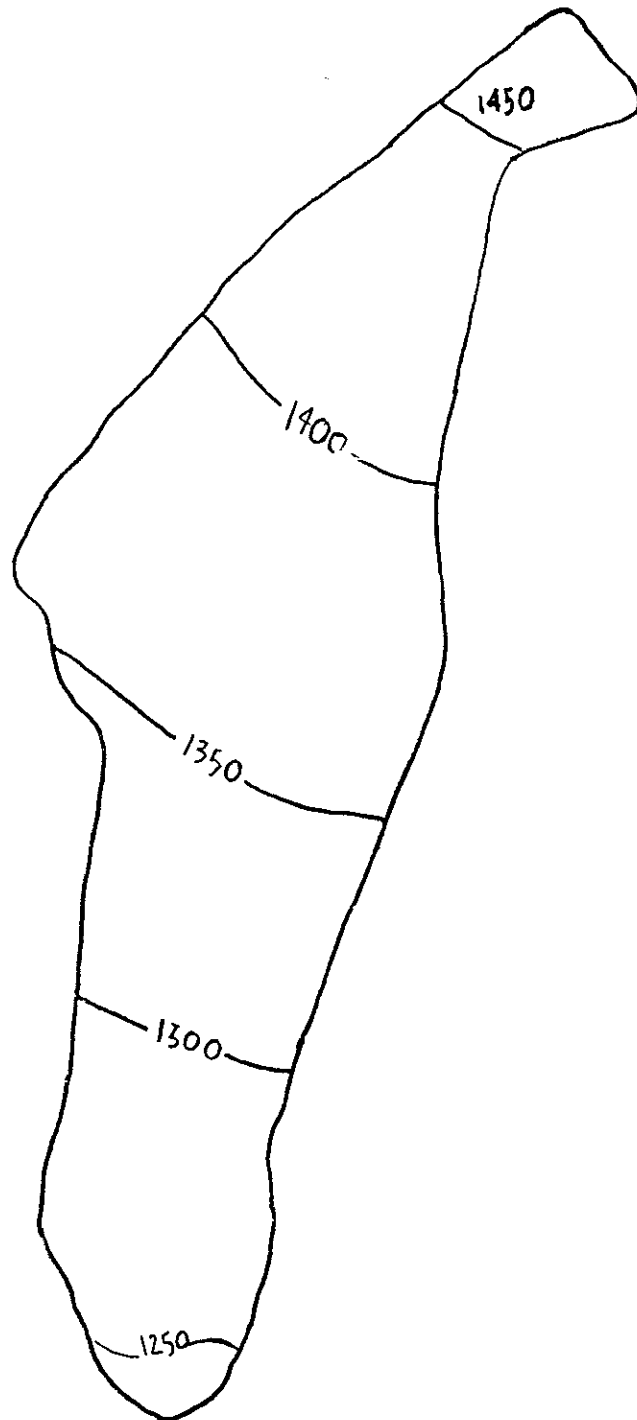
## 2. SUB CUENCA DEL RIO PINULA



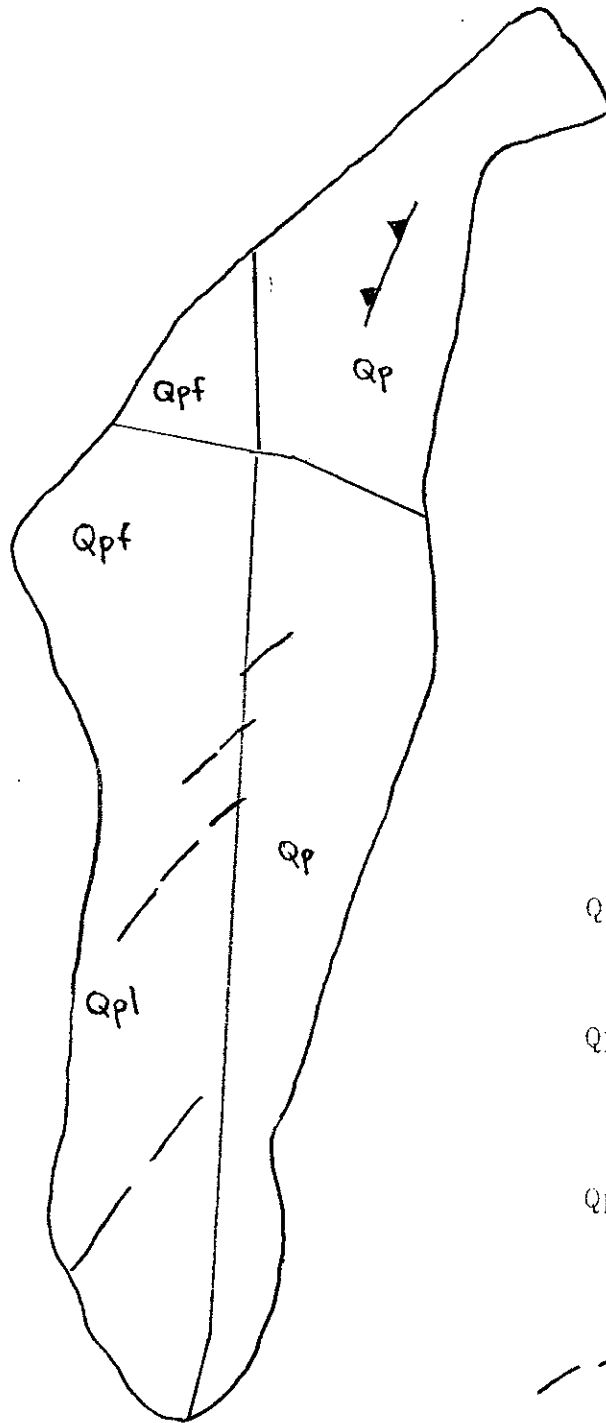
## 3. MICRO CUENCA DEL RIO EL FRUTAL



4. ISOPIEZAS



## 5. GEOLOGIA DE LA MICRO CUENCA



Qp: Sedimentos eólicos  
fundamentalmente  
cenizas

Qpf: Sedimentos eólicos,  
flujos de cenizas,  
sedimentos fluviales  
y lacustres

Qpl: Sedimentos eólicos,  
flujos de ceniza,  
sedimentos fluviales  
y lacustres

---  
Falla

▲▲  
Buzamiento

## APENDICE 2

### TABLAS DE ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

" CARACTERISTICAS GENERALES DE LOCALES DE  
HABITACION PARTICULARES Y TOTAL DE HOGARES  
SEGUN MUNICIPIO Y LUGAR POBLADO, CENSO 1994 "

NOMBRE DEL LUGAR O POBLADO	CATEGORIA	CASA FORMAL			APARTAMENTO			TIPD. DE LOCAL	
		CASA FORMAL	APARTAMENTO	P. ALDMAR	P. ALDMAR	KANCHO			
ZONA 12	ZONA MUNICIPAL	5245	292	1561					
COLONIA EUREKA	COLONIA	84	0	8					
COLONIA EL CARMEN	COLONIA	221	13	0					
CONDOMINIO LOMAS DE EL CARMEN	COLONIA	9	134	0					
ASENTAMIENTO NUESTRA SENORA	ASENTAMIENTO	48	0	0					
COLONIA LOS CEDROS	COLONIA	48	0	0					
RESIDENCIALES DE SAN CARLOS	COLONIA	13	0	0					
ASENTAMIENTO FEGUA	ASENTAMIENTO	20	0	0					
COLONIA MILES ROCK	COLONIA	176	3	0					
COLONIA PRIMERO DE SEPTIEMBRE	COLONIA	21	0	2					
COLONIA STA. ROSA 1	COLONIA	32	0	0					
COLONIA STA. ROSA 2	COLONIA	133	28	2					
COLONIA SANTA ELISA	COLONIA	197	19	7					
COLONIA VILLA SOL	COLONIA	355	29	0					
COLONIA EL BOSQUE	COLONIA	83	7	0					
COLONIA TRES DE JULIO	COLONIA	164	0	2					
COLONIA EL CAMINERO	COLONIA	19	1	0					
COLONIA LOS CEDROS 2	COLONIA	181	2	0					
COLONIA BELLO HORIZONTE ( 21 )	COLONIA	233	657	3					
CASERIO CERRO GORDO ( 21 )	CASERIO	244	0	174					
COLONIA SAN ANTONIO ( 21 )	COLONIA	35	0	11					
COLONIA VENEZUELA	COLONIA	37	91	1					
COLONIA NIMAHUYU	COLONIA	155	3207	16					
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	COLONIA	84	2	0					
VILLA LOBOS 1	COLONIA	2095	7	77					
CIUDAD REAL 1	COLONIA	1356	0	0					
CIUDAD REAL 2	COLONIA	1213	2	145					
VILLA LOBOS 3	ASENTAMIENTO	172	0	2					
NUOVO PORVENIR	ASENTAMIENTO	135	0	0					
EL MEQUITAL	COLONIA	1498	1	81					
MONTE MARIA 1	COLONIA	279	1	1					
MONTE MARIA NORTE	COLONIA	28	0	0					
EL GRAN MIRADOR	ASENTAMIENTO	306	0	4					
VILLA LOBOS	CASERIO	80	0	0					
LA ESPERANZA	ASENTAMIENTO	271	0	6					
EL BUCARO	COLONIA	188	0	0					
PLANES EL FRUTAL	COLONIA	79	0	0					
FEGUA 1 Y 2	ASENTAMIENTO	79	0	0					
MONTE MARIA 2	COLONIA	279	6	0					
VILLA LOBOS 2	COLONIA	1227	1227	0					
PRADOS DE MONTE MARIA	COLONIA	621	621	2					
SAN MIGUEL	RESIDENCIALES	53	53	0					

IMPROVISADA	OTRO TIPO	INSTALACION			TOTAL DE HOGARES
		AGUA	DRENAJE	ELECTRICIDAD	
208	22	6407	5965	6732	7551
2	0	82	70	83	94
4	2	212	77	212	213
0	0	134	134	134	134
3	0	47	32	45	49
0	0	11	10	45	11
1	0	14	14	14	14
4	0	26	9	26	27
4	0	164	153	164	165
0	0	23	21	23	25
3	0	35	17	35	35
3	0	147	117	148	149
7	0	223	135	221	242
11	3	336	333	335	341
0	0	90	82	90	90
1	0	149	139	146	158
1	4	20	20	20	21
0	0	156	153	156	156
0	0	816	815	816	845
23	0	361	128	374	403
0	0	39	27	41	47
1	0	871	871	872	895
7	3	3033	3033	3035	3077
0	1	76	69	77	78
226	4	2173	2136	2145	2263
28	1	1269	331	1329	1525
123	1	1394	579	1410	1495
3	0	1	1	139	165
0	0	124	25	90	124
3	1	1475	1463	1474	1513
0	0	257	32	256	269
0	0	27	4	27	27
738	6	792	407	961	1017
12	0	57	1	65	99
710	1	882	190	899	978
124	1	294	279	284	307
3	0	69	64	68	71
356	1	311	18	351	450
3	0	227	212	226	230
0	493	4	1150	1085	1328
0	5	0	496	492	501
0	1	0	43	39	43

" CARACTERISTICAS GENERALES DE  
"POBLACION, SEGUN MUNICIPIO Y LUGAR.  
POBLADO CENSO 1994 "

NOMBRE DEL LUGAR O POBLADO	CATEGORIA	SEXO		(D-E-G)	GRUPOS DE (7-14)
		MASCULINO	FEMENINO		
ZONA 12	ZONA MUNICIPAL	15,680	17,486	4968	5168
COLONIA EUREKA	COLONIA	191	228	76	65
COLONIA EL CARMEN	COLONIA	395	545	87	116
CONDOMINIO LOMAS DE EL CARMEN	COLONIA	292	255	51	69
ASENTAMIENTO NUESTRA SENORA	ASENTAMIENTO	126	111	29	60
COLONIA LOS CEDROS	COLONIA	27	32	10	10
RESIDENCIALES DE SAN CARLOS	COLONIA	35	40	8	10
ASENTAMIENTO FEGUA	ASENTAMIENTO	52	64	23	21
COLONIA MILES ROCK	COLONIA	318	334	81	81
COLONIA PRIMERO DE SEPTIEMBRE	COLONIA	58	62	25	16
COLONIA STA. ROSA 1	COLONIA	77	104	13	21
COLONIA STA. ROSA 2	COLONIA	359	381	66	80
COLONIA SANTA ELISA	COLONIA	534	623	145	189
COLONIA VILLA SOL	COLONIA	693	915	167	256
COLONIA EL BOSQUE	COLONIA	196	264	49	83
COLONIA TRES DE JULIO	COLONIA	363	402	110	122
COLONIA EL CAMINERO	COLONIA	44	38	10	6
COLONIA LOS CEDROS 2	COLONIA	349	377	108	151
COLONIA BELLO HORIZONTE ( 21 )	COLONIA	1722	2086	2086	621
CASERIO CERRO GORDO ( 21 )	CASERIO	966	959	959	319
COLONIA SAN ANTONIO ( 21 )	COLONIA	109	123	123	39
COLONIA VENEZUELA	COLONIA	1946	2237	2237	758
COLONIA NIMAHUYU	COLONIA	5786	6744	6744	1227
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	COLONIA	164	194	194	84
VILLA LOBOS 1	COLONIA	5596	5883	5883	2620
CIUDAD REAL 1	COLONIA	3244	3632	3632	1156
CIUDAD REAL 2	COLONIA	3359	3509	3509	1180
VILLA LOBOS 3	ASENTAMIENTO	398	414	414	165
NUOVO PORVENIR	ASENTAMIENTO	270	288	288	100
EL MEZQUITAL	COLONIA	3821	4208	4208	1669
MONTE MARIA 1	COLONIA	578	739	739	162
MONTE MARIA NORTE	COLONIA	84	80	80	25
EL GRAN MIRADOR	ASENTAMIENTO	1213	1262	1262	492
VILLA LOBOS	CASERIO	218	204	204	29
LA ESPERANZA	ASENTAMIENTO	41	53	53	20
EL BUCARO	COLONIA	773	776	776	343
PLANES EL FRUTAL	COLONIA	70	181	181	66
FEGUA 1 Y 2	ASENTAMIENTO	1165	1204	1204	559
MONTE MARIA 2	COLONIA	493	650	650	153
VILLA LOBOS 2	COLONIA	3936	4269	4269	1846
PRADOS DE MONTE MARIA	COLONIA	1012	1194	312	414
SAN MIGUEL	RESIDENCIALES	81	108	45	33

EDAD (15-64)	GRUPO ETHNO		AKA'ABETI (SHOZ)		MUNJINO	NIVEL DE PRE-PRIMARIA	
	INDIGENA	IND. INDIGENA	ALFABETA	NO ALFABETA			
21010	2020	2067	29931	21610	1420	1792	311
267	2020	4	352	267	11	12	6
567	70	51	869	706	31	38	8
337	30	28	506	408	19	26	3
144	4	15	182	131	17	23	3
38	1	3	54	38	1	2	1
57	0	2	69	57	0	2	1
65	7	1	110	68	4	6	0
413	77	26	592	472	13	27	8
65	14	3	116	78	1	1	1
136	14	3	167	143	4	6	1
541	33	41	680	566	8	19	4
739	84	67	1049	784	39	43	12
1115	60	55	1527	1137	38	47	14
309	19	14	441	318	10	4	4
488	45	29	720	495	38	51	8
55	45	1	78	65	1	1	1
446	21	9	625	456	11	12	8
2613	152	74	3567	2722	43	62	26
1141	66	149	1685	1085	122	153	28
143	3	7	219	134	12	14	4
2076	126	72	3847	2772	60	81	42
7831	319	285	12127	8001	149	222	112
219	6	40	311	219	6	15	4
6824	223	422	10457	6596	451	572	96
4144	265	227	6237	4041	358	511	64
4066	246	241	6348	3919	413	505	82
406	10	90	718	324	42	107	3
293	6	7	503	259	40	51	1
4895	181	355	7342	4675	401	555	97
894	90	69	1224	951	33	46	21
108	90	17	131	114	5	6	1
1235	15	339	1825	996	255	370	31
238	7	6	306	193	52	66	30
49	3	11	80	42	10	10	1
813	18	210	1304	721	110	149	20
208	14	15	330	191	31	44	1
1262	46	145	2152	1025	283	360	20
832	35	54	1056	827	40	43	1
4355	102	721	7200	3957	500	667	125
1411	69	69	2061	1440	40	53	13
103	3	1	175	104	7	7	2

ESCALARIDAD 2				CEA 2	
PRIMARIA	MEDIA	SUPERIOR	HOMBRES	MUJERES	
13072	9954	3069	9077	7716	
165	132	28	107	60	
224	313	270	212	219	
148	196	123	186	106	
119	52	11	66	32	
17	16	13	15	14	
22	15	27	17	19	
44	32	11	28	17	
224	213	99	161	92	
32	50	11	20	15	
45	59	57	36	36	
142	219	270	168	140	
311	340	306	256	208	
362	530	478	319	326	
120	143	133	76	103	
336	197	63	179	112	
28	23	19	19	10	
194	281	123	152	114	
487	1753	558	820	762	
854	442	49	445	181	
108	55	4	59	21	
1120	1788	559	899	725	
3004	4639	2340	2815	2225	
113	130	47	77	60	
5593	3115	294	2626	1487	
3054	1571	373	1713	925	
3168	1471	286	1628	699	
393	77	1	196	90	
267	79	1	129	58	
3772	2188	133	1780	1042	
284	413	382	303	290	
32	45	54	46	30	
1184	151	6	580	268	
216	21	11	120	24	
35	17	3	20	9	
805	182	18	362	171	
130	102	11	79	27	
1180	277	30	567	235	
246	325	399	255	267	
4095	1359	107	1870	907	
508	747	513	478	424	
64	54	17	42	27	

# APENDICE 3

TIPOS DE INDUSTRIAS Y VALORES PERMISIBLES

**TURBINA**

TIPO DE INDUSTRIA	TIPO DE DESECHOS	EFECTOS EN LA SALUD HUMANA
<p>TEXTILES QUIMICOS ALIMENTICIOS PLASTICOS / HULE CAUCHO METALURGICAS GALVANFLASTICAS YESO / CERAMICA MADEPA</p>	<p>ACIDOS ACETICO ( 96% ) CLOPHIDRICO ( 30% ) FLUORHIDRICO ( 40% ) NITRICO ( 65% ) SULFURICO  METALES PESADOS CROMO VI (Cr) CINCO (Zn) PLOMO (Pb) ALUMINIO (Al) COBRE (Cu) ESTANO (Sn) CADENIO (Cd)  VENENOS CLAURO Y ARSEENICO  COMUNICACION DE PINEOCARBURROS NITROBENZENO CLOROFORMO CICLOPENTANO TRICLORETOLENO</p>	<p>CAUSTICOS SOBRE LA PIEL Y MUCOSAS · IRRITACION DE LA CORNEA DEL OJO  INSPIRACION DE VAPORES: PULMONIA, BRONQUITIS, EDEMA PULMONAR, HICHAZON DE LARINGE.  INGESTION: QUETIADURAS EN LAS VIAS DIGESTIVAS, GASTROESPASMO, VOMITOS CON SANGRE, PLEURITIS, PERITONITIS  FALLO DEL SISTEMA CIRCULATORIO, SHOCK, FALLOS RITMALES Y NECROSIS, DESTRUCCION DE GLOBULOS SANGUINEOS.  TUBERCULAS · SENSIBILIZACION Y REACCIONES ALERGICAS · IRRITACION DE VIAS RESPIRATORIAS, DAÑOS EN EL HIGADO Y RIÑONES · EFECTOS CANCERIGENOS  SUSTANCIAS TERATOGENAS ( FETUSOS PARA EL EM- BARAZO )</p>

TABLE 2

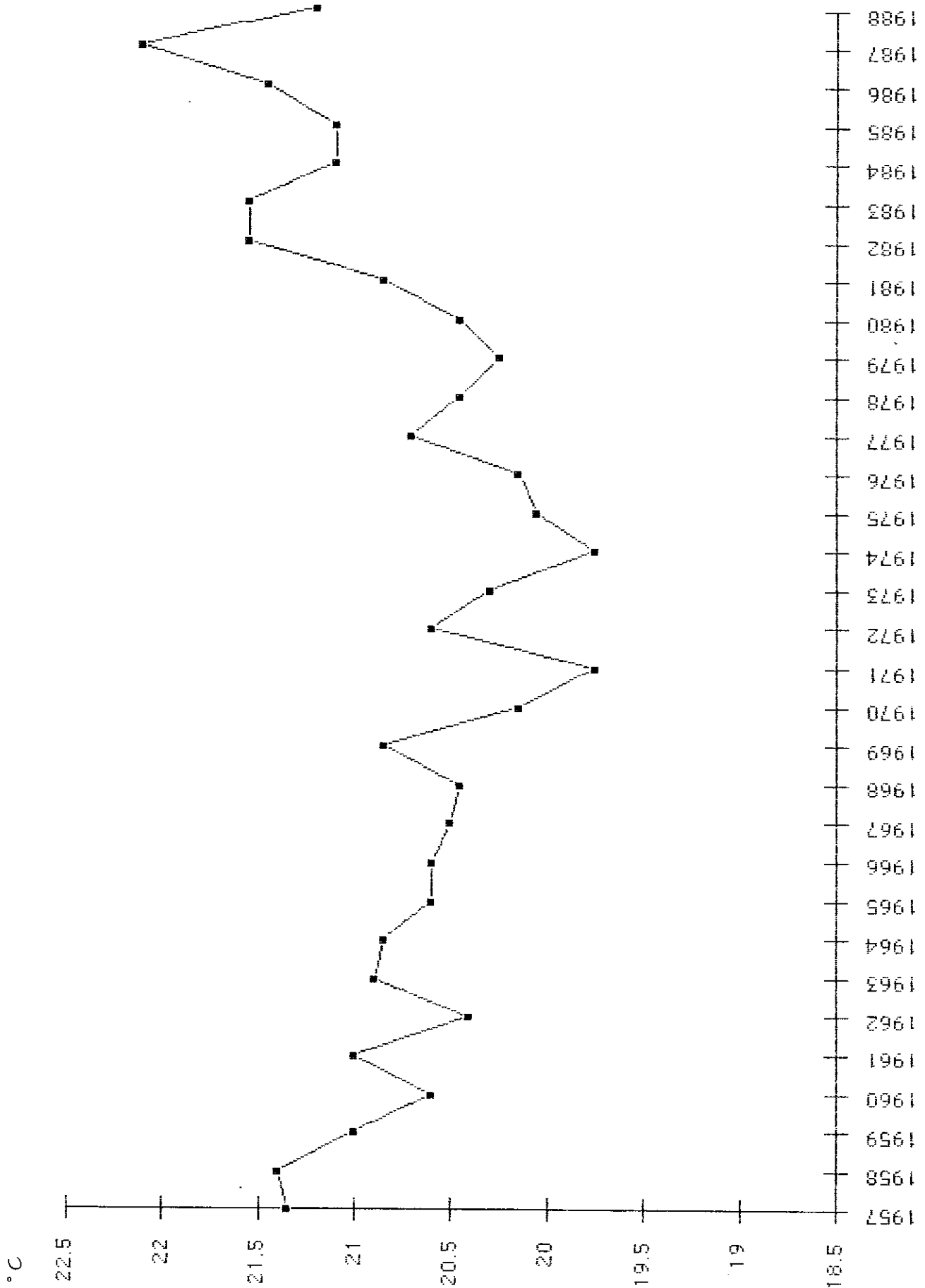
VALORES MAXIMOS PERMISIBLES RECOMENDADOS POR LA ASOCIACION DE PROTECCION AMBIENTAL NOROCCIDENTAL (EPA)

PARA EL	DE
BACTERIA COLI	3 BACTERIAS / CTE
COLOR	15 UNIDADES
NITRITOS	10 mg/l
NITRATOS	10 mg/l
FLUORURO	2.4 mg/l
SULFATOS	250 mg/l

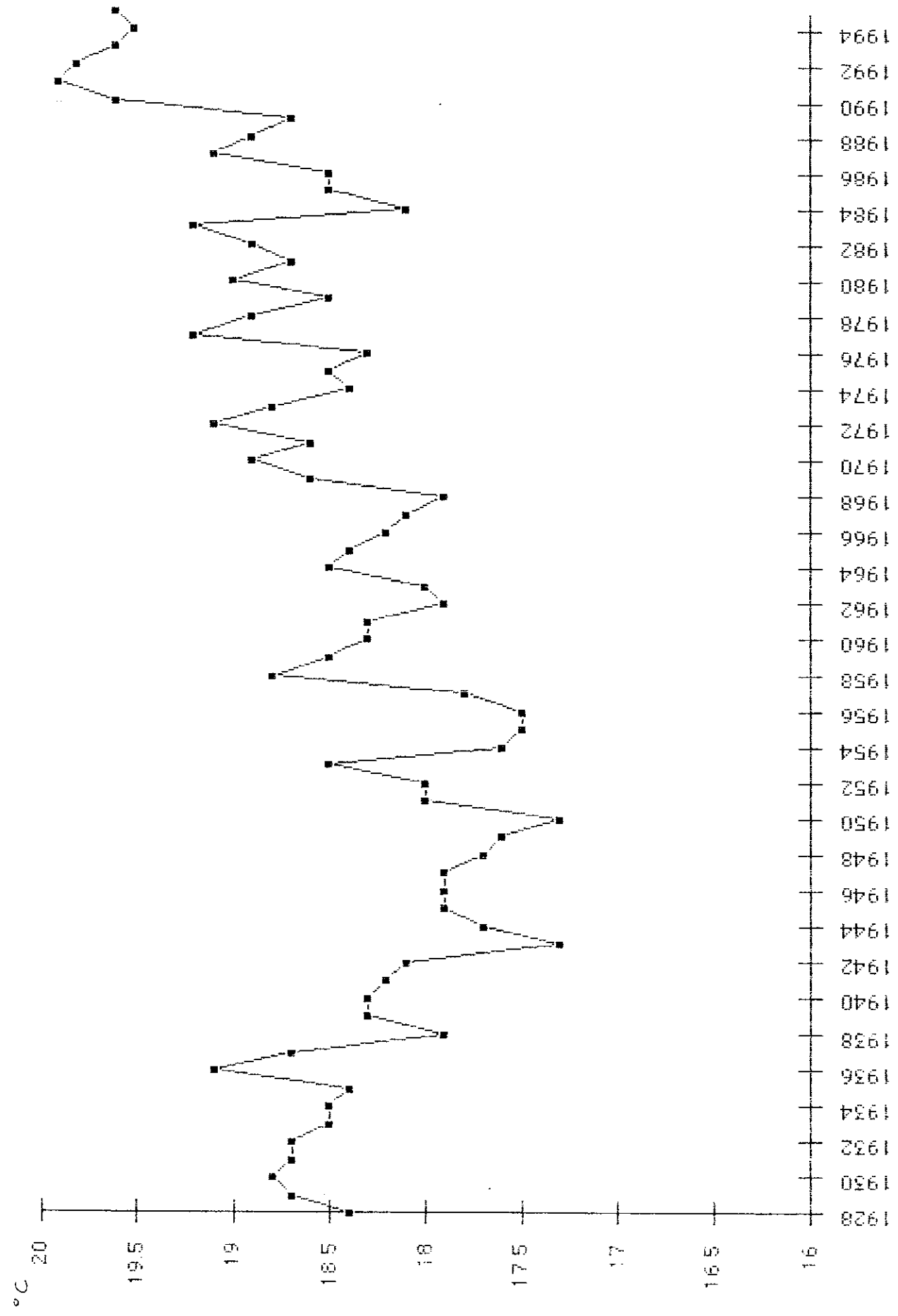
# APENDICE 4

GRAFICOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION

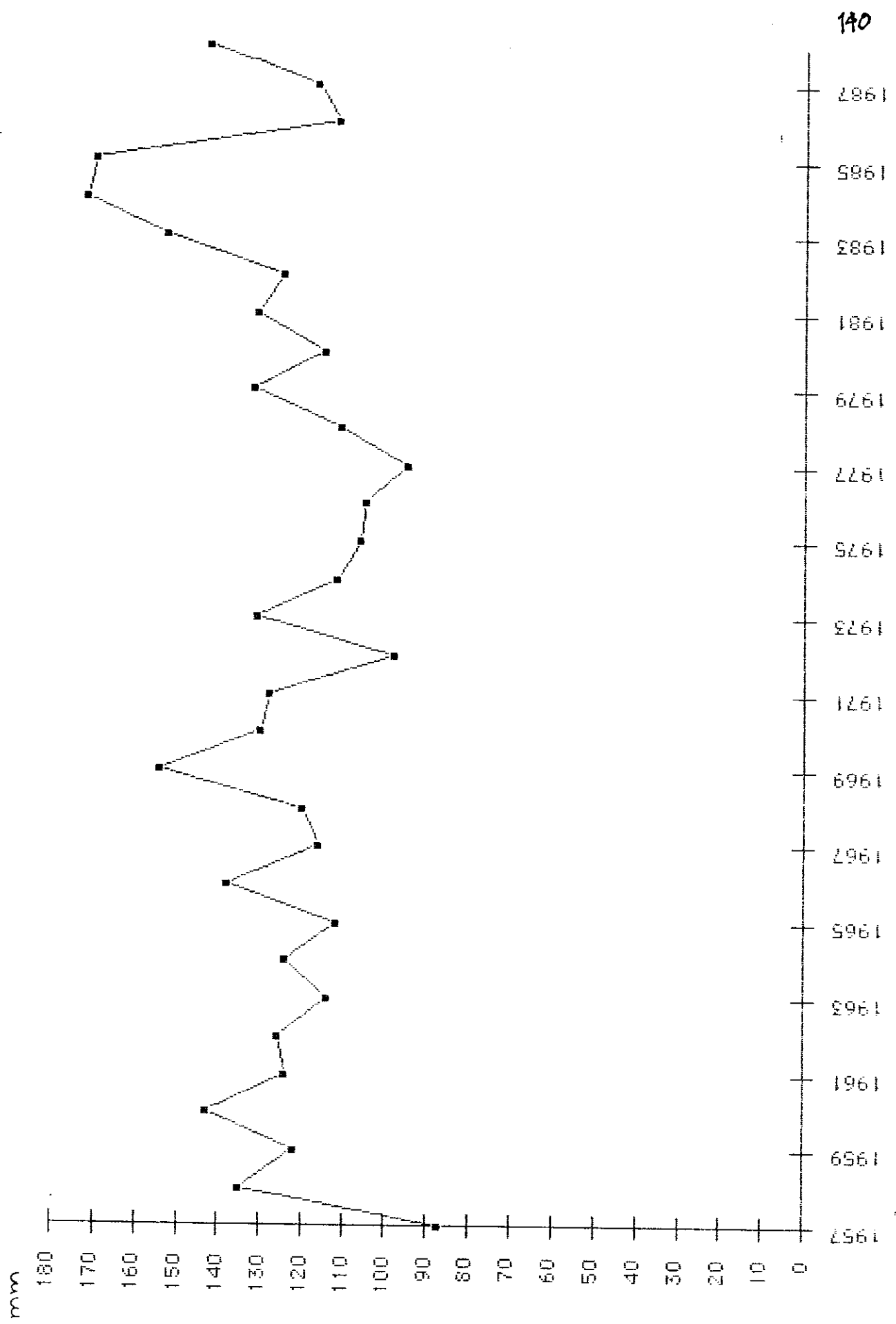
TEMPERATURA MEDIA ANUAL - SAN AGUSTIN LAS MINAS



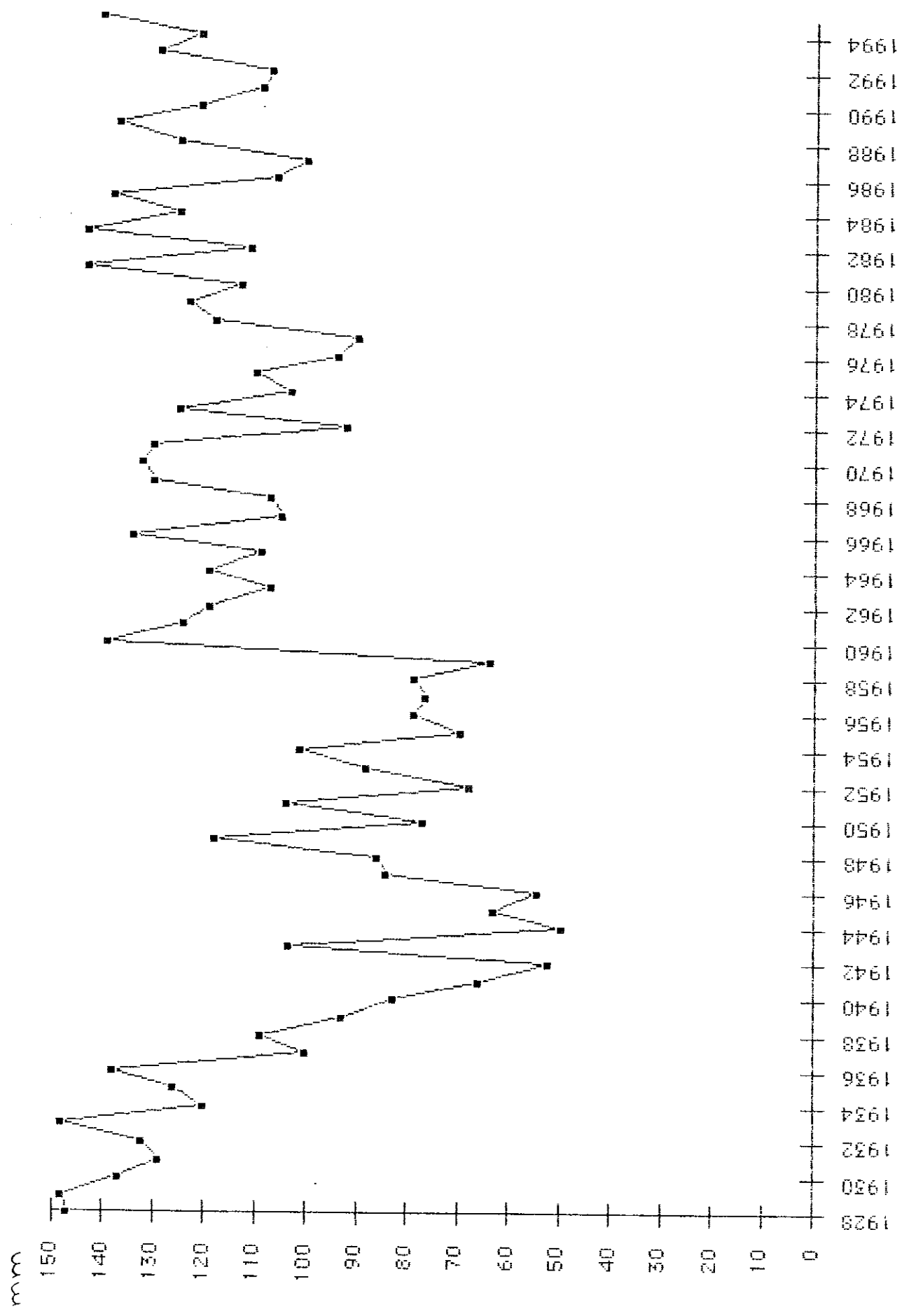
TEMPERATURA MEDIA ANUAL - INSIYUMEH



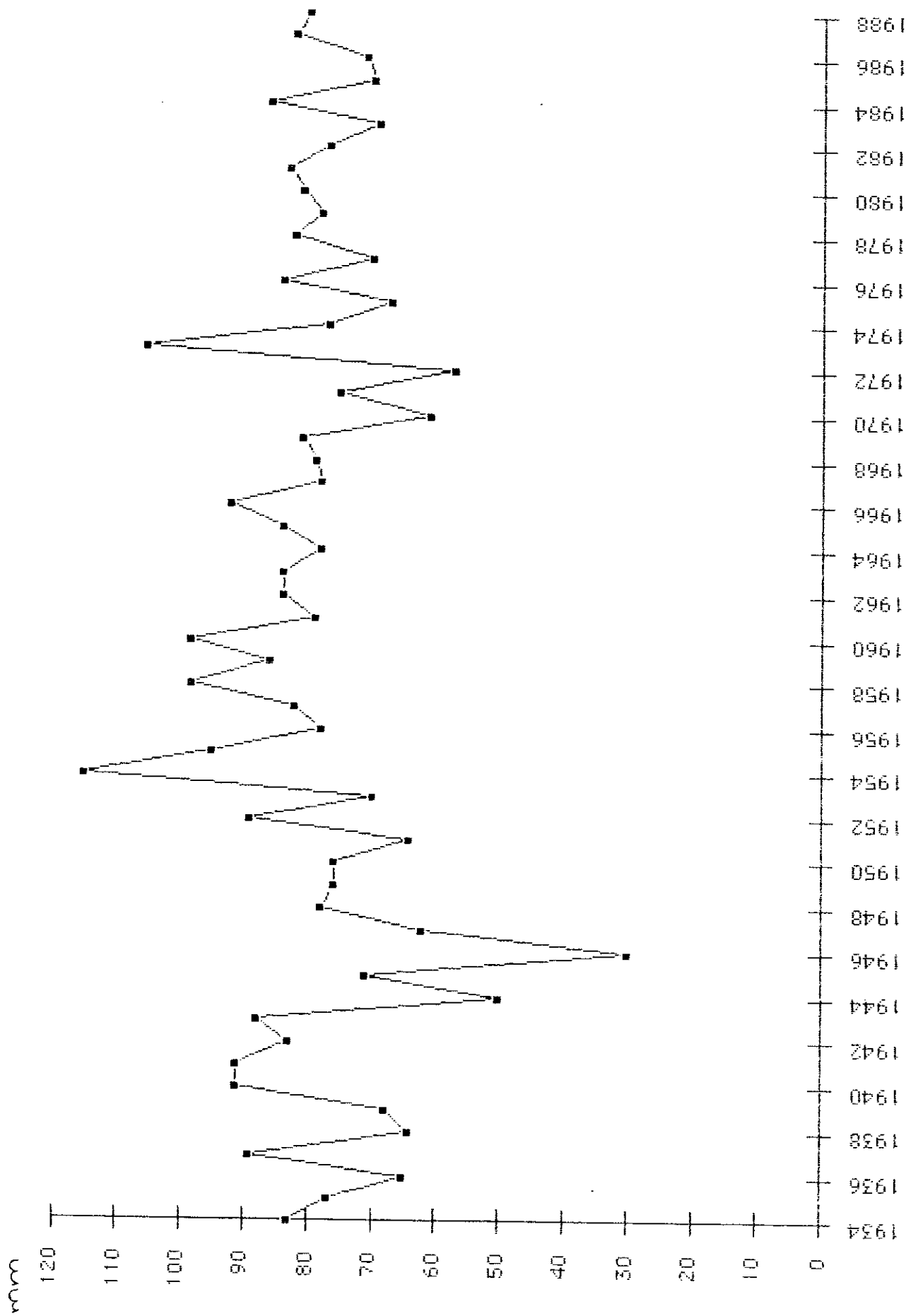
PRECIPITACION - SAN AGUSTIN LAS MINAS



PRECIPITACION - INSIYUMEH



PRECIPITACION - MORAN



# APENDICE 5

VALORES DE PARAMETROS QUIMICO-SANITARIOS Y  
GRAFICOS

POZO ANEHO 1

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES / 100CCMS						
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )						
EXAMEN QUIMICO SANITARIO						
COLOR - ( UNIDADES )						
NITRITOS (NO2) - (mg/L)						
NITRATOS (NO3) - (mg/L)						
FLUORUROS ( F- ) - (mg/L)						
SULFATOS ( SO4- ) - (mg/L)						
DUREZA - (mg/L)						

POZO ANEHO 2

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES / 100CCMS						
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )						
EXAMEN QUIMICO SANITARIO						
COLOR - ( UNIDADES )						
NITRITOS (NO2) - (mg/L)						
NITRATOS (NO3) - (mg/L)						
FLUORUROS ( F- ) - (mg/L)						
SULFATOS ( SO4- ) - (mg/L)						
DUREZA - (mg/L)						



8/30/74	3/15/75	10/25/75	1/31/76	7/3/76	10/23/76	12/10/76	1/29/77	3/19/77	6/18/77	10/8/77
							0	0	0	0
							3	15	5	2
							0	0.008	0	0
							0.2	0.36	0.79	0.35
							0.12	0.23	0.22	0.3
							0	0	0	0
							126	120	102	108

8/30/74	3/15/75	10/25/75	1/31/76	7/3/76	10/23/76	12/10/76	1/29/77	3/19/77	6/18/77	10/8/77
							0	130	0	24,000
							3	12	8	3
							0	0	0	0.014
							0.84	0.93	0.93	0.4
							0.15	0.31	0.18	0.4
							0	0	0	0
							88	62	132	132

	11/25/77	1/14/78	5/20/78	9/8/78	12/2/78	4/27/79	7/2/79	9/8/79	11/3/79	12/7/79	1/19/80
49			0	0	0	222	0	3	3	3	9
3			3	3	5	7	4	4	8	4	4
0			0	0	0.01	0	0	0	0	0	0
1.1			1.1	0.9	0	0.9	0.8	0.85	1	0.26	0.7
0.36			0.32	0.11	0.28	0.32	0.4	0.3	0.26	0.24	0.24
0			0	0	0	0	0	0	0	0	0
78			82	94	92	78	82	86	86	86	88

	11/25/77	1/14/78	5/20/78	9/8/78	12/2/78	4/27/79	7/2/79	9/8/79	11/3/79	12/7/79	1/19/80
0			540	0	0	0	0	3	40	3	450
2			3	3	4	7	3	3	12	8	3
0.016			0.02	0	0.003	0.004	0.001	0	0.004	0.009	0.004
0.1			0.48	0.25	16	0.15	0.9	0.3	0.25	0.23	0.05
0.4			0.44	0.12	0.34	0.32	0.34	0.24	0.17	0.2	0.28
0			0	0	0	0	0	0	0	0	0
126			130	118	134	118	80	82	122	142	120

2/23/80 4/26/80 6/14/80 9/6/80 10/2/80 1/9/81 2/7/81 3/28/81 8/29/81 7/24/81 9/18/81

2	2	23	2	43	2	2	2	3	3	3	15
3	8	4	7	450	4	3	3	4	2	2	12
0	0.006	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	0.018
0.7	0.15	0.15	0.7	1	0	1.55	0.9	1.4	1.05	0	0
0.32	0.32	0.48	0.25	0.23	0.08	0.29	0.35	0.31	0.11	0.36	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	122	128	80	160	80	86	96	84	80	116	0

2/23/80 4/26/80 6/14/80 9/6/80 10/2/80 1/9/81 2/7/81 3/28/81 8/29/81 7/24/81 9/18/81

9	2	2	2	1,100	43	2	430	3	3	3	3
5	4	4	35	5	3	2	3	3	3	3	8
0.005	0	0	0.006	0	0.002	0	0.008	0.001	0.015	0	0
0.1	0.7	0.7	0.3	0	0.1	0.3	0.25	0.94	0.1	0.58	0
0.4	0.28	0.36	0.4	0.45	0.41	0.41	0.3	0.31	0	0.24	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	78	84	142	90	142	134	130	120	122	126	0

10/16/81 12/11/81 1/29/82 3/12/82 5/6/82 7/9/82 12/17/82 5/6/83 6/10/83 8/7/83 11/18/83

3	3	3	3	3	3	15	3	3	3	3	3	3
3	14	14	8	3	5	6	3	4	8	2		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0		
1.05	1	0.89	1.2	0.57	0.55	1	0.74	1.1	0.4	1.3		
0.3	0.2	0.23	0.28	0.22	0.21	0.12	0.39	0.16	0.24	0.16		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
96	84	92	72	80	82	80	80	86	108	96		

10/16/81 12/11/81 1/29/82 3/12/82 5/6/82 7/9/82 12/17/82 5/6/83 6/10/83 8/7/83 11/18/83

3	3	3	3	3	3	3	23	3	3	3	3	43
3	13	13	10	3	4	5	2	3	4	2		
0	0	0	0.014	0.009	0	0	0.004	0	0	0.005		
1.03	1.21	0.66	1.6	0.51	0.55	0.12	0.05	0.97	0.75	0.1		
0.19	0.2	0.14	0.3	0.35	0.13	0.35	0.52	0.2	0.28	0.4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
70	86	84	150	84	78	84	114	82	74	118		

	1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	30	6	2	1	4	1	4	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0
0.25	0.95	1.05	1.05	2.05	0.8	1.05	0.25	0.06	0.06	1.3	1.55
0.24	0.21	0.36	0.26	0.4	0.28	0.36	0.44	0.45	0.45	0.42	0.6
0	0	0	0	0	0	0	5	0.05	0.05	1.5	1
82	92	96	100	100	160	88	82	78	90	80	82

	1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,400	3	3
3	2	5	3	5	3	1	1	3	3	1	1
0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0
0.24	0.8	0.8	0.65	0.25	0.8	1.3	0.25	0.25	0.25	0.8	0.25
0.2	0.29	0.25	0.24	0.44	0.25	0.36	0.36	0.38	0.38	0.25	0.52
0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0.25	1.5	0.5
74	100	84	80	145	144	92	84	83	88	88	88

	7/18/86	11/21/86	1/23/87	5/29/87	9/10/87	10/29/87	2/5/88	6/10/88	12/9/88	4/21/89	9/1/89
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.75	0.05	9.9	8.8	1.1	12.1	3	12.1	4.4	9.9	2.2
0.44	0.15	0.22	0.2	0.5	0.42	0.36	0.36	0.36	0.36	0.21	0.28
1.5	1.5	4	1	0.5	1.5	0.5	2.5	0.5	4	3	4
98	92	80	90	90	94	82	82	82	72	90	98

	7/18/86	11/21/86	1/23/87	5/29/87	9/10/87	10/29/87	2/5/88	6/10/88	12/9/88	4/21/89	9/1/89
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.8	0.151	6.6	4.4	1.1	9.9	5	9.9	6.6	6.6	3.3
0.4	0.1	0.22	0.21	0.37	0.4	0.32	0.32	0.35	0.42	0.23	0.3
5.1	3.5	0	0	7	0.5	2	2	1	4	3	6
92	84	80	86	94	92	90	88	88	70	86	90

	12/15/89	8/31/90	11/2/90	7/12/91	11/15/91	1/17/92	2/28/92	6/26/92	10/23/92	4/16/93	6/11/93
3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.7	8.8	5.5	5	4.62	5.28	5.28	4.84	5.28	5.28	5.94	5.5
0.48	0.28	0.21	0.28	0.26	0.32	0.32	0.38	0.36	0.36	0.55	0.13
2	8	8	2	6	5	5	5	3	3	9	4
90	92	96	100	134	112	112	102	106	106	112	80

	12/15/89	8/31/90	11/2/90	7/12/91	11/15/91	1/17/92	2/28/92	6/26/92	10/23/92	4/16/93	6/11/93
3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.7	8.36	5.28	5.72	4.18	4.84	4.84	4.4	5.72	4.84	5.94	5.94
0.43	0.28	0.25	0.32	0.26	0.4	0.29	0.29	0.41	0.43	0.55	0.17
2	7	7	2	5	6	2	2	8	2	9	5
78	100	90	110	94	88	100	116	90	90	112	80

	7/16/93	1/20/94	3/11/94	4/13/94	6/3/94	7/15/94	11/4/94	6/9/95	7/17/95	12/15/95	2/23/96
3		3	3	3	3	3			3	3	
1		1	1	2	1	2			2	1	
0		0	0	0	0	0			0	0	
2.2		0.66	0.88	1.1	0.88	0.94			6.6	8.8	
0.43		0.27	0.26	0.17	0.48	0.25			0.5	0.42	
8		11	10	9	5	13			6	8	
84		90	120	120	88	96			80	86	

	7/16/93	1/20/94	3/11/94	4/13/94	6/3/94	7/15/94	11/4/94	6/9/95	7/17/95	12/15/95	2/23/96
3		3	3	3	3	3			3	3	
1		1	6	2	1	3			1	2	
0		0	0	0	0	0			0	0	
2.2		0.88	1.1	1.1	0.88	0.88			7.5	11	
0.48		0.23	0.35	0.22	0.56	0.25			0.6	0.46	
6		4	14	6	13	17			9	9	
110		60	156	96	108	110			120	100	

5/24/96	7/12/96	11/15/96	4/18/97	6/20/97
3	3		3	3
1	1		2	2
0	0		0	0
8.8	4.4		4.4	5.72
0.37	0.17		0.41	0.12
9	11		9	15
94	86		153	146

5/24/96	7/12/96	11/15/96	4/18/97	6/20/97
93	3	3	3	3
1	2	2	1	2
0	0	7.04	4.6	6.82
8.8	6.6	0	0	0
0.35	0.33	0.36	0.74	0.22
11	18	9	12	12
106	106	179	189	188

**DIAMANTE 1**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
MUESTRAS FECALES DE GERMES COLIFORMES, TUBERCULOSIS Y COQUELES (GRUPO COLI-AEROBES)						
EXAMEN QUIMICO-SANTARIO						
COLOE - (UNIDADES)				7	3	3
MUELTOS (NO3) - (mg/l)				0	0	0.01
NIPTATOS (NO3) - (mg/l)				0.02	0.04	0.025
FLUORURO (F-) - (mg/l)				0.15	0.43	0.28
SULFATOS (SO4-) - (mg/l)				0	0	0
UREA - (mg/l)				156	104	103

**DIAMANTE 3**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
MUESTRAS FECALES DE GERMES COLIFORMES, TUBERCULOSIS Y COQUELES (GRUPO COLI-AEROBES)						
EXAMEN QUIMICO-SANTARIO						
COLOE - (UNIDADES)			8	5	30	5
MUELTOS (NO3) - (mg/l)			0.001	0	0.001	0
NIPTATOS (NO3) - (mg/l)			0.02	0.06	0.06	0.02
FLUORURO (F-) - (mg/l)			0.28	0.15	0.52	0.3
SULFATOS (SO4-) - (mg/l)			0	0	0	0
UREA - (mg/l)			172	110	100	110

8/6/77 11/19/77 2/4/78 11/4/78 5/24/78 7/2/78 9/22/78 11/17/78 2/9/79 5/11/79

0	0	0	0	0	0	490	490	490	
4	4	2	2	2	2	2	2	2	
0	0	0	0.003	0.012	0.012	0	0	0	
0.1	0.1	0.05	0.09	0.38	0.38	0.05	0.02	0.02	
0.4	0.4	0.07	0.24	0.46	0.46	0.15	0.08	0.08	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	108	112	118	122	126	126	126	

8/6/77 11/19/77 2/4/78 11/4/78 5/24/78 7/2/78 9/22/78 11/17/78 2/9/79 5/11/79

0	0	0	0	0	0	130	0	2,400	0
4	4	2	2	2	2	2	2	2	
0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.004	0
0.1	0.1	0.05	0.09	0.38	0.38	0.12	0.03	0	0.25
0.4	0.4	0.07	0.24	0.46	0.46	0.15	0.15	0	0.11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	134	138	144	148	152	156	160	164

3715775 10/25/75 1731776 773776 10/23/76 12/10/76 1729777 3719777 6/18/77 10/28/77

740	0	0	45	0	45	0	0	0	0
3	3	0	2	3	5	3	3	3	150
0.0018	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.016
0	0.24	0.24	0.5	0.13	0.25	0.24	0.24	0.24	0.95
0	0	0.37	0.2	0.17	0.23	0.21	0.21	0.21	0.3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	118	132	134	130	124	114	114	114	132

3715775 10/25/75 1731776 773776 10/23/76 12/10/76 1729777 3719777 6/18/77 10/28/77

140	0	520	23	9,200	280	78	0	230	230	24,000
0	0	3	2	0	3	2	3	3	2	2
0.24	0	0.07	0.009	0	0	0	0	0	0	0
0	0.37	1.4	0.35	0.33	0	0.5	0.2	0.22	0.4	0.3
0	0.26	0.12	0.3	0	0.27	0.3	0.16	0.15	0.14	0.3
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
118	110	110	109	110	124	130	116	108	120	114



	4/26/80	5/14/80	9/6/80	10/2/80	1/9/81	2/7/81	3/28/81	8/29/81	7/24/81	9/18/81
9	2	150	24,000	9	93	43	2	9		43
4	5	4	6	6	3	3	2	3		25
0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
0.1	0.2	0.2	0.3	0.65	0.2	0.6	0.6	0.4		0
0.36	0.2	0.3	0.4	0.4	0.41	0.31	0.05	0.4		0.28
0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
112	100	104	114	102	126	106	110	102		106

	4/26/80	5/14/80	9/6/80	10/2/80	1/9/81	2/7/81	3/28/81	8/29/81	7/24/81	9/18/81
2	2	75	750	2	15	23	2	23		15
3	7	3	5	5	2	2	2	4		12
0	0	0	0.012	0	0.001	0	0	0		0
0.15	0.25	0.3	0.3	0	0.1	0.6	0.4	0.6		0
0.18	0.4	0.48	0.44	0.34	0.33	0.37	0.25	0.1		0.28
0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
112	102	112	106	104	116	106	110	10,000		220

10/16/81	12/11/81	1/29/82	5/12/82	5/8/82	7/9/82	12/17/82	5/6/83	6/10/83	8/7/83	11/18/83
2,400			3		9		3	43	3	2,400
140			2		4		3	4	2	2
0			0		0		0	0	0.075	0
0.35			0.1		0.23		0.05	0.1	0.5	0.25
0.33			0.35		0.13		0.42	0.16	0.5	0.32
0			0		0		0	0	0	0
104			106		120		126	120	112	98

10/16/81	12/11/81	1/29/82	3/12/82	5/8/82	7/9/82	12/17/82	5/6/83	6/10/83	8/7/83	11/18/83
23			3		4		3	3	3	460
12			2		3		2	3	2	3
0			0		0		0	0.018	0	0
0.15			0.1		0.23		0.07	0.1	0.1	0.35
0.3			0.35		0.21		0.39	0.28	0.24	0.32
0			0		0		0	0	0	0
104			104		104		96	112	160	100

1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
9	3	460	1,100	2,400	3	3	75	4	4	3
2	3	7	3	2	3	2	3	2	3	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0
0.24	0.8	0.25	0.75	1.8	0.25	0.5	0.25	0.06	0.25	0.25
0.3	0.47	0.25	0.17	0.5	0.32	0.36	0.51	0.51	0.25	0.56
0	0	0	0	0	0	0	7.5	26.1	0.5	9
100	164	108	108	116	184	110	100	106	136	100

1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
150	3	4	1,100	15	3	23	210	4		3
4	3	3	3	2	3	1	1	2		1
0	0	0	0	0	0	0	0.001	0		0
0.25	0.25	0.25	0.5	1.05	0.25	1.3	0.25	1.4		0.25
0.3	0.41	0.46	0.36	0.28	0.34	0.48	0.44	0.64		0.52
0	0	0	0	0	0	0	7.5	5		5
112	114	130	104	124	188	118	100	104		106

	7/18/86	11/21/86	1/23/87	5/29/87	9/10/87	10/29/87	2/5/88	6/10/88	12/9/88	4/21/89	9/17/89
23	3	2	3	3	3	23	3	23		3	3
2	3	1	1	1	1	1	0.006	1		2	2
0.001	0.001	0.001	0.006	0	0	0	0.04	0.003		0	0.033
0.25	0.15	0.05	3.3	6.6	1.1	1.1	3.3	1.1		2.2	4.4
0.56	0.3	0.4	0.36	0.55	0.43	0.43	0.47	0.45		0.29	0.33
7.3	1.5	4	0	20	0.5	0.5	3.5	6		9	16
128	126	126	124	120	130	130	118	128		132	152

	7/18/86	11/21/86	1/23/87	5/29/87	9/10/87	10/29/87	2/5/88	6/10/88	12/9/88	4/21/89	9/17/89
9	3	9	3	3	3			3		3	3
2	2	1	9	4				1		1	1
0	0	0	0.003	0				0		0.003	0
0.25	0.2	0.1	2.2	1.1				2.2		2.2	9.9
0.56	0.2	0.32	0.3	0.52				0.38		0.26	0.4
81	12	2.5	6	31				13		18	24
108	115	114	112	114				115		124	134

12/15/89	8/31/90	11/2/90	7/12/91	11/15/91	1/17/92	2/28/92	5/26/92	10/23/92	4/16/93	6/11/93
230	9		93	9	3	3	460	3	3	3
10	8		1	11	6	3	18	10	2	2
0.003	0.066		0	0.006	0.001	0.003	0.003	0	0.003	0.003
1.1	1.76		1.54	1.11	1.54	1.32	1.93	2.8	1.76	1.54
0.64	0.33		0.18	0.26	0.36	0.42	0.49	0.46	0.59	0.22
12	24		8	13	12	12	13	15	13	16
160	170		176	182	164	168	168	136	172	158

12/15/89	8/31/90	11/2/90	7/12/91	11/15/91	1/17/92	2/28/92	5/26/92	10/23/92	4/16/93	6/11/93
3			43	3	3	3	43	3	3	43
1			1	3	2	5	10	12	1	1
0			0.033	0	0	0.012	0	0.003	0	0
1.65			2.2	1.76	2.2	1.32	2.42	1.1	2.64	2.42
0.52			0.27	0.26	0.32	0.38	0.04	0.96	0.55	0.13
13			9	16	14	7	16	11	16	15
140			246	146	176	120	144	154	138	154

	7/15/93	1/20/94	3/11/94	4/13/94	6/3/94	7/15/94	11/4/94	6/9/95	7/17/95	12/15/95	2/23/96
25		9	3	3	9	9					
2		2	7	1	9	8					
0		0.003	0.006	0.006	0.003	0.006					
1.32		0.88	0.88	0.88	0.88	0.66					
0.52		0.36	0.22	0.26	0.36	0.24					
12		13	27	22	22	26					
160		172	192	184	156	170					

	7/15/93	1/20/94	3/11/94	4/13/94	6/3/94	7/15/94	11/4/94	6/9/95	7/17/95	12/15/95	2/23/96
3			3	3	93		43	3			
1			2	1	1		2	3			
0.009			0	0	0		0.003	0			
1.1			0.88	0.88	0.66		0.88	4.4			
0.52			0.26	0.3	0.48		0.37	0.46			
12			23	19	19		42	20			
130			164	140	130		136	130			



**DIAMANTE 5**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES / 100CM3 COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)						
EXAMEN QUIMICO SANITARIO						
COLOR - ( UNIDADES )						
NITRITOS (NO2) - (mg/L)						
NITRATOS (NO3) - (mg/L)						
FLUORUROS (F-) - (mg/L)						
SULFATOS (SO4-) - (mg/L)						
DUREZA - (mg/L)						

**DIAMANTE 6**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES / 100CM3 COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)						
EXAMEN QUIMICO SANITARIO						
COLOR - ( UNIDADES )						
NITRITOS (NO2) - (mg/L)						
NITRATOS (NO3) - (mg/L)						
FLUORUROS (F-) - (mg/L)						
SULFATOS (SO4-) - (mg/L)						
DUREZA - (mg/L)						



8/30/74 3/15/75 10/25/75 1/31/76 7/3/76 10/23/76 12/10/76 1/29/77 3/19/77 6/18/77 - 10/8/77

0	0	0	0	0					
3	3	2	2	2					
0.017	0.002	0	0.3						
0.24	3	0.7	0.43						
0	0.25	0.14	0.48						
0	0	0	0						
135	114	130	104						

8/30/74 3/15/75 10/25/75 1/31/76 7/3/76 10/23/76 12/10/76 1/29/77 3/19/77 6/18/77 - 10/8/77




2/23/80 4/25/80 5/14/80 9/6/80 10/2/80 1/9/81 2/7/81 3/28/81 5/29/81 7/24/81 9/18/81

	2														2,400
	8														125
	0														0.001
	0.15														0
	0.48														0.2
	0														0
	102														130

2/23/80 4/25/80 5/14/80 9/6/80 10/2/80 1/9/81 2/7/81 3/28/81 5/29/81 7/24/81 9/18/81

93	2	43		90				90					23			3			15
6	8		9										3			3			12
0.01	0.009	0.012	0					0.015				0.02	0.02		0.02				0.018
0.1	0.7	0.7	0.3					0.45				0.4			0.3				0
0.48	0.36	0.43	0.44					0.25				0.37			0.26				0.35
0	0	0	0					0				0			0				0
110	110	110	116					116				114			100				116

10/16/81 12/11/81 1/29/82 3/12/82 5/8/82 7/9/82 12/17/82 5/6/83 6/10/83 8/7/83 11/18/83

9	3	3	3	3	3	240	3	4	23	3
28	35	18	12	5	5	0.004	0.003	4	3	60
0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.21	0.07	0	0.08	0.001
0	0.1	0	0.9	0.01	0.41	0.41	0.37	0.15	0.1	0.1
0.3	0.18	0.36	0.3	0.49	0	0	0	0.12	0.36	0.28
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
186	172	180	174	176	142	162	162	356	114	200

10/16/81 12/11/81 1/29/82 3/12/82 5/8/82 7/9/82 12/17/82 5/6/83 6/10/83 8/7/83 11/18/83

3	3	3	3	3	3	240	23	3	460
18	25	20	8	4	3	0.03	0.025	3	4
0.19	0.03	0.03	0.022	0.015	0.22	0.22	0.05	0.005	0.025
1.3	0.2	0.04	0.95	0.2	0.41	0.41	0.46	0.05	0.01
0.3	0.3	0.45	0.33	0.13	0	0	0	0.61	0.44
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	112	110	114	120	108	110	106	106	106

1/20/84 5/11/84 7/13/84 10/5/84 11/16/84 2/15/85 6/7/85 10/4/85 12/13/85 2/14/86 4/25/86

460	3	4	21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	9	2	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0.003	0.005	0.001	0.005	0.003	0	0.085	0.042	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
0.23	0.25	0.25	0.005	0.25	1.3	0.25	1.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.42	0.41	0.4	0.4	0.36	0.29	0.66	0.58	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
0	0	0	0	0	0	10	14.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
152	152	148	152	175	188	152	182	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186

1/20/84 5/11/84 7/13/84 10/5/84 11/16/84 2/15/85 6/7/85 10/4/85 12/13/85 2/14/86 4/25/86

21	23	460	460	3	43	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	10	5	30	2	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
0.05	0.003	0.03	0.075	0.05	0.075	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
0.28	0.55	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.2	0.47	0.5	0.39	0.3	0.2	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
0	0	0	0	0	0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
110	132	120	106	125	238	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112



12/15/89 8:31:90 11/2:90 7/12:91 11/15:91 1/17:92 2/28:92 6/26:92 10/23:92 4/16:93 6/11:93

3	4	240	43	3	23	3
6	4	9	6	1	18	9
0.009	0.003	0.015	0.009	0.009	0.01	0.009
1.1	3.26	3.3	2.2	2.2	2.64	1.54
0.6	0.36	0.27	0.48	0.44	0.52	0.54
24	30	12	21	17	15	17
180	186	160	180	170	160	154

12/15/89 8:31:90 11/2:90 7/12:91 11/15:91 1/17:92 2/28:92 6/26:92 10/23:92 4/16:93 6/11:93






**DIAMANTE 7**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
<p>NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES/ 100CM3 COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROSGENES)</p>						
<p>EXAMEN QUIMICO: SANITARIO</p>						
<p>COLOR - ( UNIDADES )</p>						
<p>NITRITOS (NO2) - (mg/L)</p>						
<p>NITRATOS (NO3) - (mg/L)</p>						
<p>FLUORUROS (F-) - (mg/L)</p>						
<p>SULFATOS (SO4-) - (mg/L)</p>						
<p>DUREZA - (mg/L)</p>						

**DIAMANTE 8**

EXAMEN BACTERIOLOGICO		10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
<p>NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES/ 100CM3 COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROSGENES)</p>						
<p>EXAMEN QUIMICO: SANITARIO</p>						
<p>COLOR - ( UNIDADES )</p>						
<p>NITRITOS (NO2) - (mg/L)</p>						
<p>NITRATOS (NO3) - (mg/L)</p>						
<p>FLUORUROS (F-) - (mg/L)</p>						
<p>SULFATOS (SO4-) - (mg/L)</p>						
<p>DUREZA - (mg/L)</p>						







	2/23/80	4/26/80	6/14/80	9/6/80	10/2/80	1/9/81	2/7/81	3/28/81	8/29/81	7/24/81	9/18/81
					43						
					450						
					0						
					1						
					0.23						
					0						
					160						

	2/23/80	4/26/80	6/14/80	9/6/80	10/2/80	1/9/81	2/7/81	3/28/81	8/29/81	7/24/81	9/18/81
2				90		23	23	2			
4				3		2	4	2			
0				0		0	0	0			
0.1				0.3		0.15	0.35	0.65			
0.5				0.45		0.4	0.08	0.2			
0				0		0	0	0			
110				110		122	104	108			



	1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
4										3	4
4											3
0.003										4	0
0.23										0.25	0.5
0.4										0.25	0.56
0										1.5	4.5
174										126	112

	1/20/84	5/11/84	7/13/84	10/5/84	11/16/84	2/15/85	6/7/85	10/4/85	12/13/85	2/14/86	4/25/86
3											
3											
2											
0											
0.25											
0.28											
0											
100											

7/18/86 11/21/86 1/23/87 5/29/87 9/10/87 10/29/87 2/5/88 5/10/88 12/9/88 4/21/89 9/1/89

3	3	3	3	3	3	3	460	9	2,400
3	4	2			16	3	11	2	1
0	0	0			0.003	0.033	0	0.006	0.033
0.25	0.75	0.1			1.1	5.5	2.2	2.2	3.3
16.5	0.22	0.26			0.45	0.4	0.4	0.42	0.34
2.5	1	0			2.5	2	2	15	9
124	115	108			130	112	116	90	132

7/18/86 11/21/86 1/23/87 5/29/87 9/10/87 10/29/87 2/5/88 5/10/88 12/9/88 4/21/89 9/1/89

3	3	3	3	3	3	3			
2	1	1	1	1	1	1			
0	0	0	0	0	0	0			
0.15	0.05		3.3						
0.09	0.22		17.5						
2	5.4	4							
108	114	102							





5/24/96	7/12/96	11/15/96	4/18/97	6/20/97
460	93	3	3	3
1	3	1	1	1
0.019	0.019	4.4	0	0.066
8.6	6.6	0	6.36	1.98
0.41	0.36	0.44	0.54	0.25
12	19	6	8	22
156	138	219	225	241

5/24/96	7/12/96	11/15/96	4/18/97	6/20/97

NACIMIENTO

EXAMEN BACTERIOLÓGICO	10/21/70	2/12/71	3/19/71	5/14/71	6/11/71
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMINES COLIFORMES/100CM3 COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)	0	0	0	0	0
EXAMEN QUIMICO S AMIARIO					
COLOR - (UNIDADES)	72	4	9	4	5
NITRIDOS (NO3-) - (mg/L)	0	0	0	0	0
NITRATOS (NO3-) - (mg/L)	0.3	0.07	0.1	0.115	0.075
FLUORUROS (F-) - (mg/L)	0.7	0.26	0.15	0.4	0.09
SULFATOS (SO4-) - (mg/L)	0	0	0	0	0
DUREZA - (mg/L)	90	54	78	78	82

8/6/71 11/19/71 2/4/72 11/4/72 3/24/73 5/26/73 7/2/73 9/22/73 11/17/73 2/9/74 5/11/74

2.20	0	0			0	230	230	230	230	790
3	5	4			2	3	2	3	3	2
0	0	0			0	0	0	0	0	0
0.09	0.09	0.04			0.1	0.07	0.09	0.1	0.09	0.75
0	0.18	0.52			0.09	0.24	0.27	0.12	0.14	0.09
0	0	0			0	0	0	0	0	0
78	80	104			76	74	78	86	80	78

6/30/74 3/15/75 10/25/75 1/31/76 7/3/76 10/23/76 12/10/76 1/29/77 3/19/77 6/18/77 10/27/77

790	0	22	0	790	0	78	0	78	0	0
2	2	2	2	3	10	3	2	8	2	2
0.018	0.019	0	0.03	0	0	0.002	0	0.004	0.04	0.04
0	0	3.3	0.9	0.93	0.99	1	0.16	0.4	0.01	0.01
0	0.17	0.12	0.2	0	0.21	0.14	0.1	0.31	0.3	0.3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	72	70	66	88	85	96	136	134	132	132

	1/14/78	5/20/78	9/8/78	12/2/78	4/27/79	7/2/79	9/8/79	11/3/79	12/7/79	1/19/80
49	5	0	0	0	0	0	150	200	3	2
3	3	2	2	3	4	4	3	14	4	2
0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.005	0.004	0	0
0.18	0.4	1.15	0.7	1.1	0.65	0.15	0.35	0.25	0.26	0.55
0.4	0.31	0.28	0.116	0.38	0.24	0.23	0.32	0.43	0.24	0.2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	190	94	115	85	20	115	122	120	86	86

2/23/80 4/25/80 6/14/80 9/6/80 10/2/80 1/9/81 2/7/81 3/28/81 8/29/81 7/24/81 9/18/81

2	2	2	2	23	2	2	2	2	3	3	3	3	3
7	5	3	8	3	3	3	3	3	4	4	4	2	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0	0	0	0.005
0.6	0.9	0.9	0.6	1.05	0.95	1.1	0.9	0.63	0.63	0.25	0.25	0.25	0
0.24	0.2	0.48	0.3	0	0.29	0.25	0.15	0.45	0.45	0.11	0.11	0.11	0.24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	84	84	82	78	96	82	90	100	100	104	104	104	106

10/16/81 12/11/81 1/29/82 3/12/82 5/8/82 7/9/82 12/17/82 5/6/83 6/10/83 8/7/83 11/18/83

93	3	3	3	3	23	3	3	15	3	3
8	12	18	3	5	12	2	3	3	3	3
0.008	0.025	0.002	0	0.009	0.008	0	0	0	0	0
0.1	0.66	0.6	0.61	0.55	0.19	0.5	0.3	0	0	0.65
0.3	0.28	0.25	0.13	0.1	0.31	0.49	0.24	0.16	0.24	0.24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	140	176	120	122	134	90	96	84	84	84



7/18/86 11/21/86 1/23/87 5/29/87 9/10/87 10/29/87 2/5/88 6/10/88 12/9/88 4/21/89 9/7/89

460	2,400	2,400	240	2,400	2,400	2,400			
2	6	1	1	2	3				
0.001	0	0	0	0	0.003				
0.5	0.5	0.09	6.6	5.5	5.5				
0.58	0.1	0.25	0.3	0.48	0.42				
9	4	0	1	0.5	4.5				
90	84	86	96	96	98				

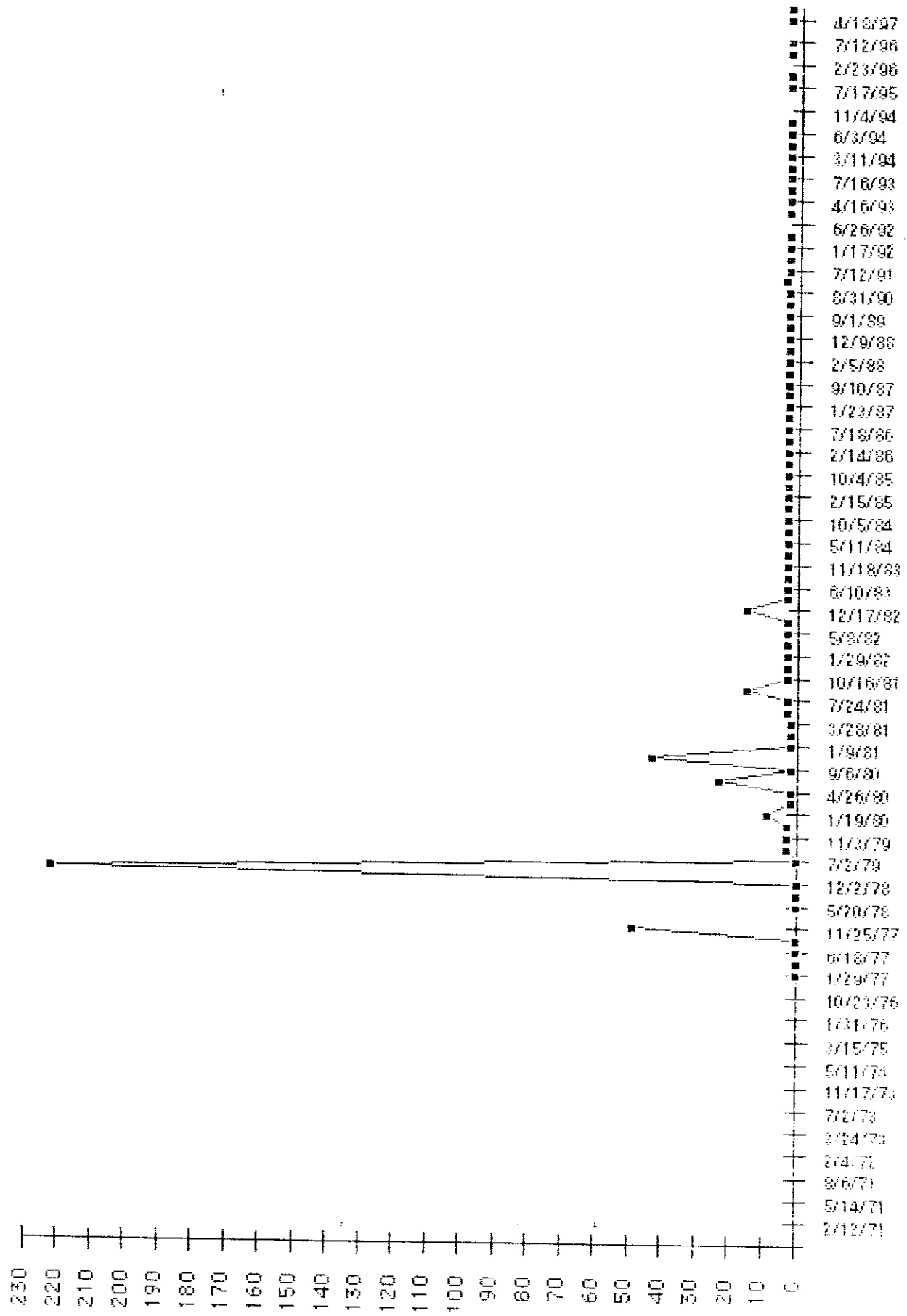






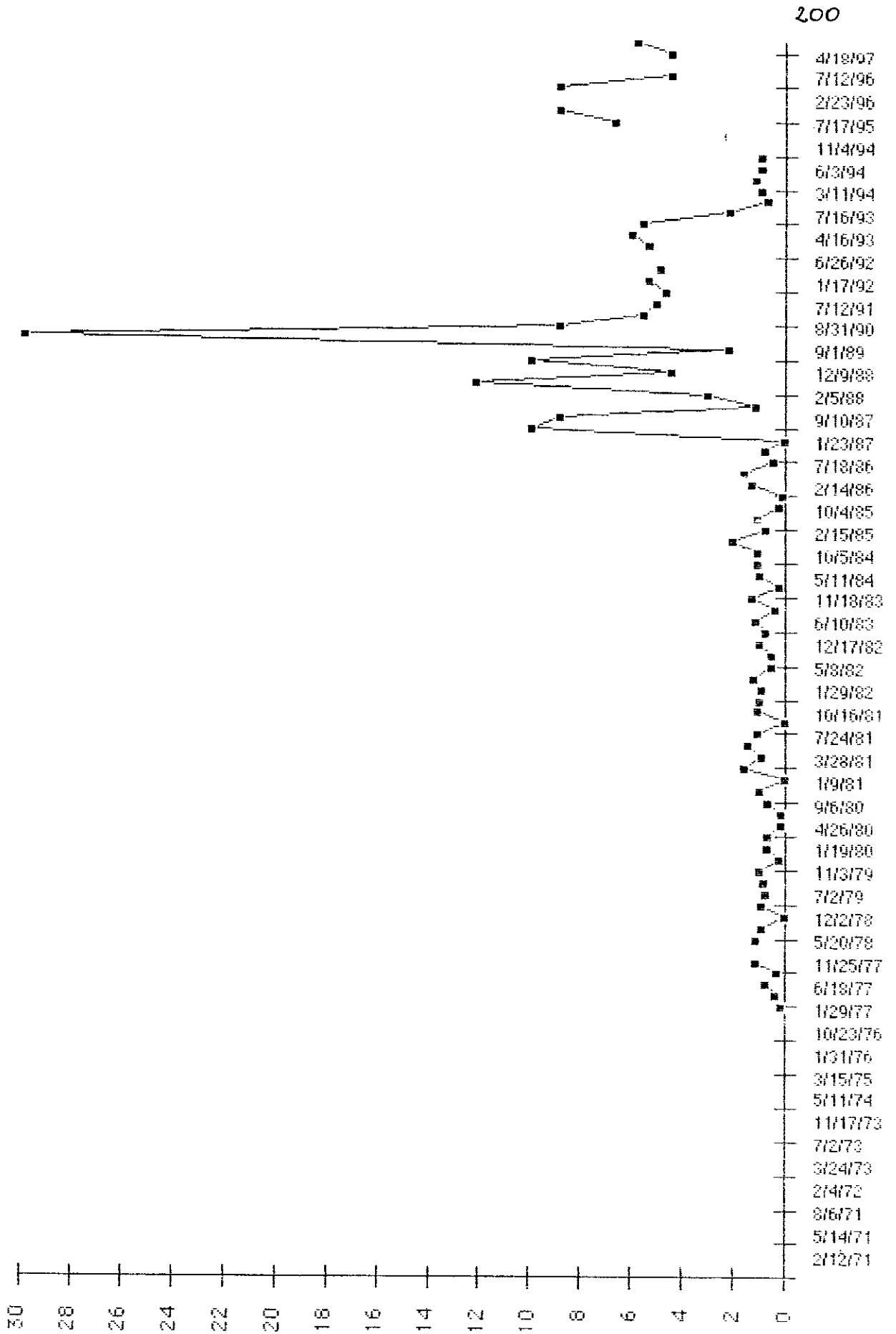
# POZO ANEXO 1

COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )



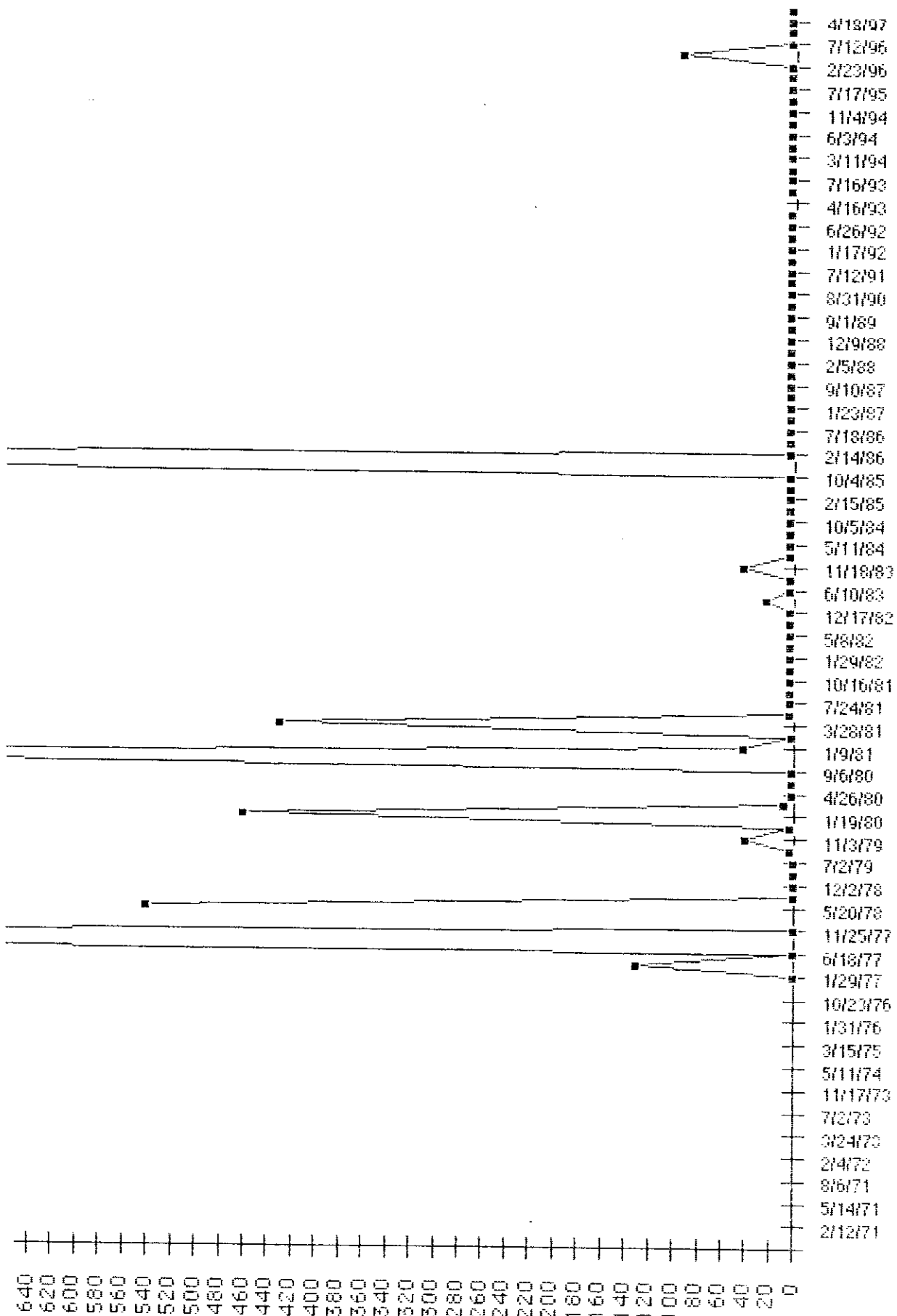


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

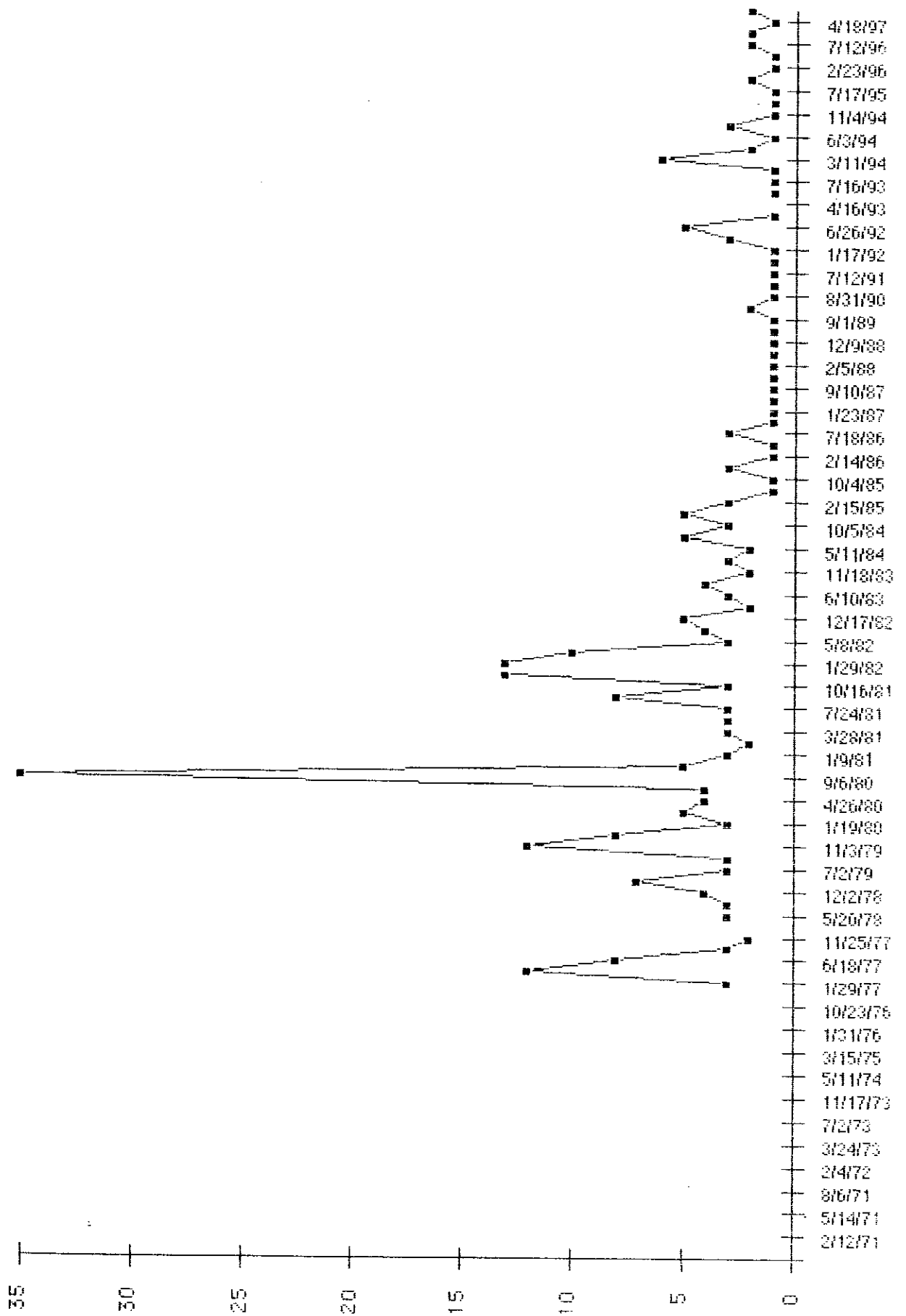


# POZO ANEHO 2

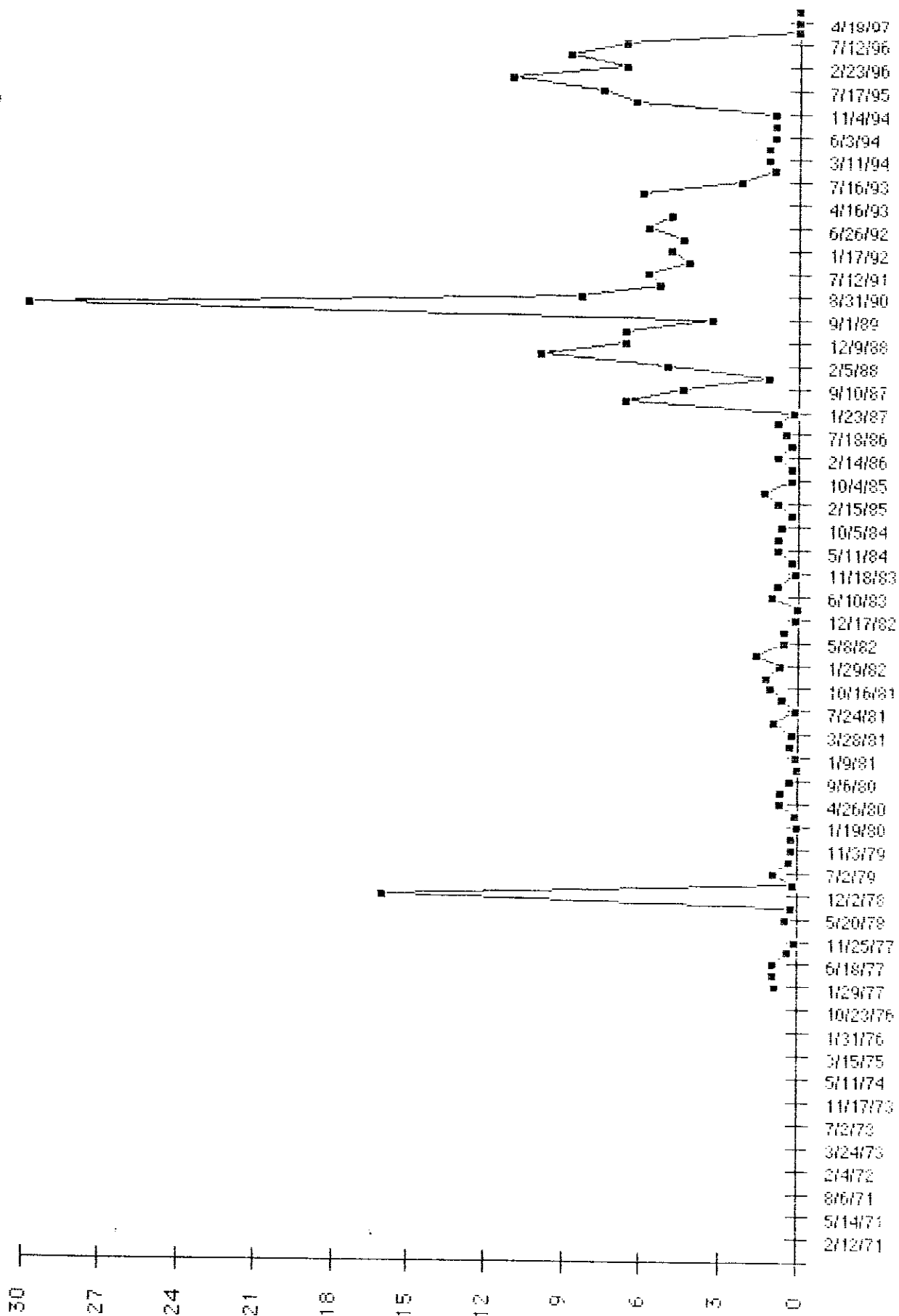
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

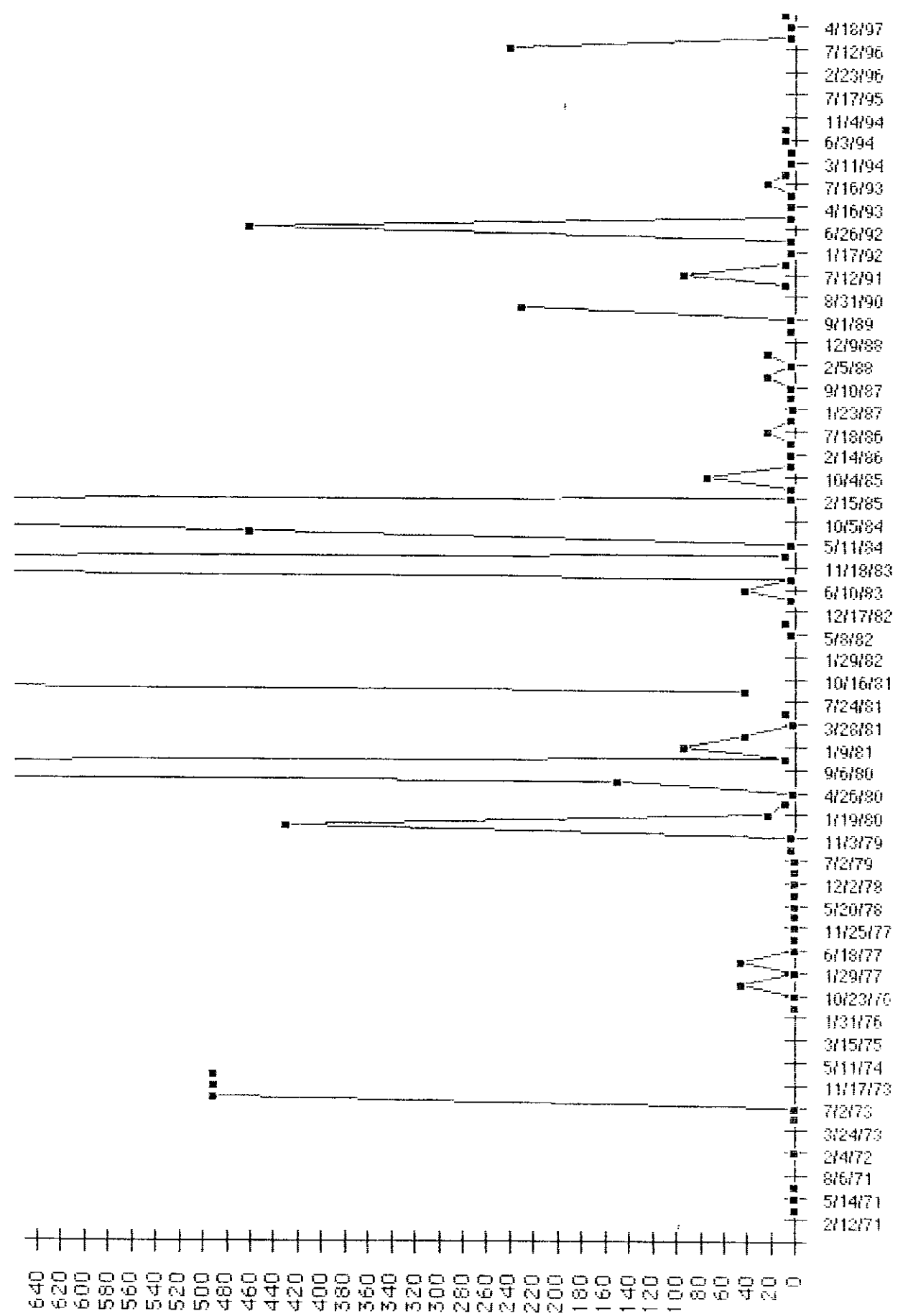


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

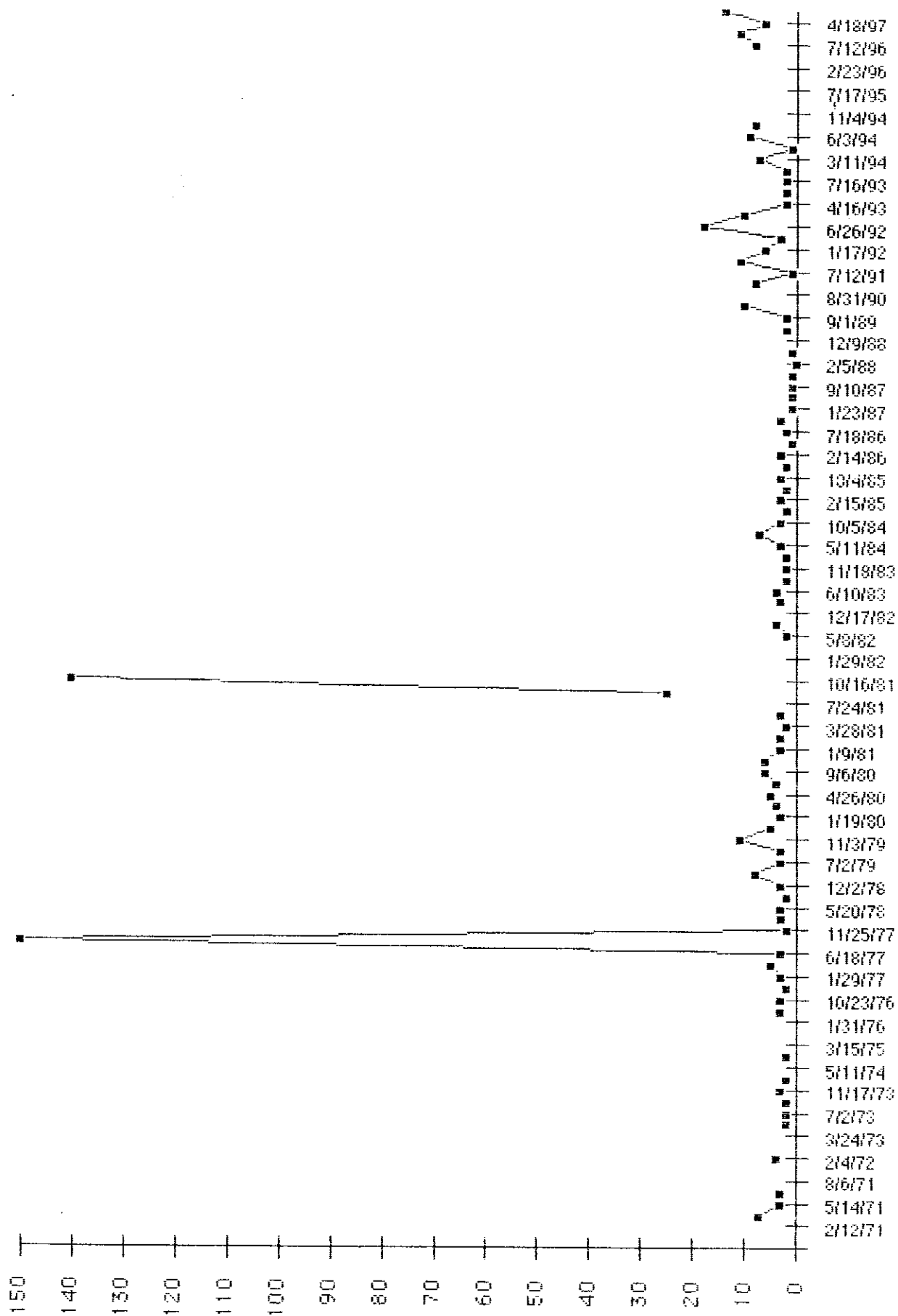


**DIAMANTE 1**

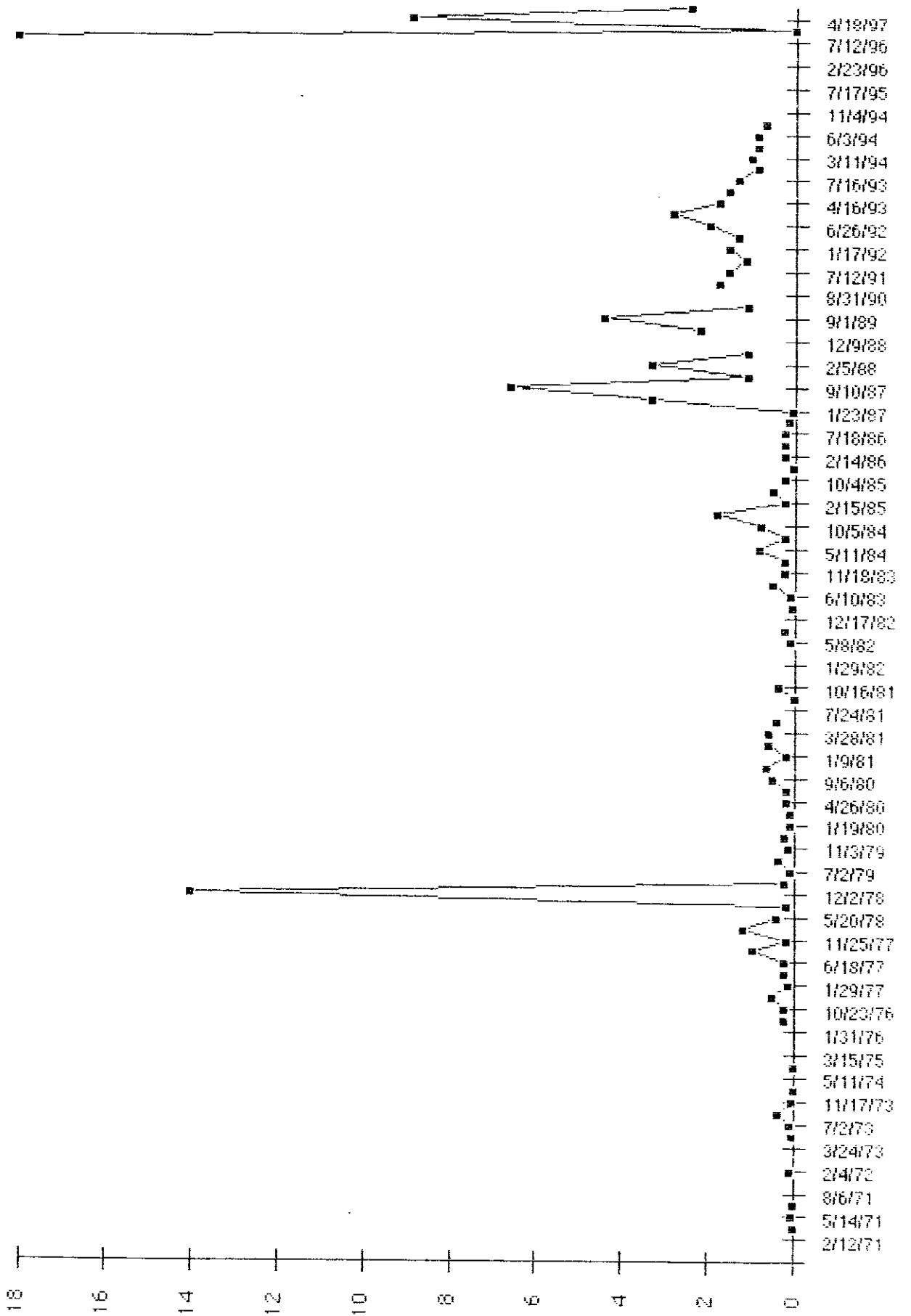
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

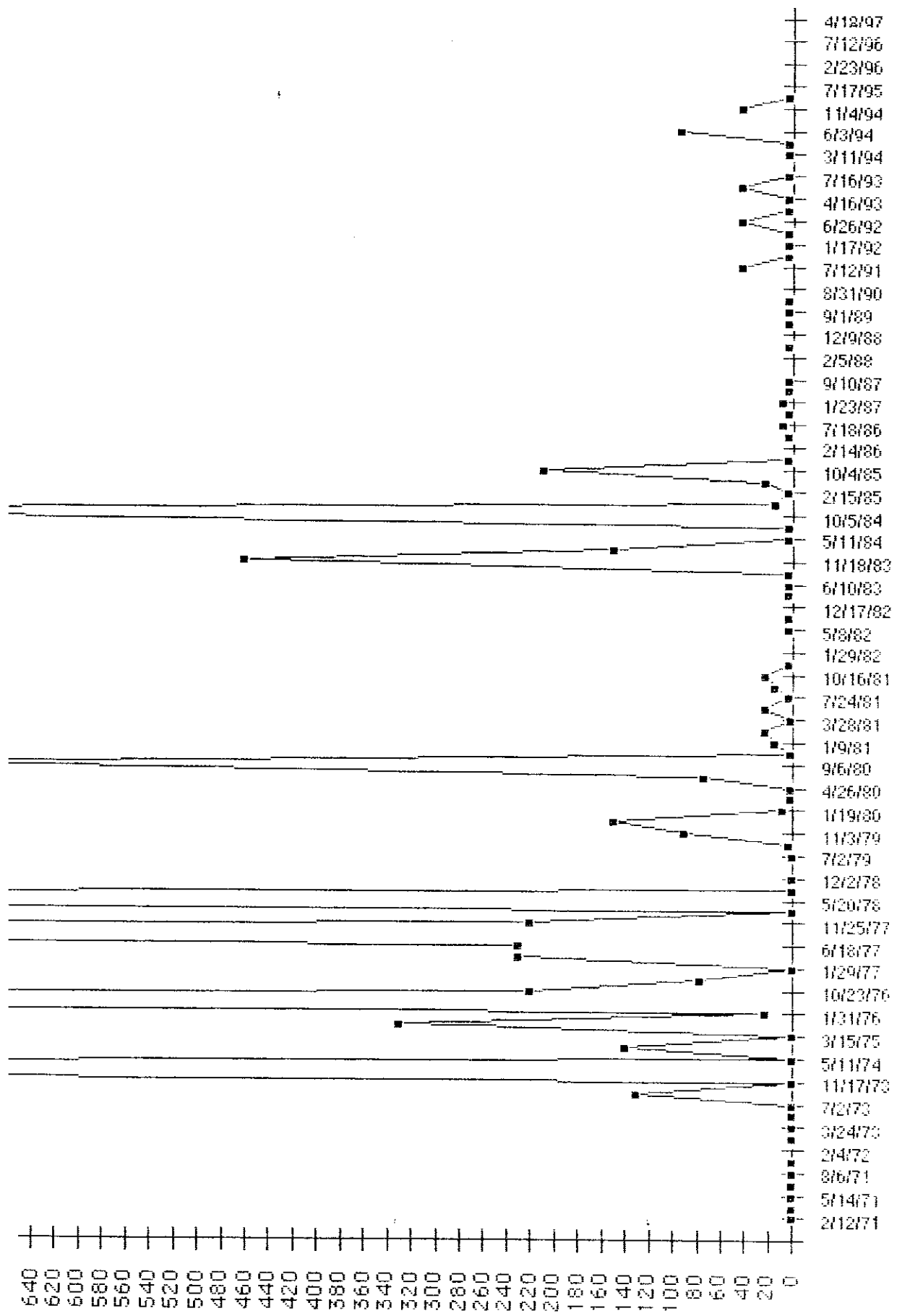


NITRATES (NO3) - (mg/L)

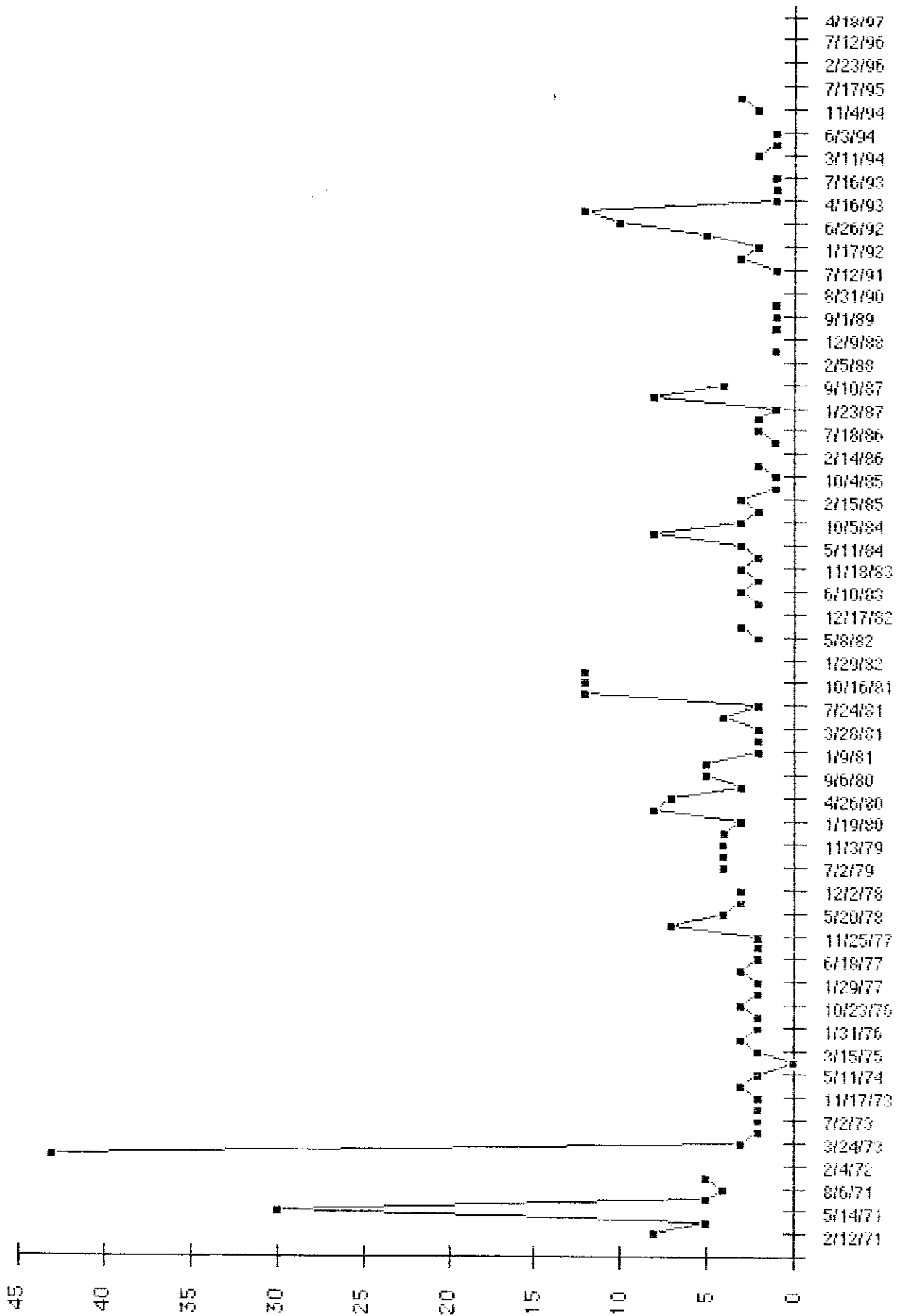


**DIAMANTE 3**

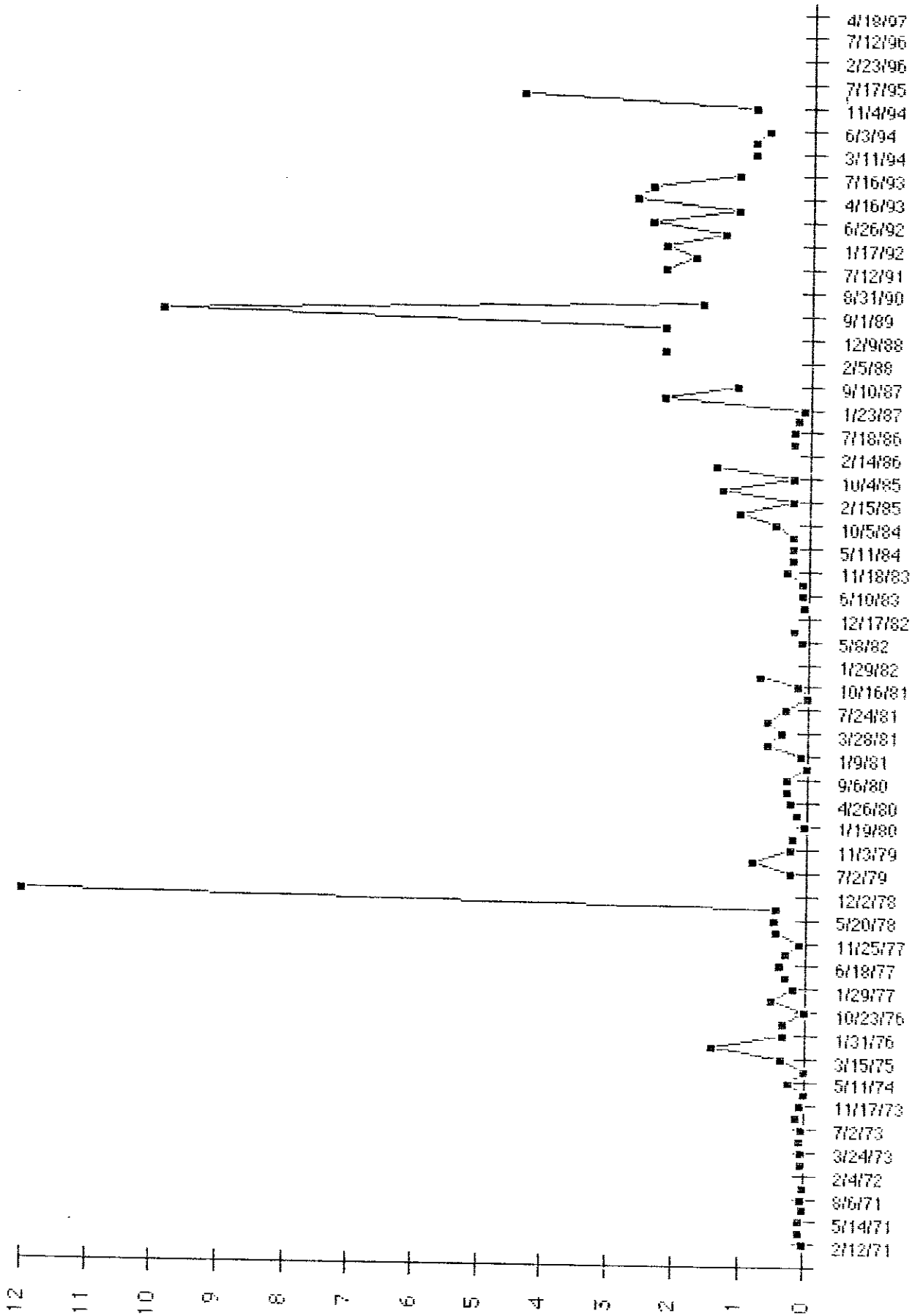
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

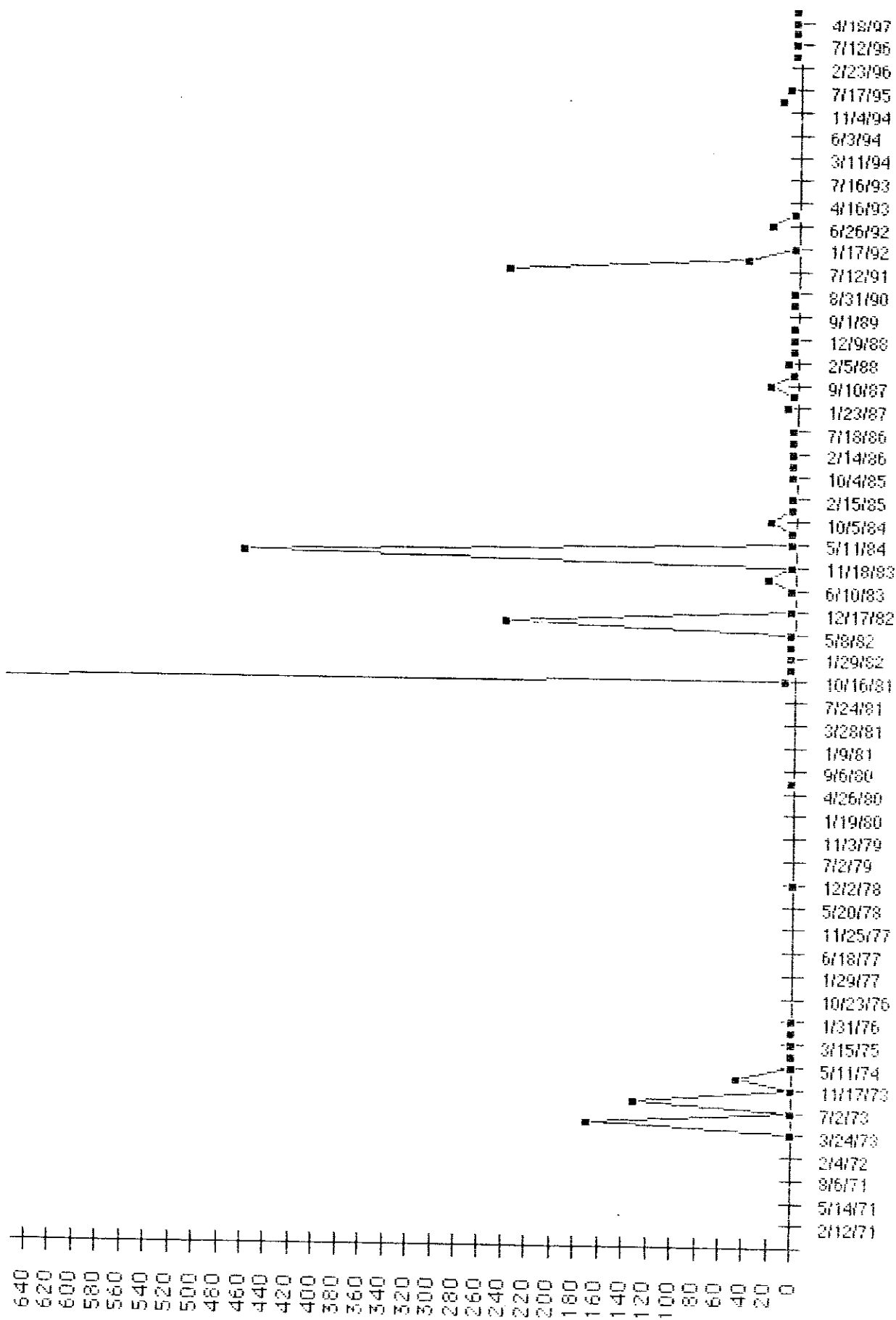


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

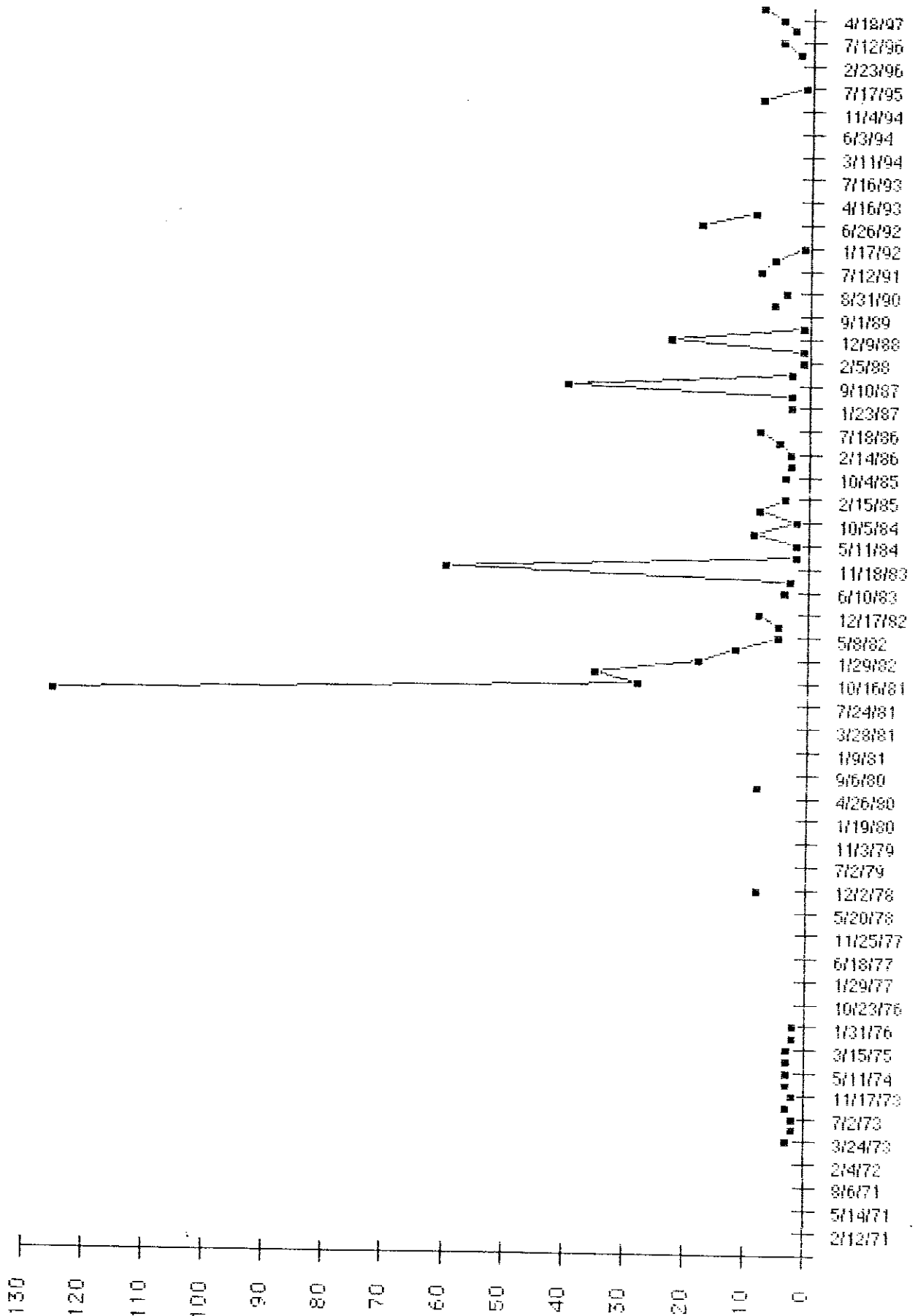


**DIAMANTE 5**

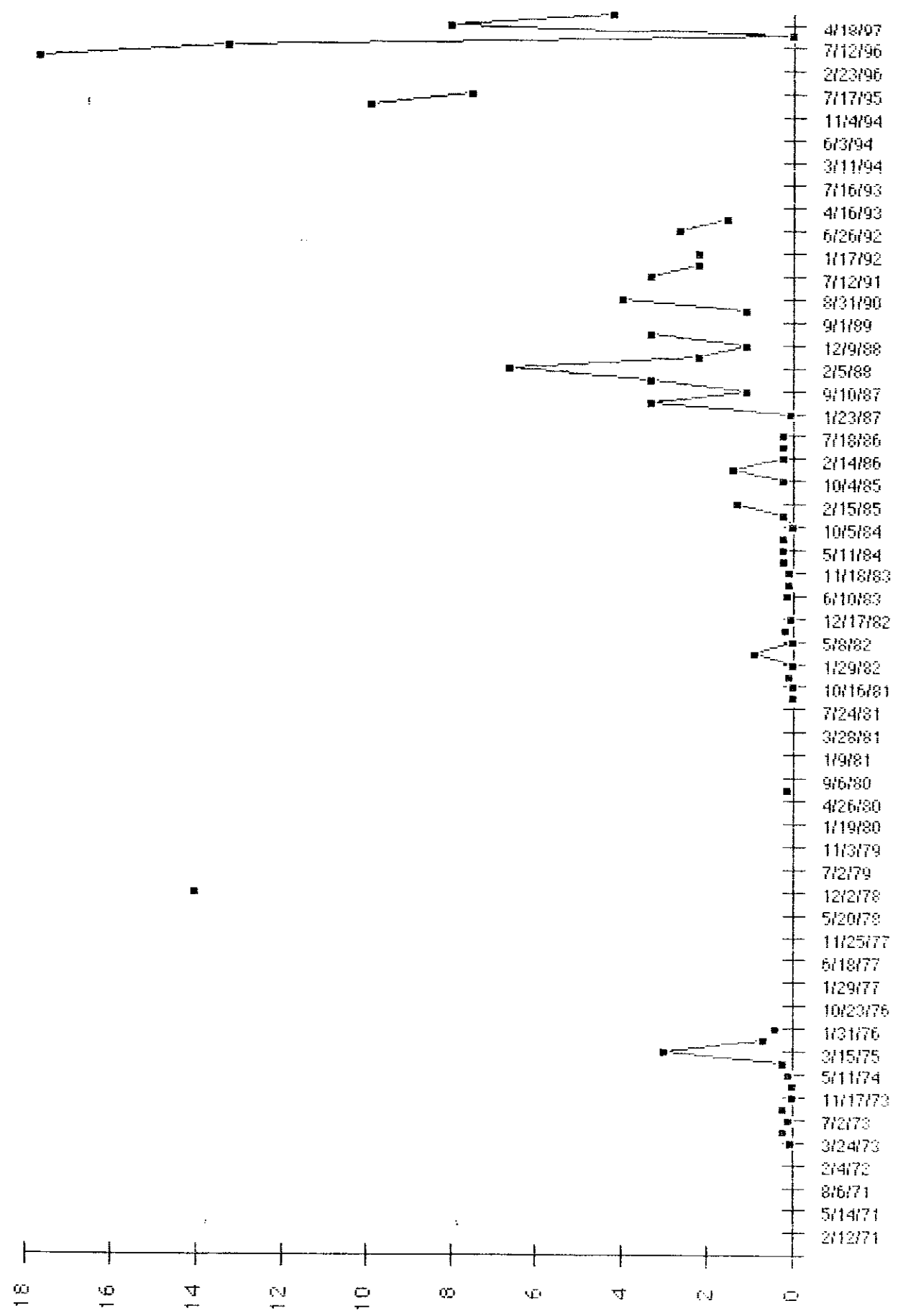
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

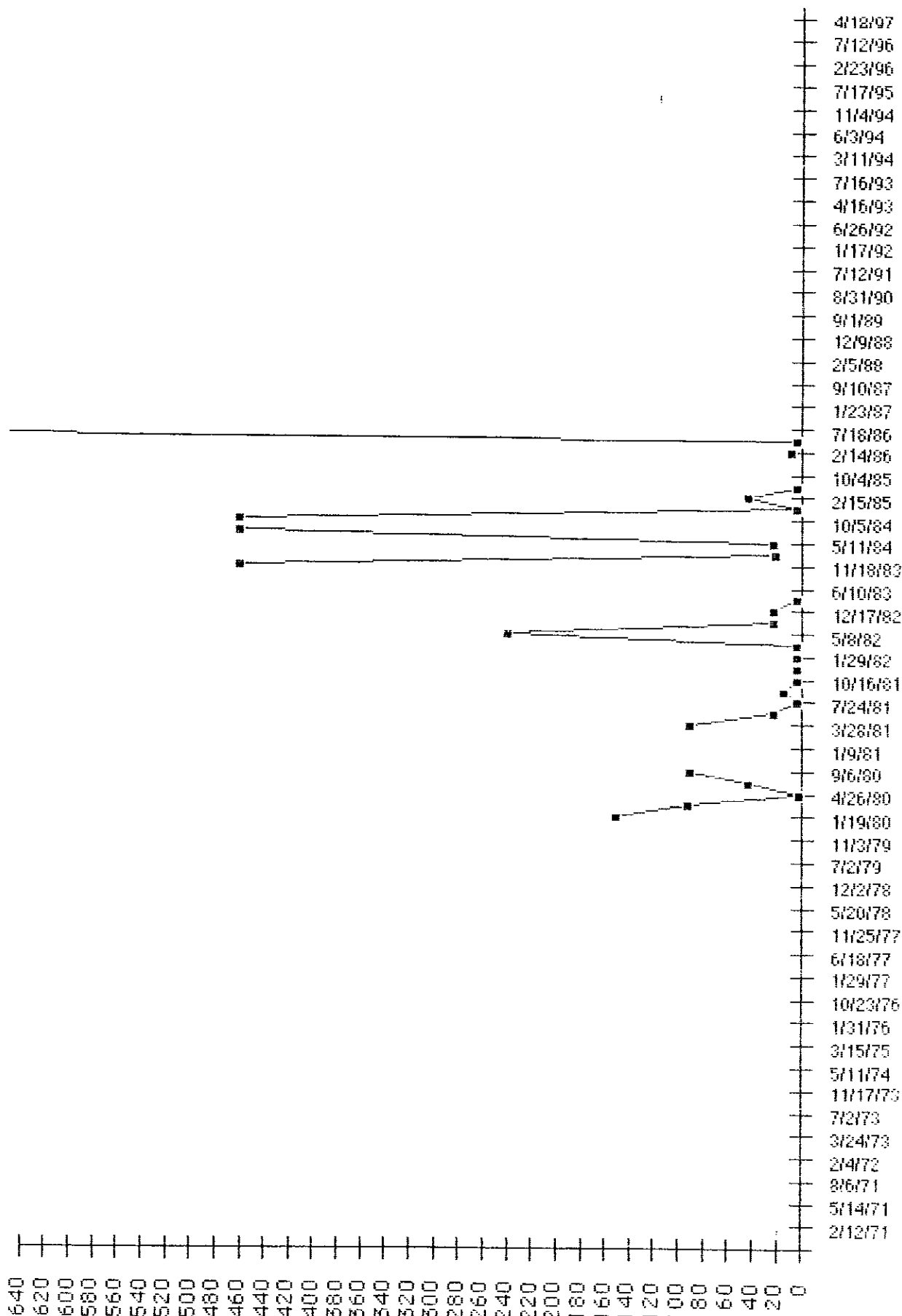


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

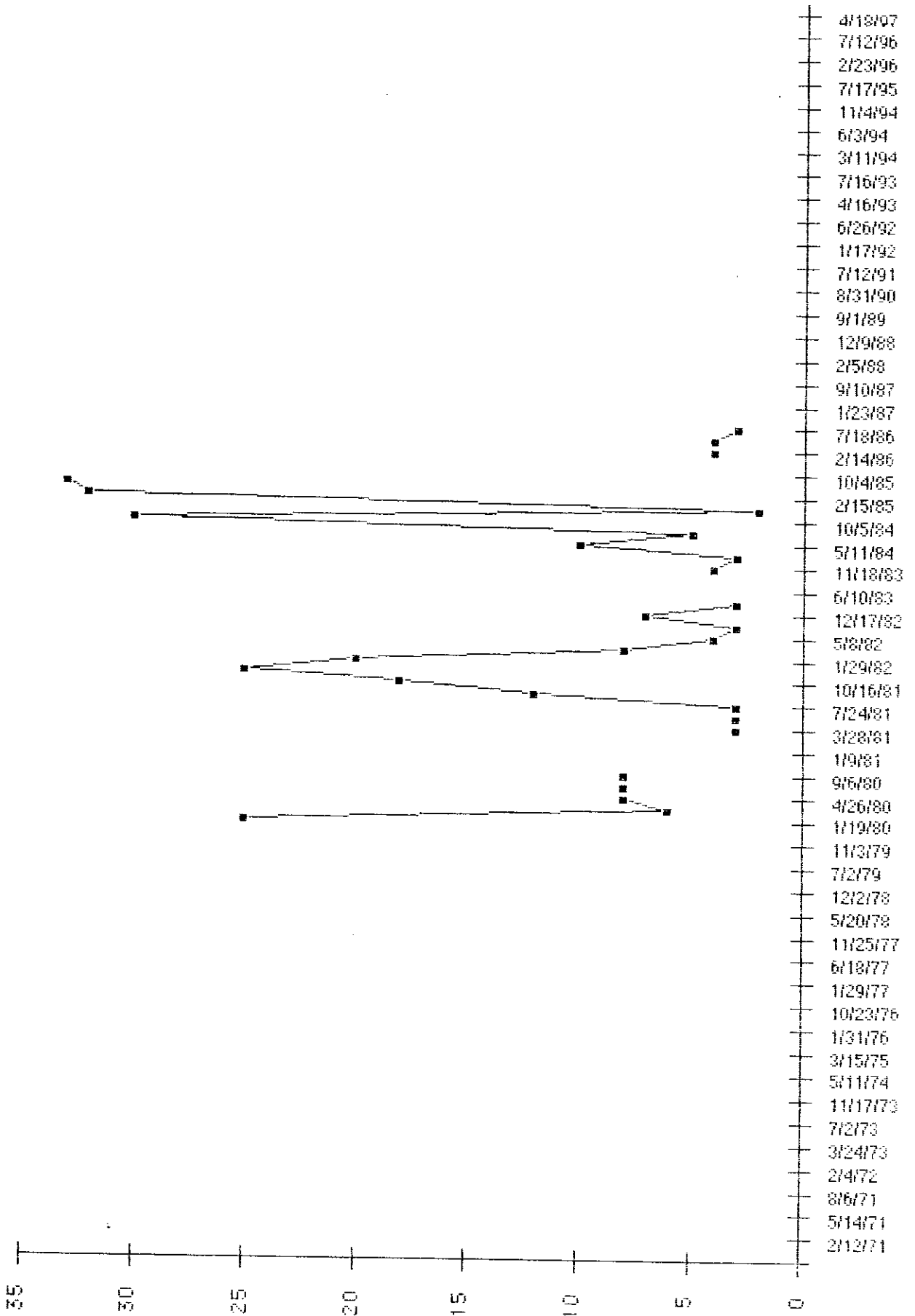


# DIAMANTE 6

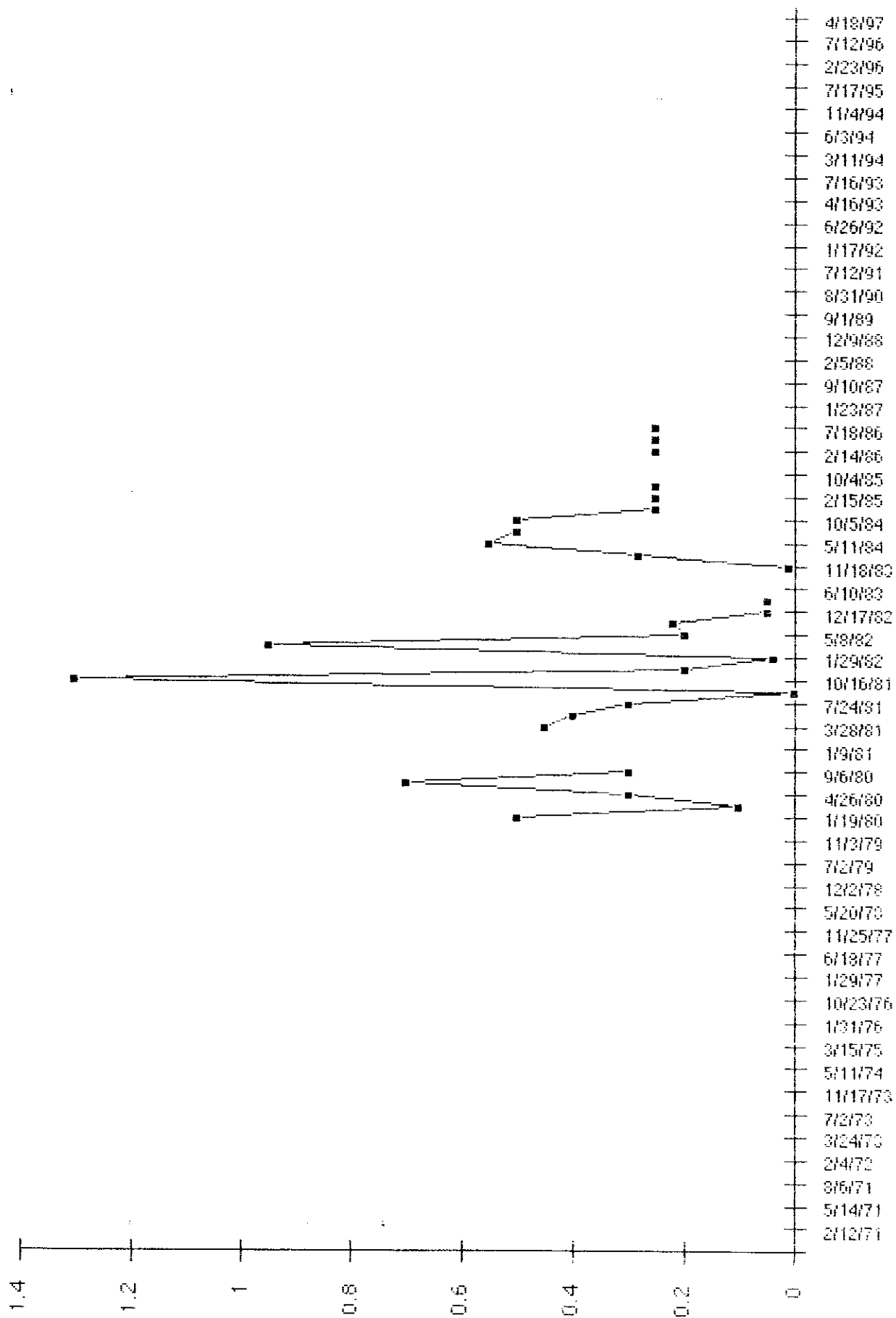
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

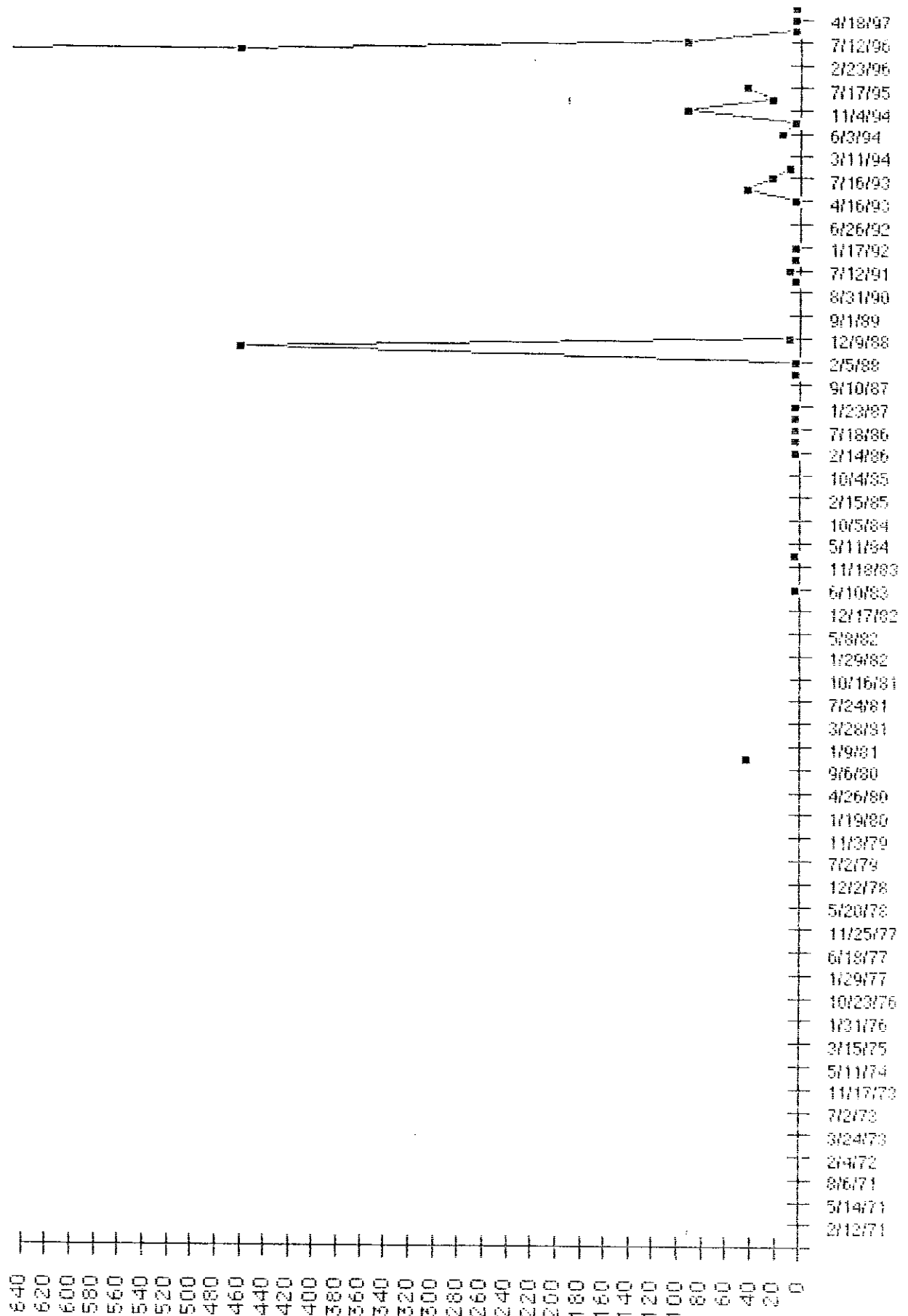


NITRATOS (NO3) - (mg/L)



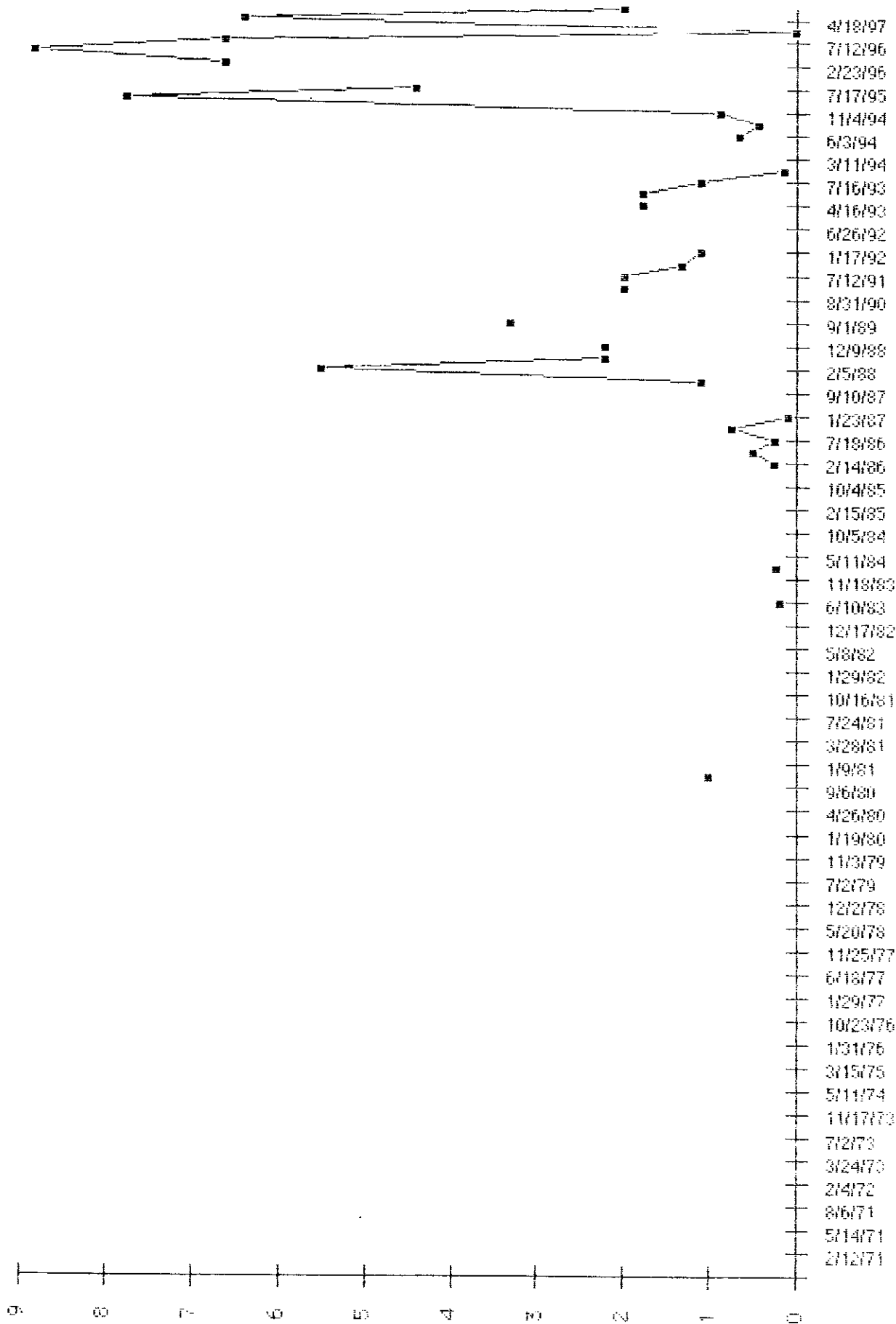
# DIAMANTE 7

COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )



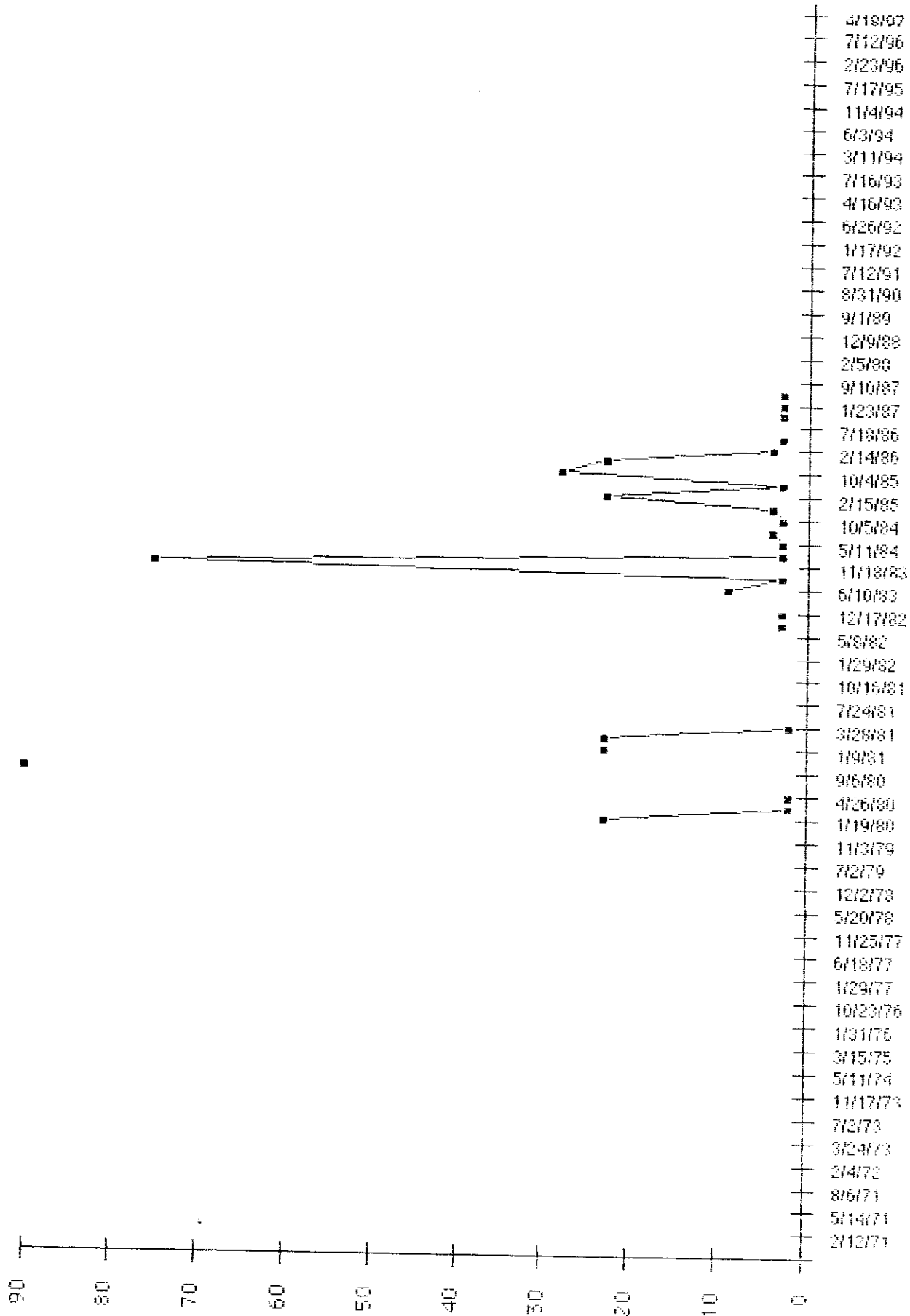


NITRATES (NO3) - (mg/L)

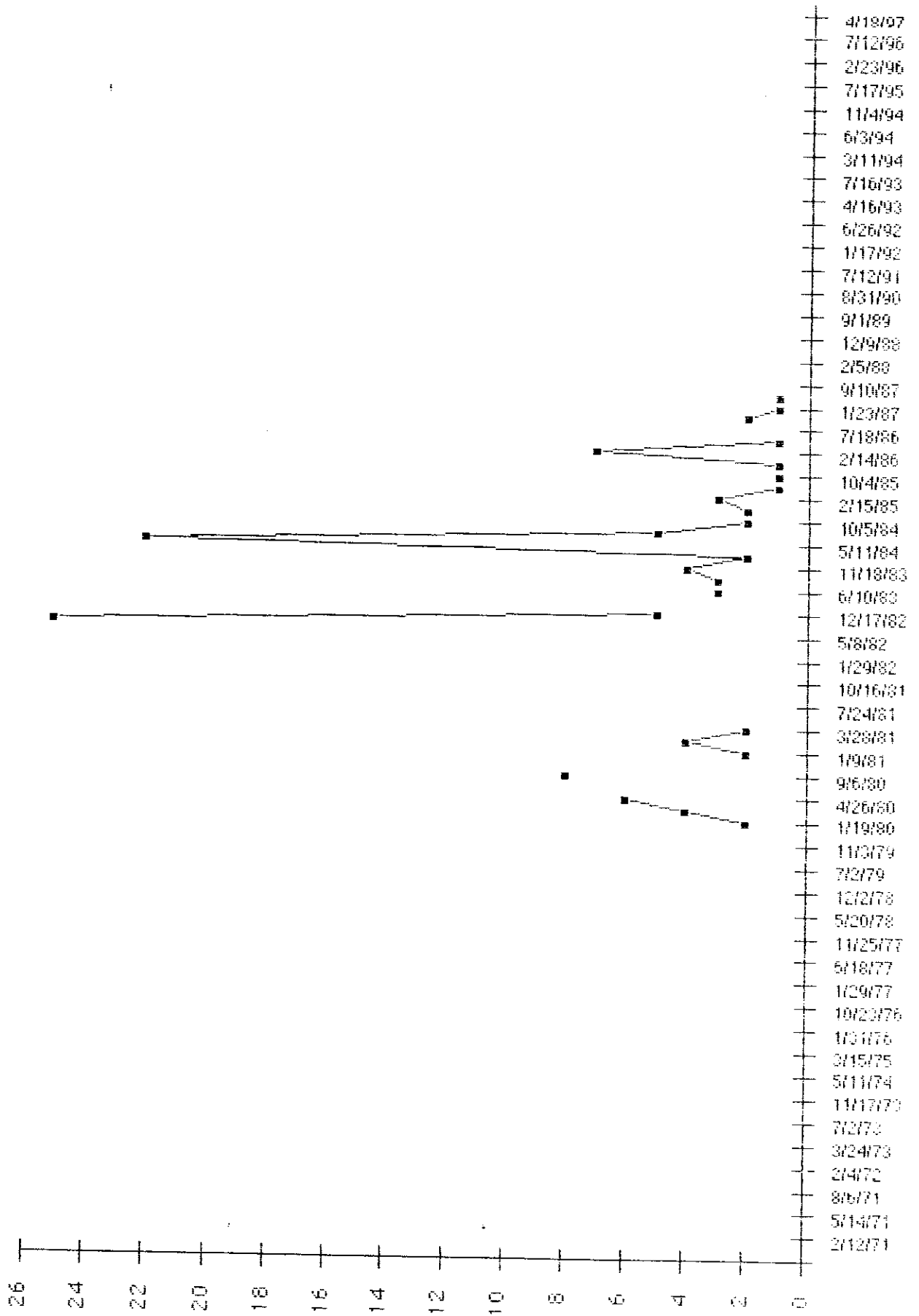


**DIAMANTE 8**

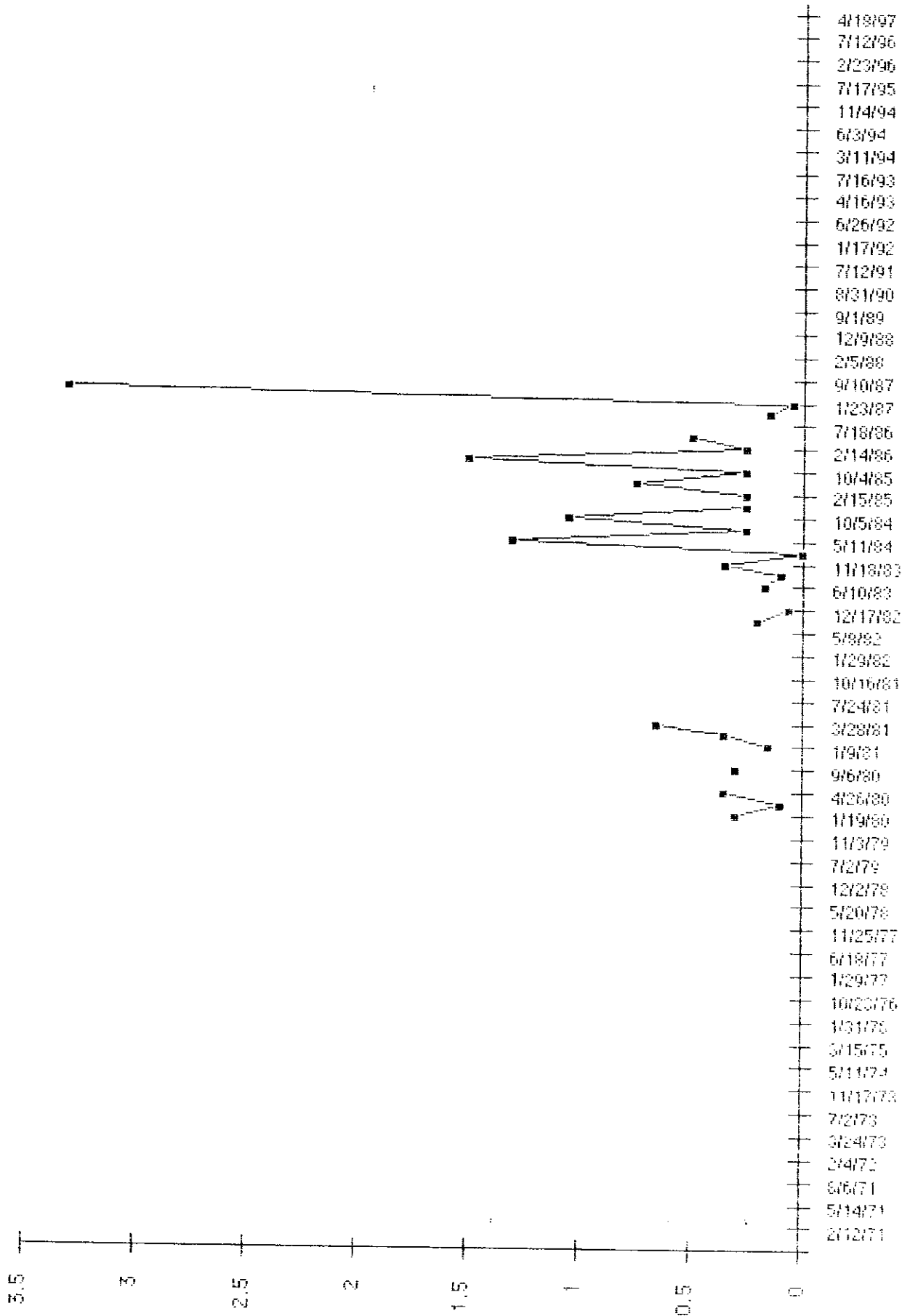
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AERIGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

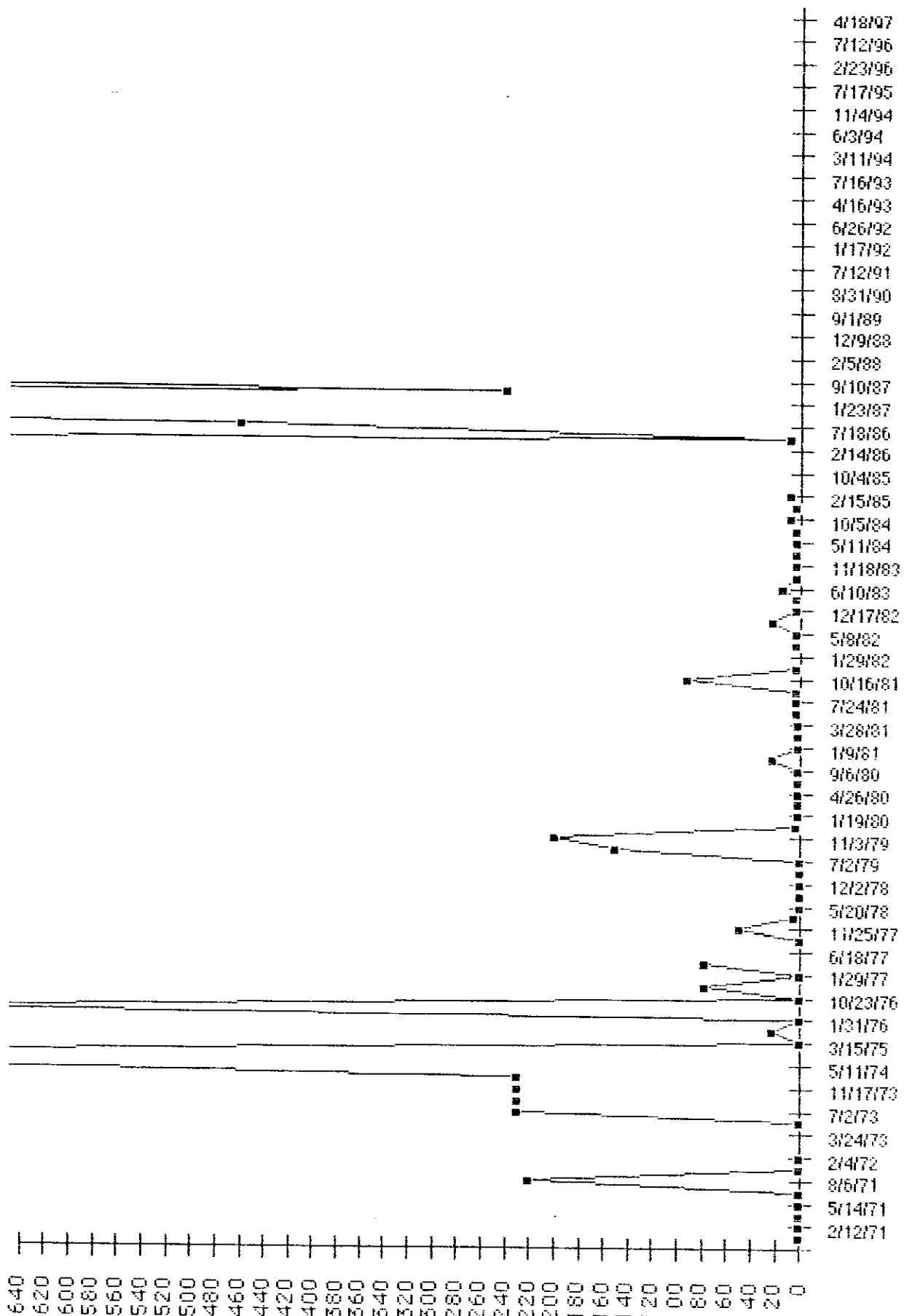


NITRATES (NO3) - (mg/L)

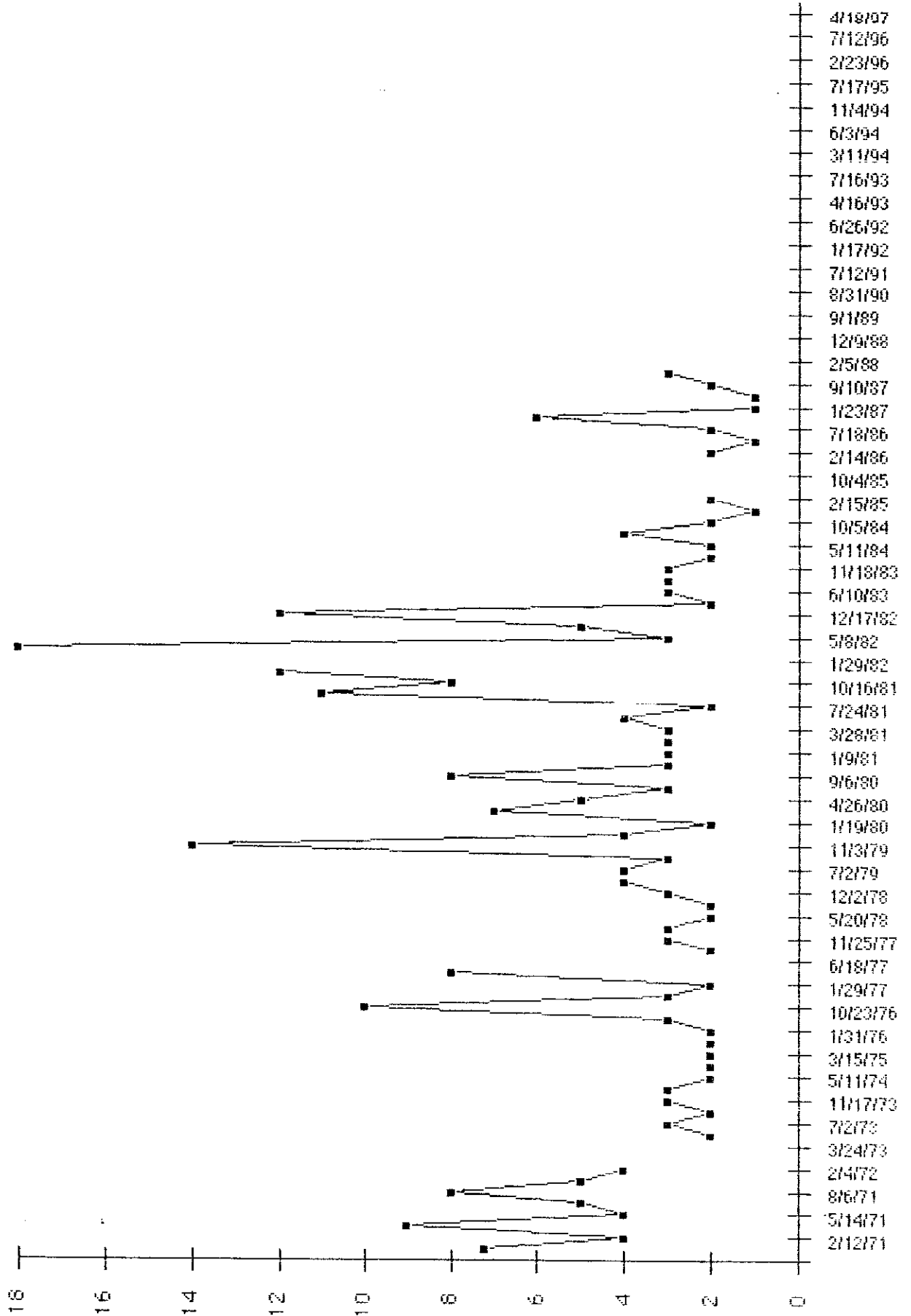


# **NACIMIENTO**

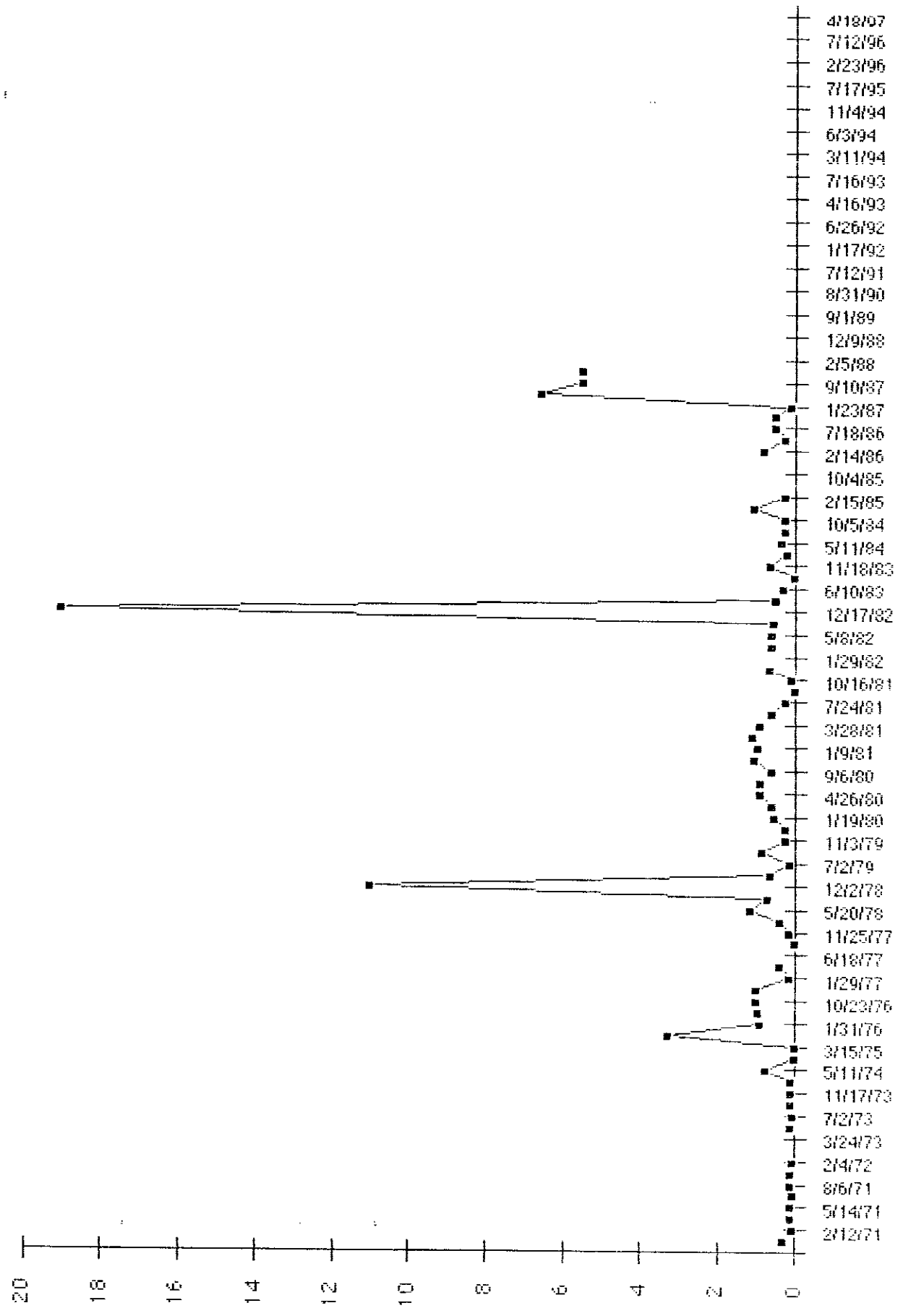
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )



NITRATOS (NO3) - (mg/L)



# APENDICE 6

VALORES MAXIMOS DE PARAMETROS QUIMICO-  
SANITARIOS Y GRAFICOS

# POZO ANEHO I

## EXAMEN BACTERIOLOGICO

NUMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES / 100CMS  
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)

11/25/77 4/27/79 1/19/80 6/14/80

49 222 9 23

## EXAMEN QUIMICO SANITARIO

COLOR - (UNIDADES)

NITRITOS (NO<sub>2</sub>) - (mg/L)

NITRATOS (NO<sub>3</sub>) - (mg/L)

FLUORUROS (F<sup>-</sup>) - (mg/L)

SULFATOS (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) - (mg/L)

DUREZA - (mg/L)

3/19/77 10/2/80 5/11/84

15 450 30

6/10/88 12/15/89

12.1 29.7



POZO ANEHO 2

EXAMEN BACTERIOLOGICO

3/19/77 10/8/77 5/20/78 11/3/79

NUMERO MAS PROBABLE DE GERMINES COLIFORMES / 100CMS  
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)

130	24,000	540	40
-----	--------	-----	----

EXAMEN QUIMICO SEMITRABO

COLOR - (UNIDADES)

9/6/80			
35			

NITRIDOS (NO2) - (mg/L)

12/2/78	12/15/89		
16	29.7		

NITRATOS (NO3) - (mg/L)


FLUORUROS (F-) - (mg/L)


SULFATOS (SO4-) - (mg/L)


DUREZA - (mg/L)




<p>1. The number of units produced in the month of January is 10,000 units.</p> <p>2. The number of units produced in the month of February is 12,000 units.</p> <p>3. The number of units produced in the month of March is 15,000 units.</p> <p>4. The number of units produced in the month of April is 18,000 units.</p> <p>5. The number of units produced in the month of May is 20,000 units.</p> <p>6. The number of units produced in the month of June is 22,000 units.</p> <p>7. The number of units produced in the month of July is 25,000 units.</p> <p>8. The number of units produced in the month of August is 28,000 units.</p> <p>9. The number of units produced in the month of September is 30,000 units.</p> <p>10. The number of units produced in the month of October is 32,000 units.</p> <p>11. The number of units produced in the month of November is 35,000 units.</p> <p>12. The number of units produced in the month of December is 38,000 units.</p>
--

12/25/2019

# DIAMANTE I

## EXAMEN BACTERIOLOGICO

NUMERO MAS PROBABLE DE GERMESES COLIFORMES / 100CM3  
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)

9/22/73      11/17/75      2/9/74      8/30/74

## EXAMEN QUIMICO-SANITARIO

COLOR - ( UNIDADES )

NITRITOS (NO2) - (mg/L)

NITRATOS (NO3) - (mg/L)

FLUORUROS (F-) - (mg/L)

SULFATOS (SO4-) - (mg/L)

DUREZA - (mg/L)

	490	490	490	790
10/8/77	9/18/81	10/16/81	6/26/92	
150	25	140	18	
12/2/78	7/12/96			
14	18			









6/20/97

1

DIAMANTE 3

EXAMEN BACTERIOLOGICO		9/22/73	2/9/74	8/30/74	10/25/75
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMEES COLIFORMES / 100CM3					
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)					
		130	2,400	140	330
EXAMEN QUIMICO SANITARIO					
COLOR - ( UNIDADES )					
		5/14/71	11/4/72		
		30	43		
NITRITOS (NO2-) - (mg/L)					
NITRATOS (NO3-) - (mg/L)					
		12/2/78			
		12			
FLUORUROS (F-) - (mg/L)					
SULFATOS (SO4-) - (mg/L)					
DUREZA - (mg/L)					









# DIAMANTE 5

		5/26/73	9/22/73	2/9/74	9/18/81
<b>EXAMEN BACTERIOLOGICO</b>					
<p style="text-align: center;"><b>NUMERO MAS PROBABLE DE BERMENES COLIFORMES / 100CMS COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)</b></p>					
		170	130	45	2,400
<b>EXAMEN QUIMICO SANITARIO</b>					
COLOR - ( UNIDADES )					
		9/18/81	10/16/81	12/11/81	1/29/82
		125	28	35	18
NITRITOS (NO2) - (mg/L)					
		12/2/78			
		14			
NITRATOS (NO3) - (mg/L)					
		5/29/87			
		19			
FLUORUROS (F-) - (mg/L)					
SULFATOS (SO4-) - (mg/L)					
PUREZA - (mg/L)					

10/16/81	7/9/82	6/10/83	8/7/83	1/20/84	7/13/84	10/5/84	2/14/86	1/23/87
9	240	4	23	460	4	21	4	9
11/18/83	9/10/87	12/9/88	6/26/92					
60	40	23	18					



# DIAMANTE 6

## EXAMEN DE BACTE RIOLÓGICO

NUMERO MAS PROBABLE DE GERMINES COLIFORMES / 100CM3  
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )

## EXAMEN QUÍMICO SANITARIO

COLOR - ( UNIDADES )

NITRITOS ( NO2 ) --- ( mg/L )

NITRATOS ( NO3 ) --- ( mg/L )

FLUORUROS ( F- ) --- ( mg/L )

SULFATOS ( SO4- ) --- ( mg/L )

DUREZA - ( mg/L )

1/19/80      2/23/80      6/14/80      -9/6/80

150	93	43	90
-----	----	----	----

1/19/80	10/16/81	12/11/81	1/29/82
---------	----------	----------	---------

25	18	25	20
----	----	----	----



7/15/84 10/5/84 2/15/85 2/14/86 7/18/86

460	460	43	9	2,400




# DIAMANTE 7

		10/2/80	6/10/83	1/20/84	4/25/86
<b>EXAMEN BACTERIOLOGICO</b>					
NUMERO MAS PROBABLE DE GERMINES COLIFORMES / 100CM3					
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)	43	120	4	4	
<b>EXAMEN QUIMICO SANITARIO</b>					
COLOR - (UNIDADES)	10/2/80	6/10/83	10/29/87	11/15/91	
NITRITOS (NO2) - (mg/L)	450	120	16	18	
NITRATOS (NO3) - (mg/L)					
FLUORUROS (F-) - (mg/L)					
SULFATOS (SO4--) - (mg/L)					
DUREZA - (mg/L)					





# DIAMANTE 8

		1/19/80	9/6/80	1/9/81	2/7/81
<b>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</b>					
<b>NUMERO MAS PROBABLE DE GERMINES COLIFORMES / 100CM3</b> <b>COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)</b>		23	90	23	23
<b>EXAMEN QUIMICO-SANITARIO</b>					
<b>COLOR - ( UNIDADES )</b>		7/9/82	5/11/84		
<b>NITRITOS (NO2) - (mg/L)</b>		25	22		
<b>NITRATOS (NO3) - (mg/L)</b>					
<b>FLUORUROS (F-) - (mg/L)</b>					
<b>SULFATOS (SO4-) - (mg/L)</b>					
<b>DUREZA - (mg/L)</b>					



# NACIMIENTO

## EXAMEN BACTERIOLÓGICO

**NÚMERO MÁS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES / 100CM3**

**COLIFORMES (GRUPO COLI-AERÓGENOS)**

	8/6/71	7/2/73	9/22/73	11/17/73
	220	230	230	230

## EXAMEN QUÍMICO-SANITARIO

**COLOR - (UNIDADES)**

**NITRITOS (NO<sub>2</sub>) - (mg/L)**

**NITRATOS (NO<sub>3</sub>) - (mg/L)**

**FLUÓRIDOS (F-) - (mg/L)**

**SULFATOS (SO<sub>4</sub>) - (mg/L)**

**DUREZA - (mg/L)**

	3/12/62			
	18			
	12/17/82			
	19			

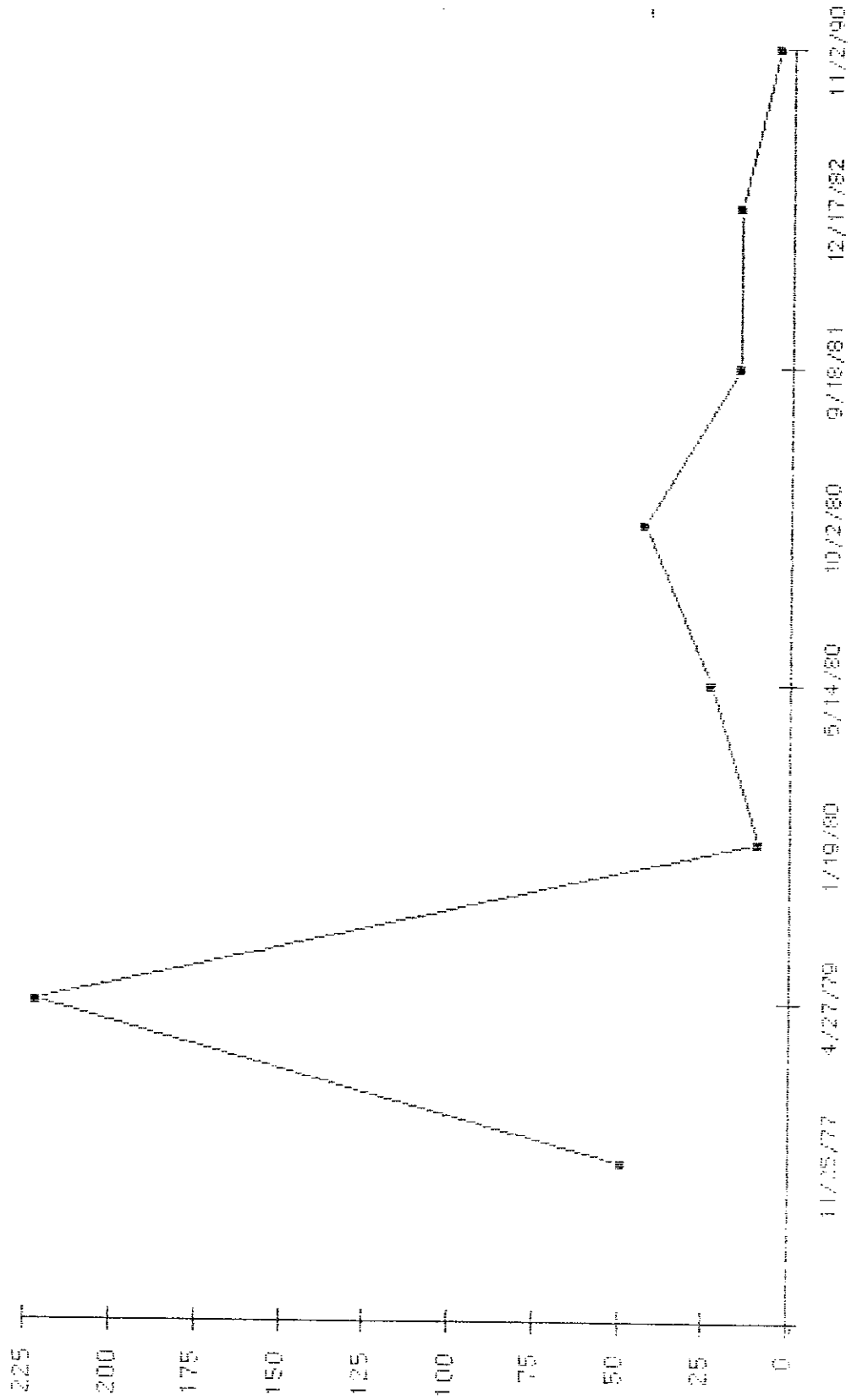




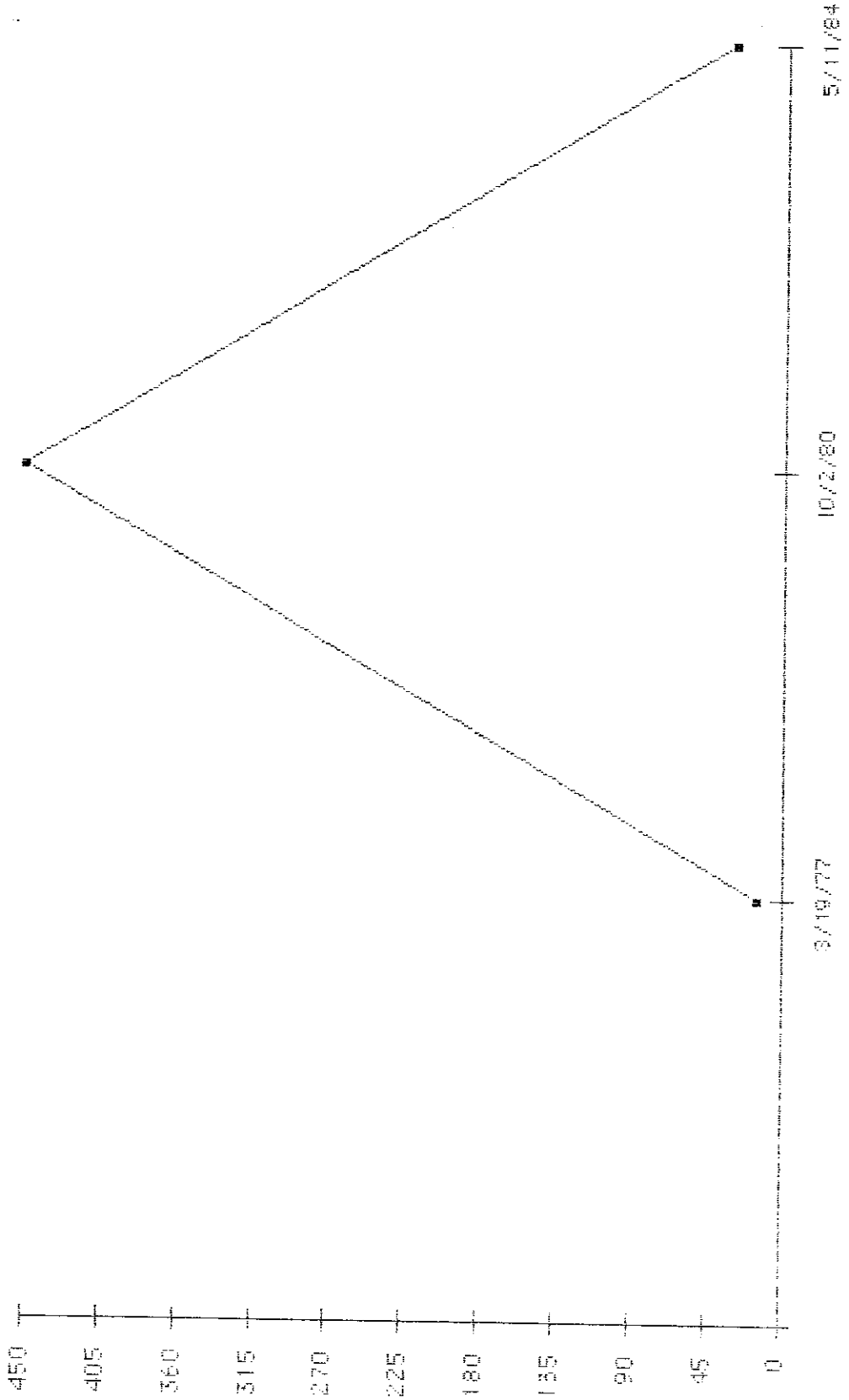


# POZO ANEHO 1

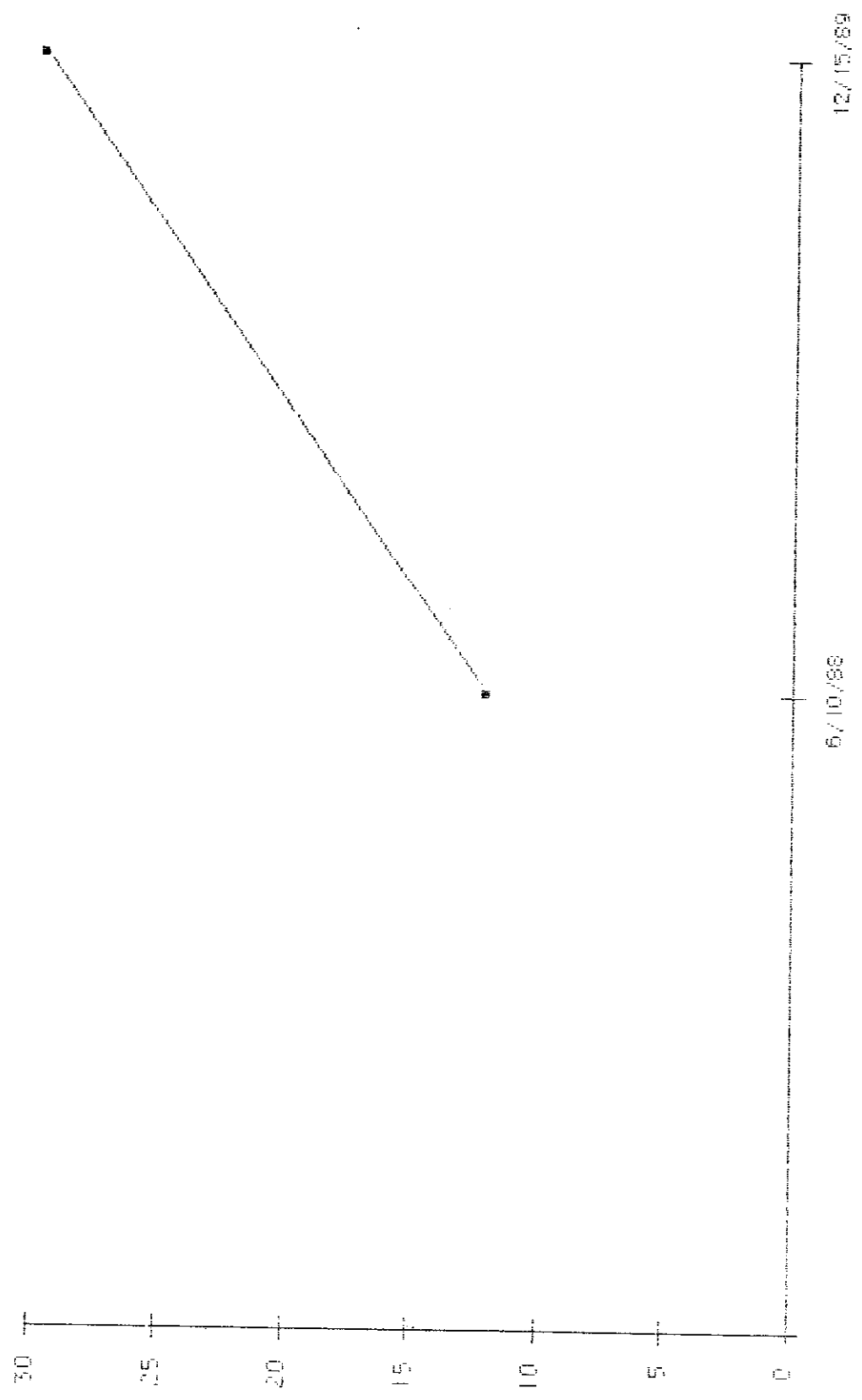
COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

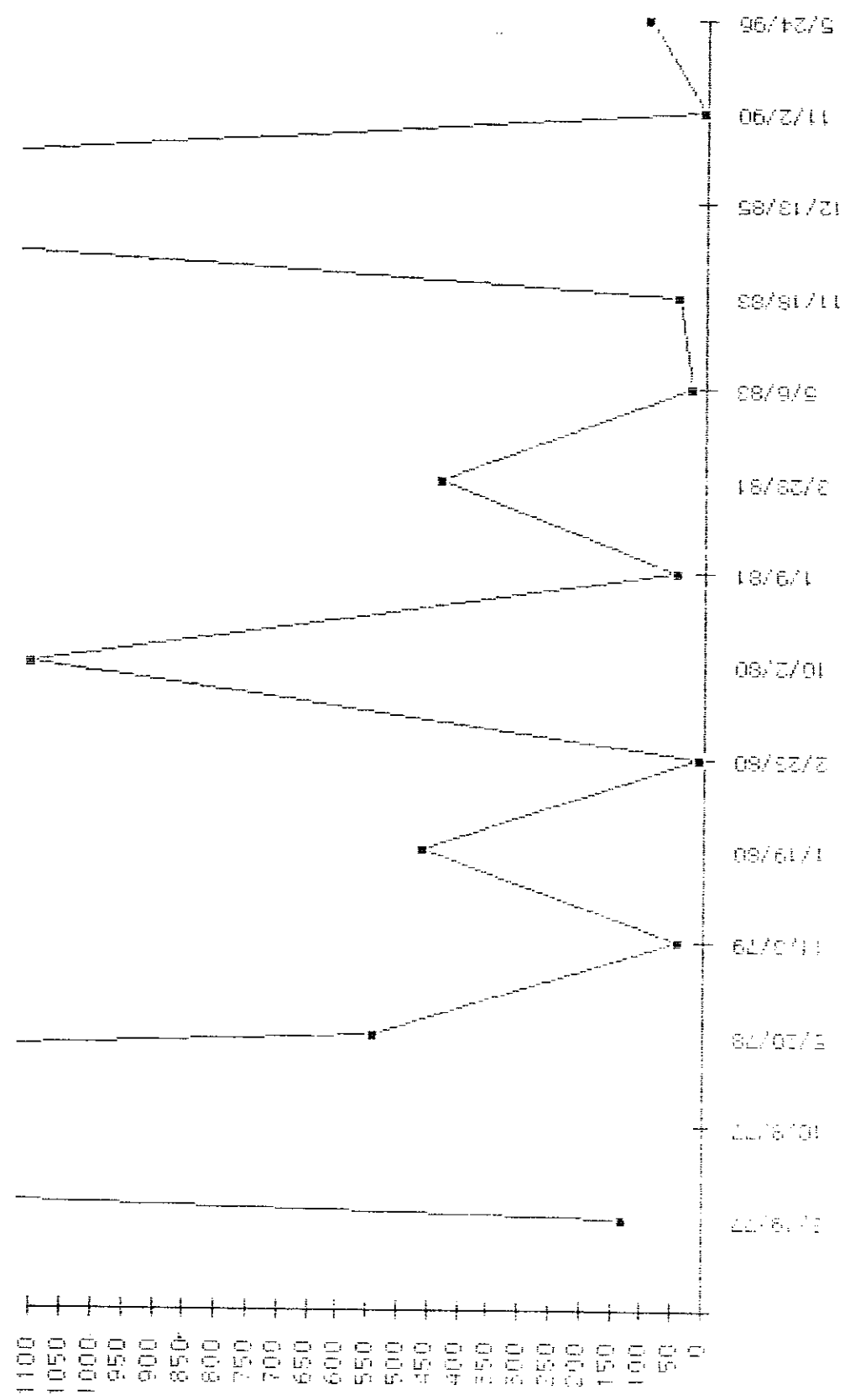


NITRATOS (NO<sub>3</sub>) - (mg/L)

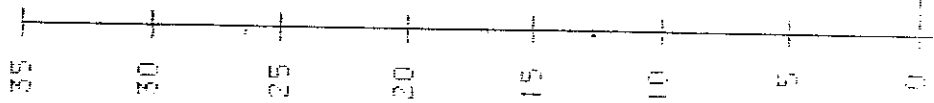


**POZO ANEXO 2**

COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )

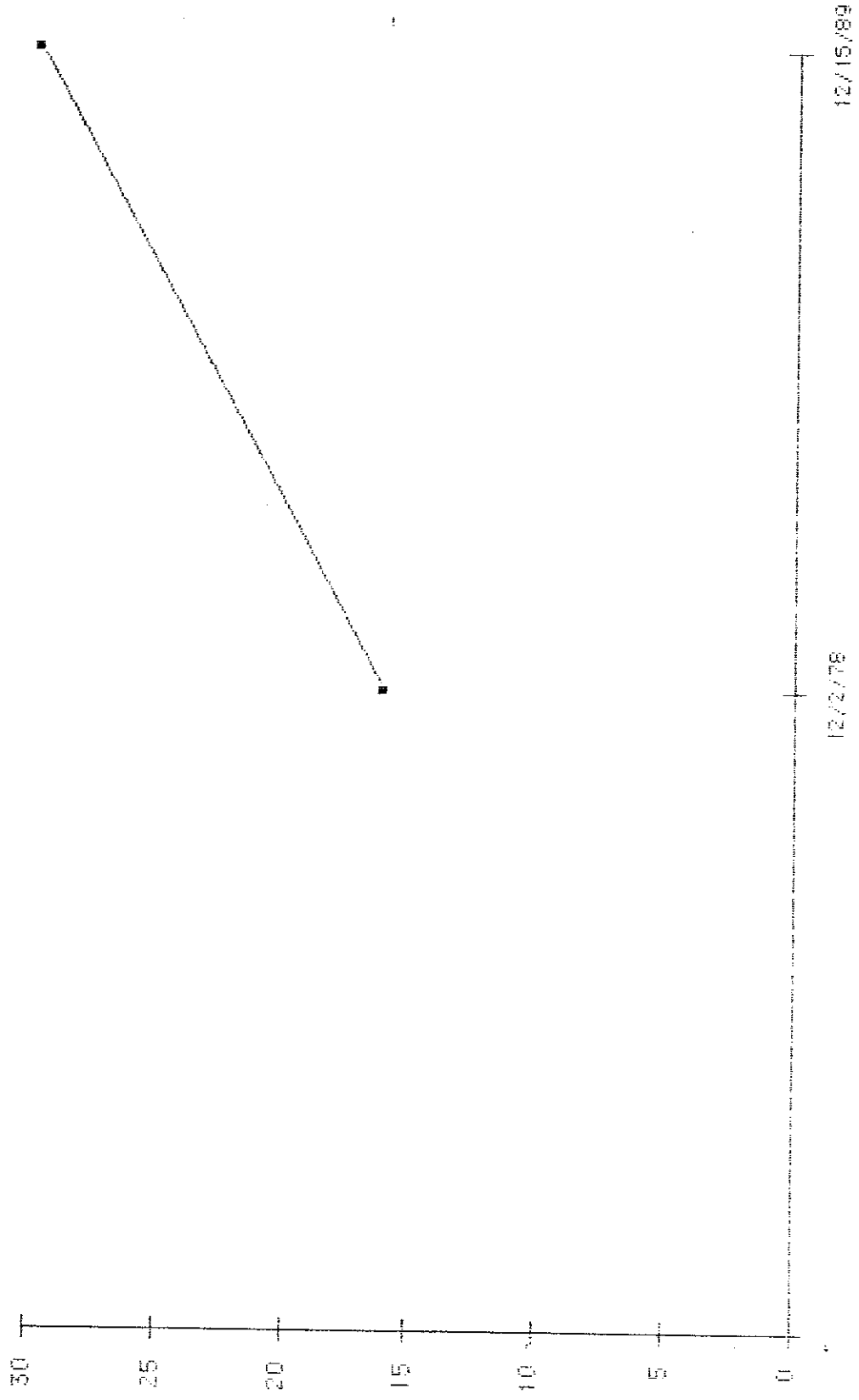


COLOR - ( UNIDADES )



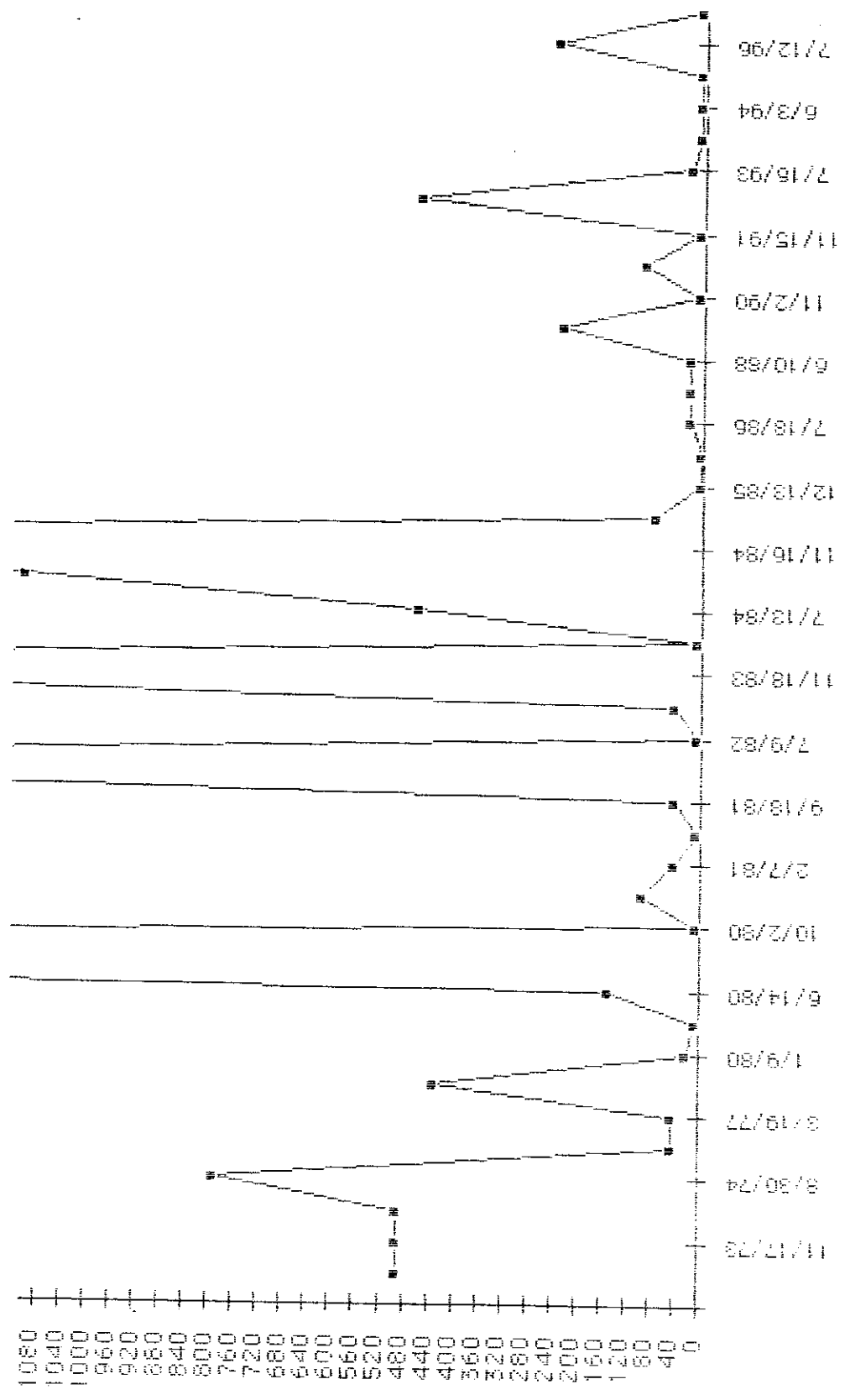
9/16/80

NITRATOS (NO3) - (mg/L)

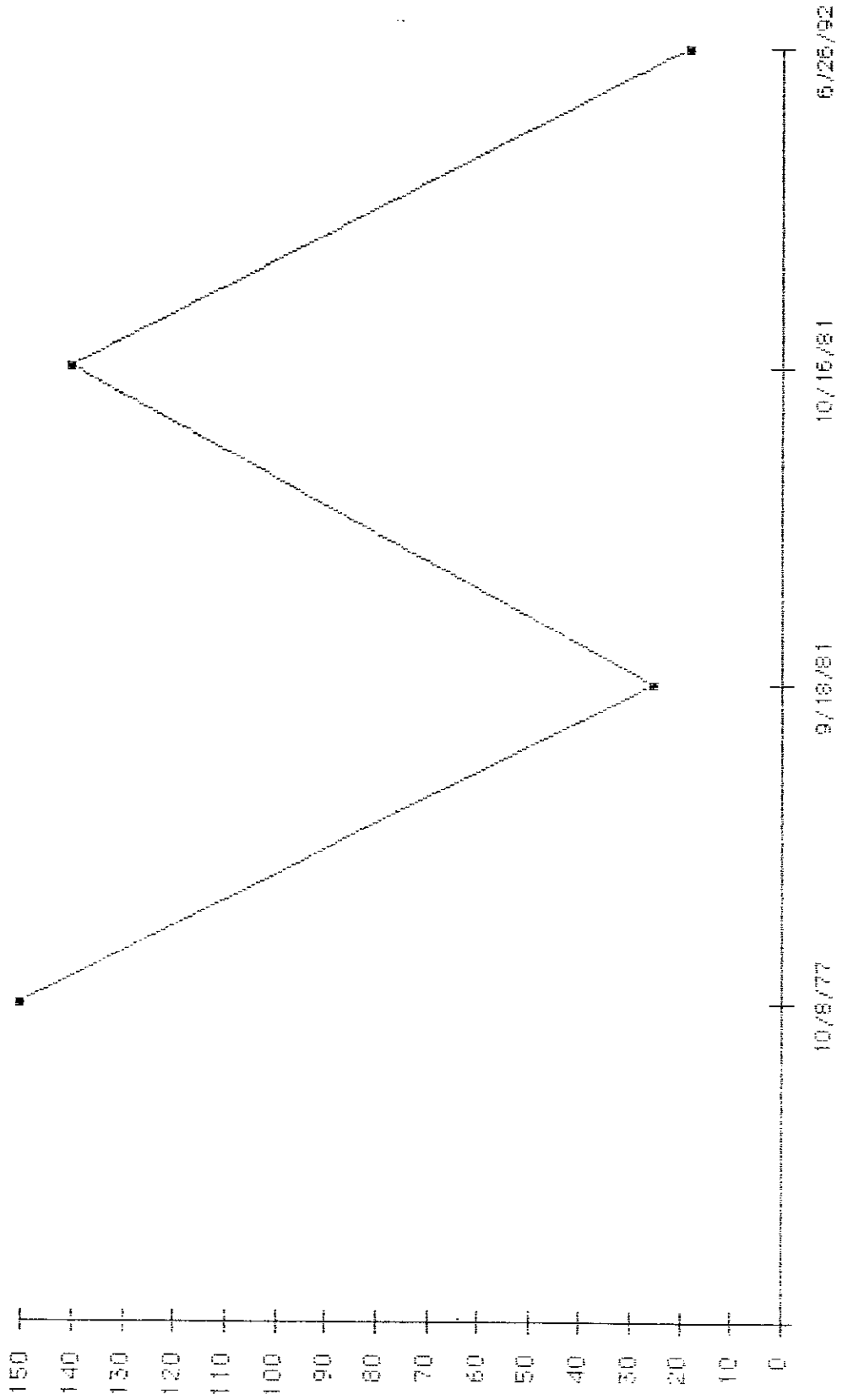


**DIAMANTE I**

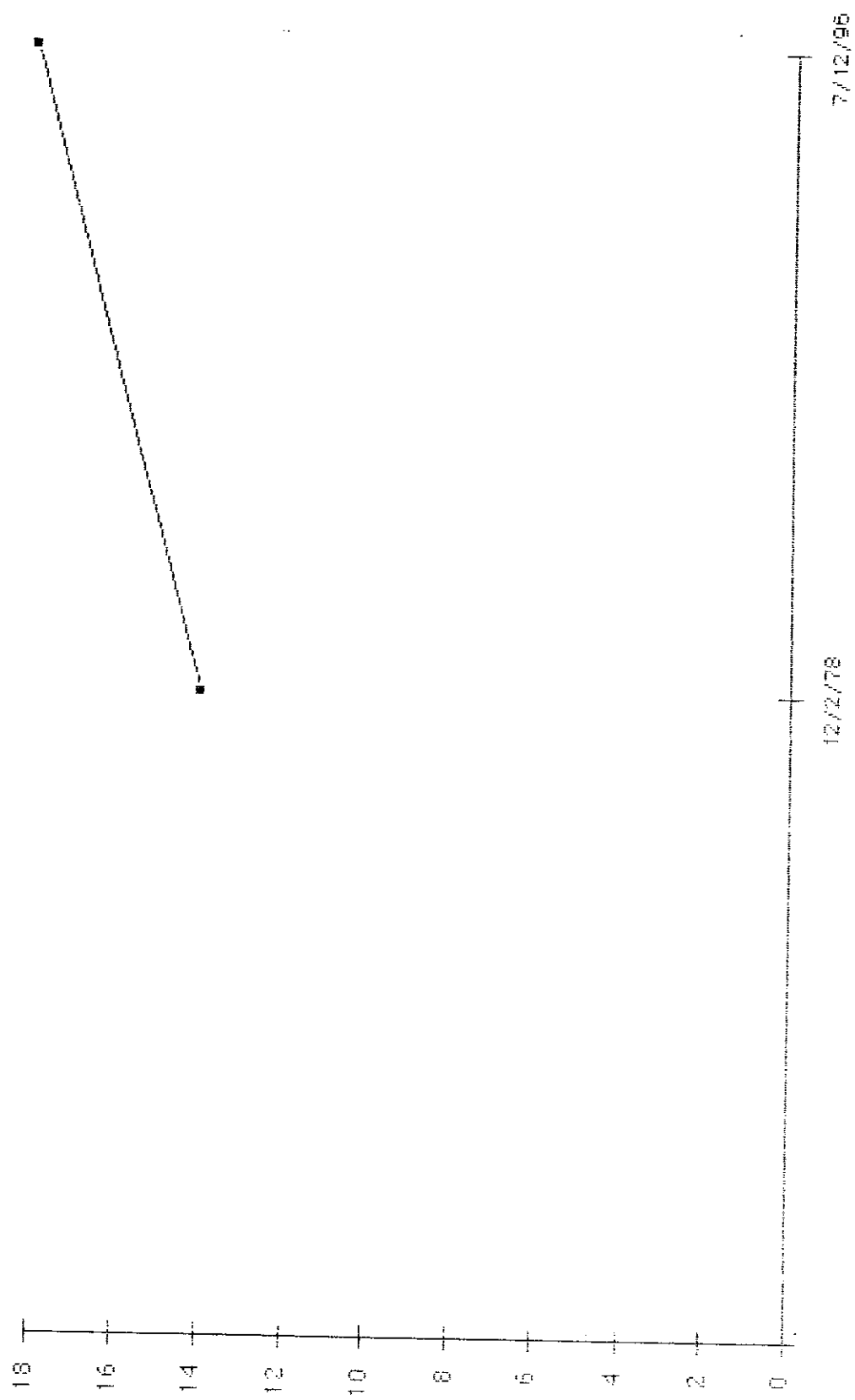
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

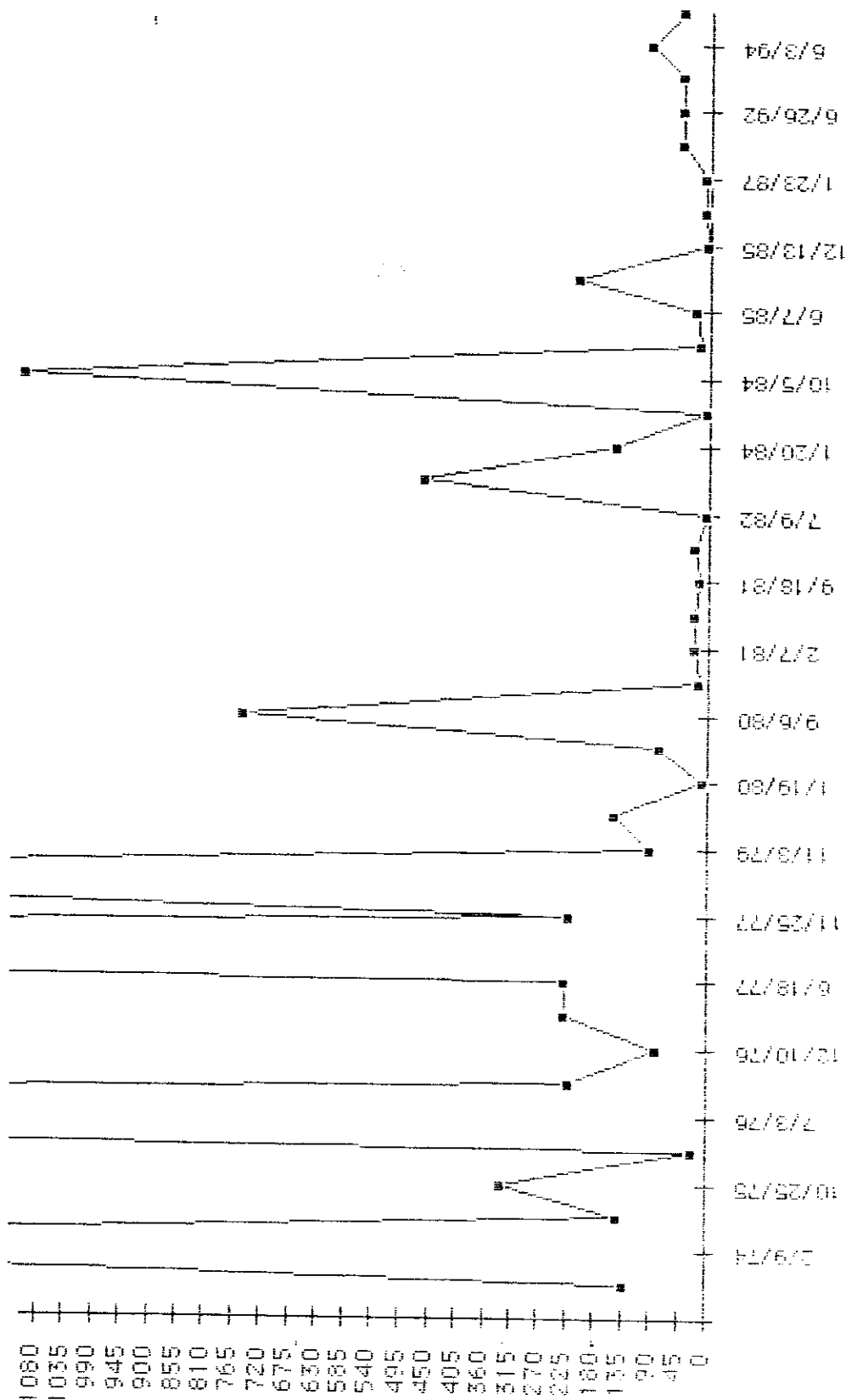


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

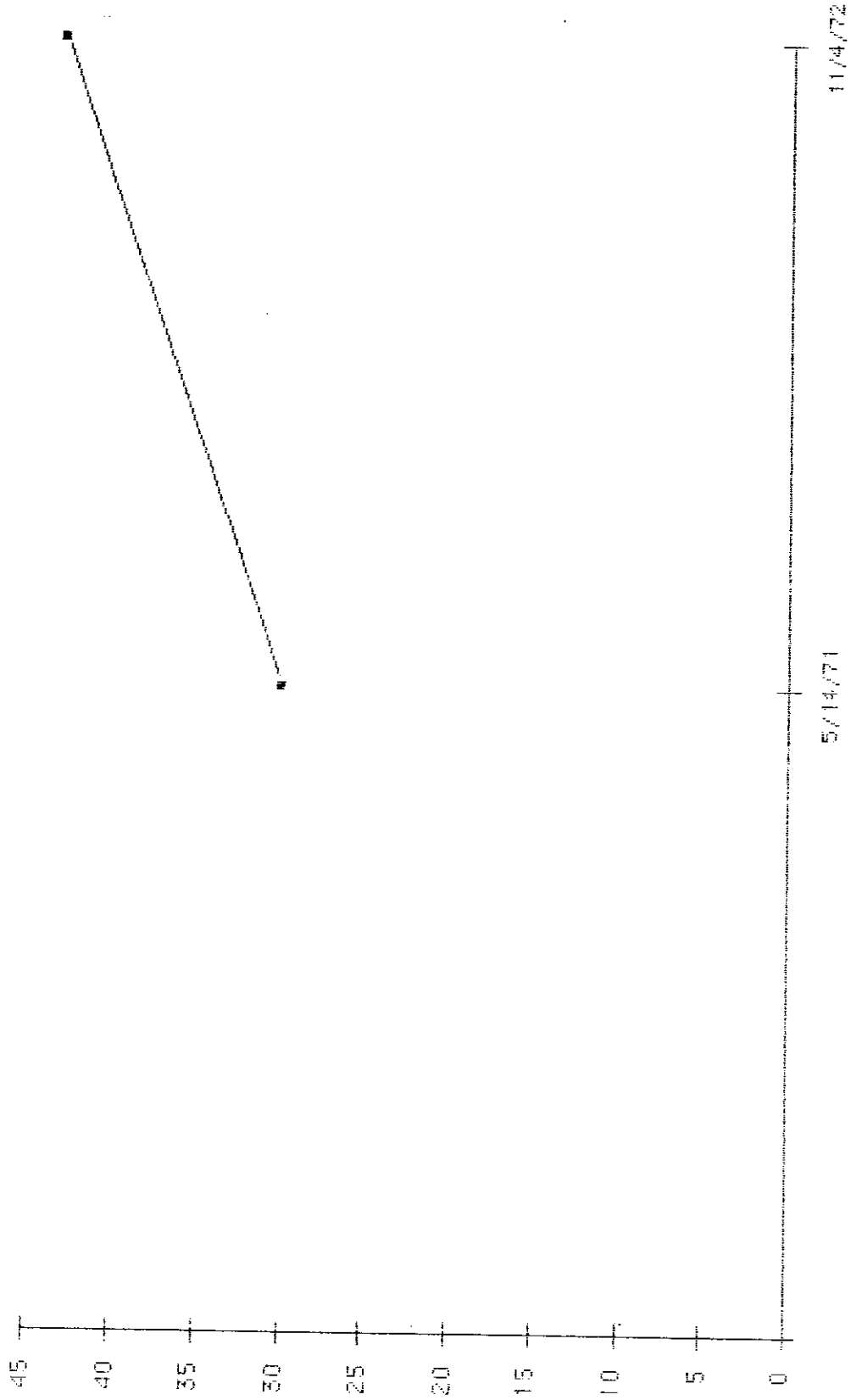


**DIAMANTE 3**

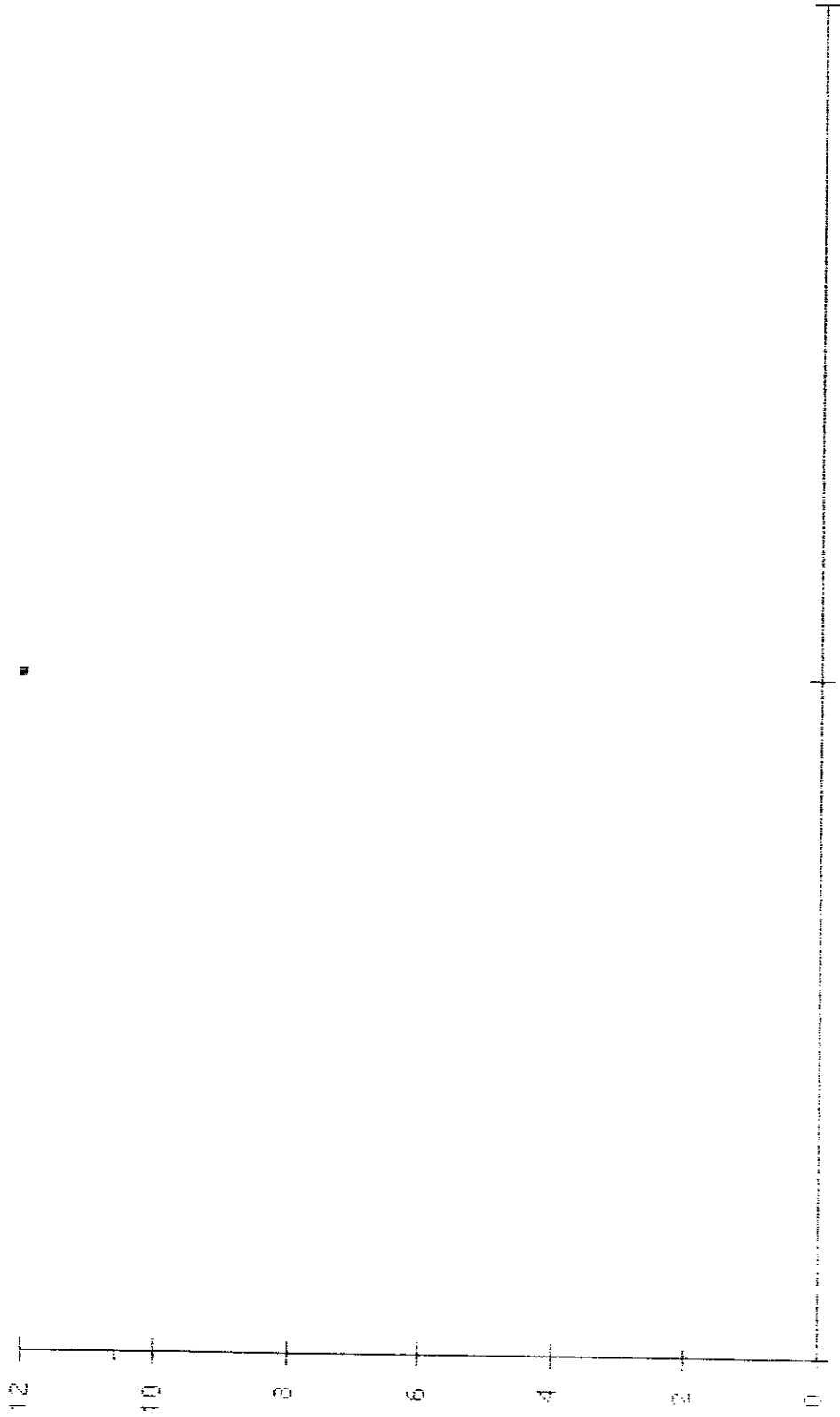
COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )



COLOR - ( UNIDADES )

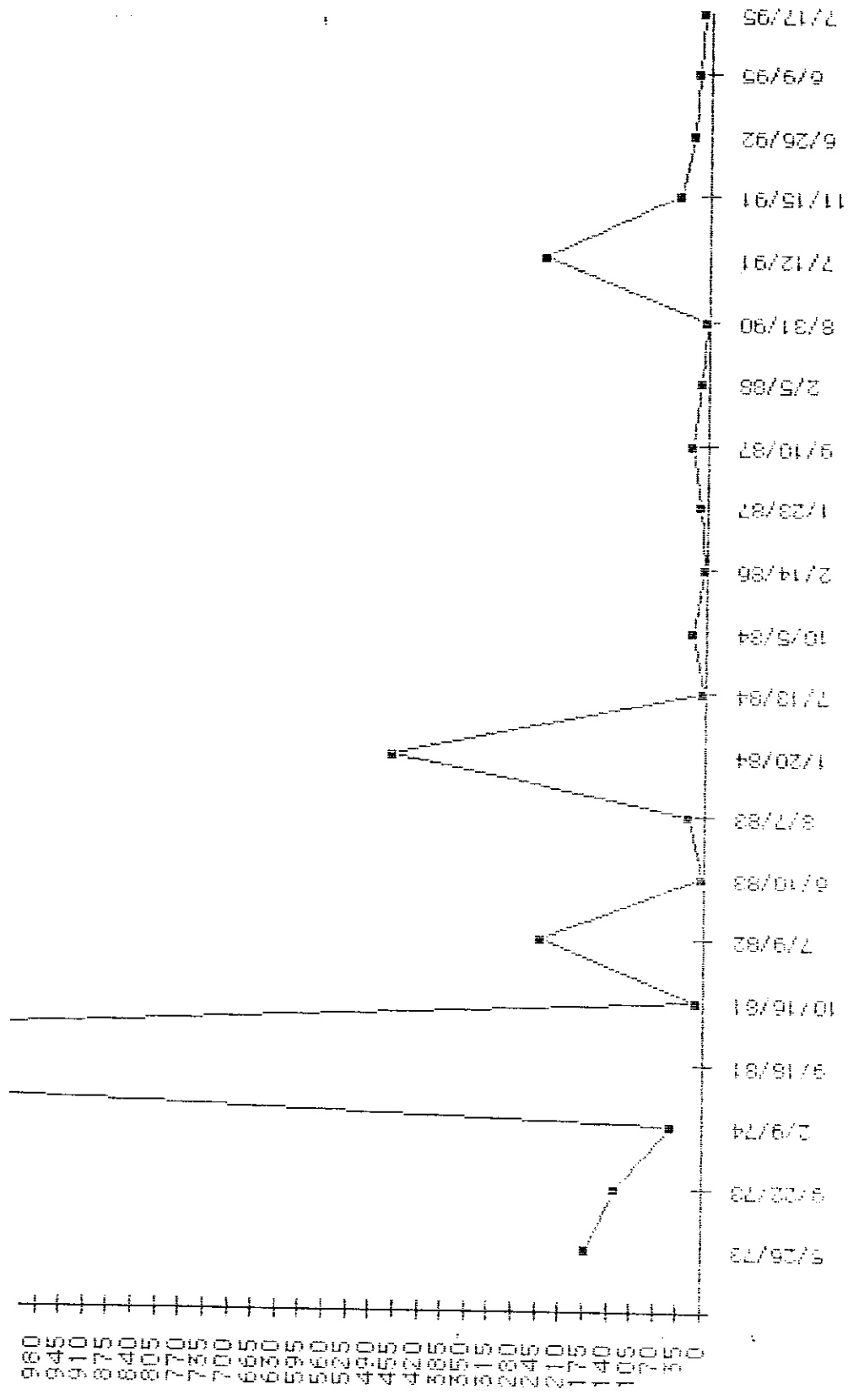


NITRATOS (NO3) - (mg/L)

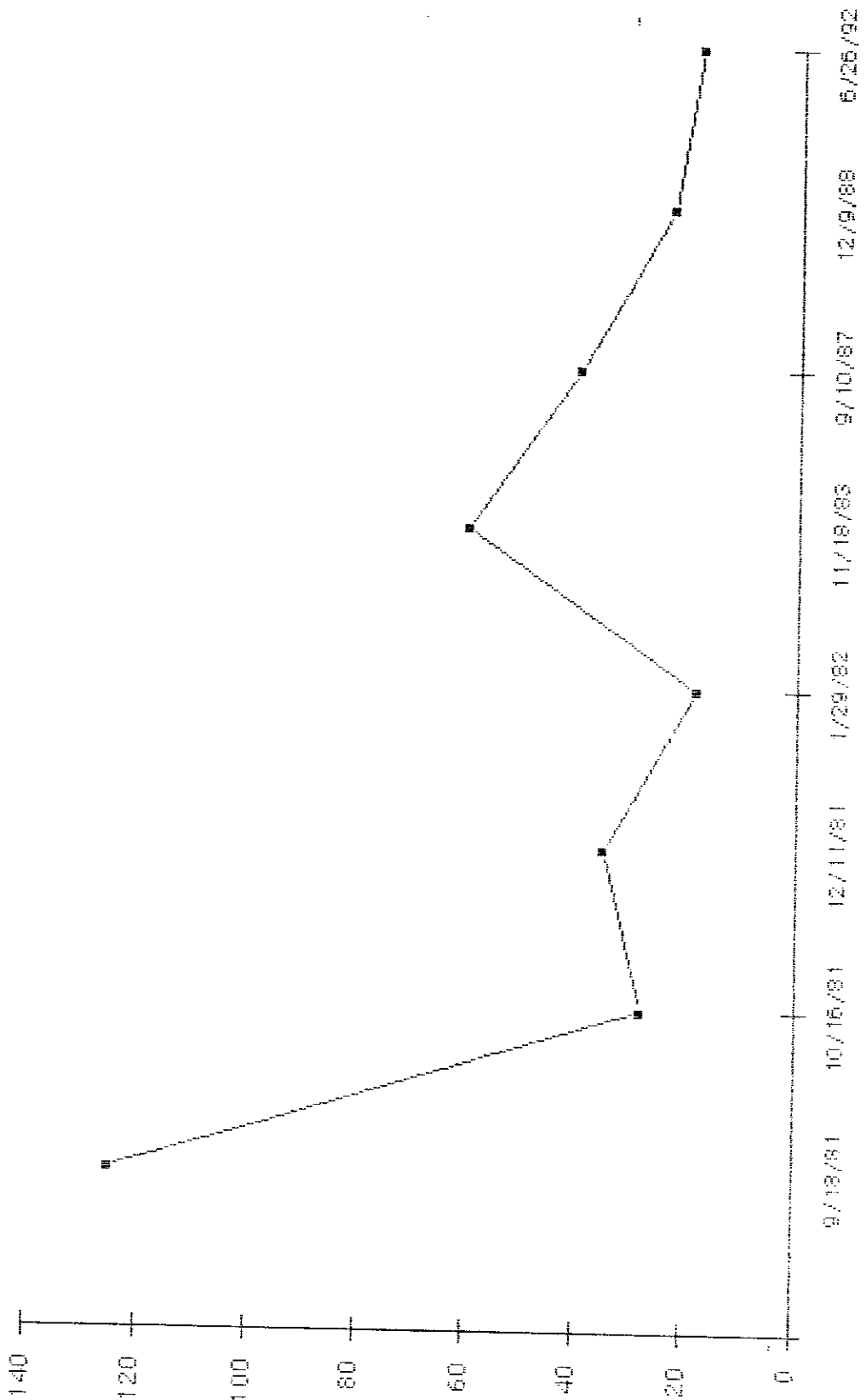


**DIAMANTE 5**

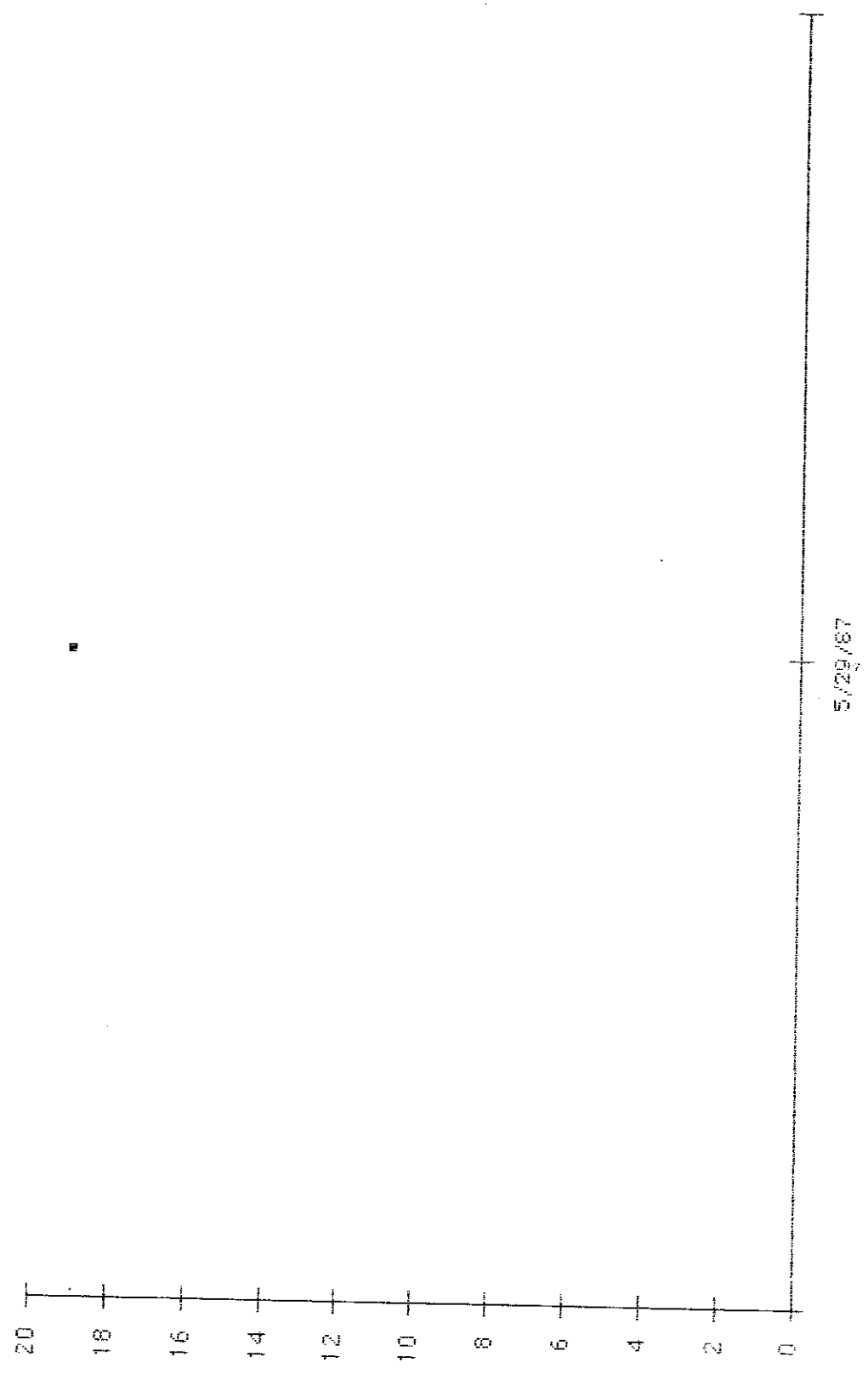
COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)



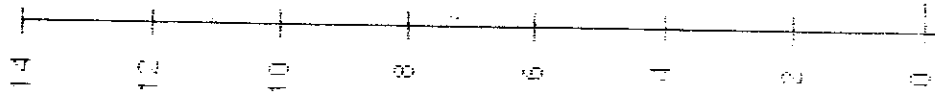
COLOR - ( UNIDADES )



FLUORURO ( F- ) - (mg/L)



NITRATES (NO3) - (mg/L)



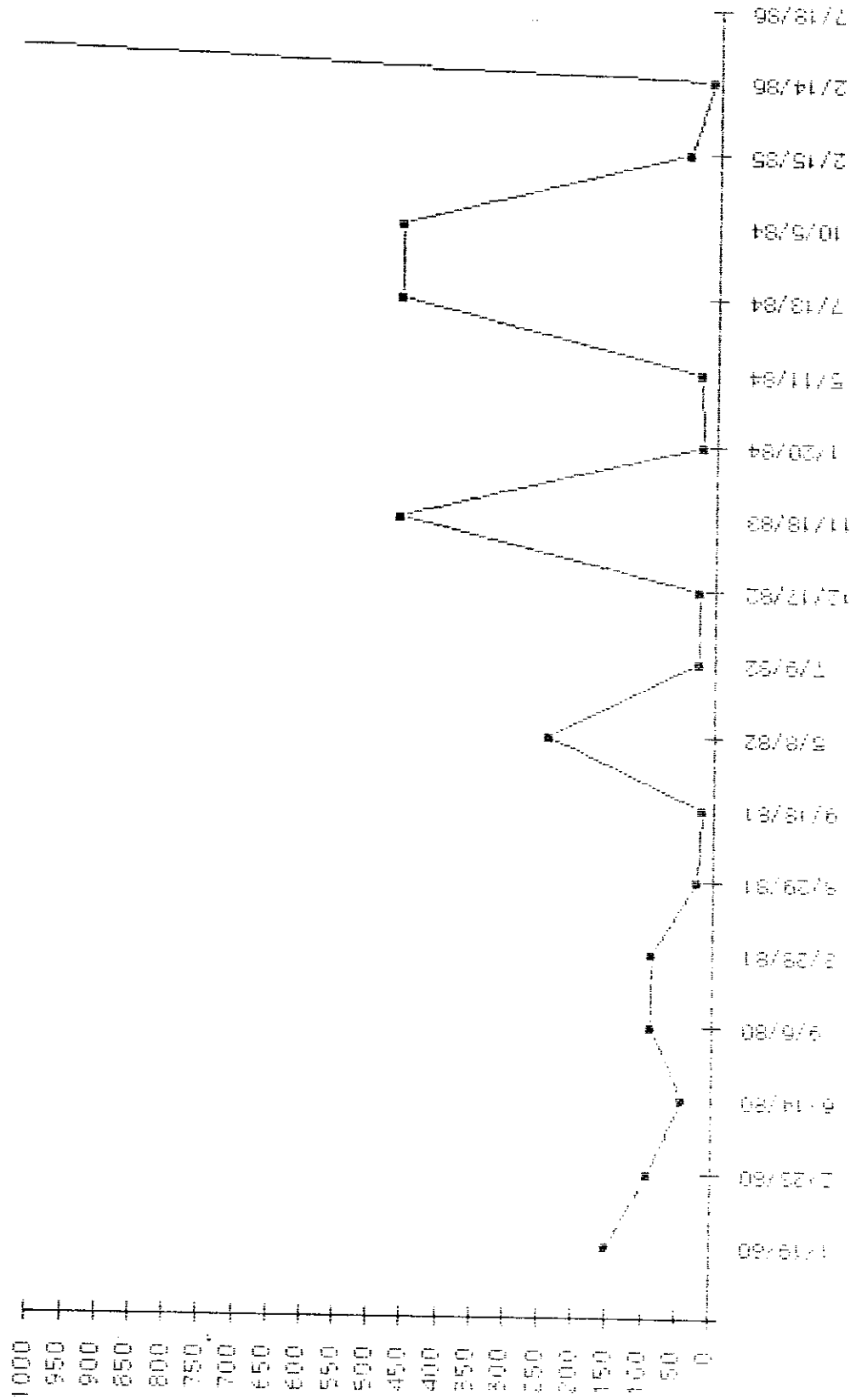
■



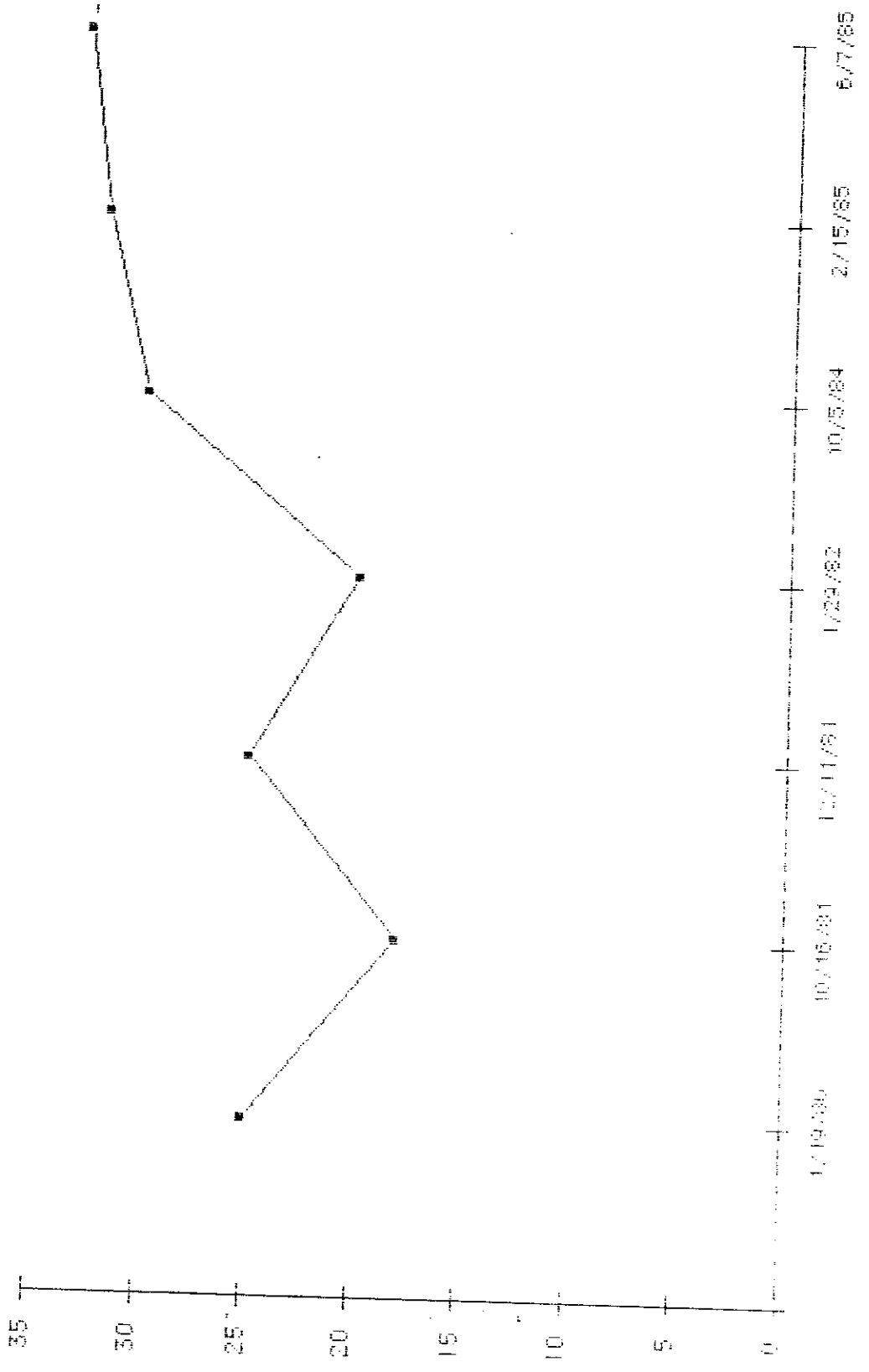
12/2/78

**DIAMANTE 6**

## COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )

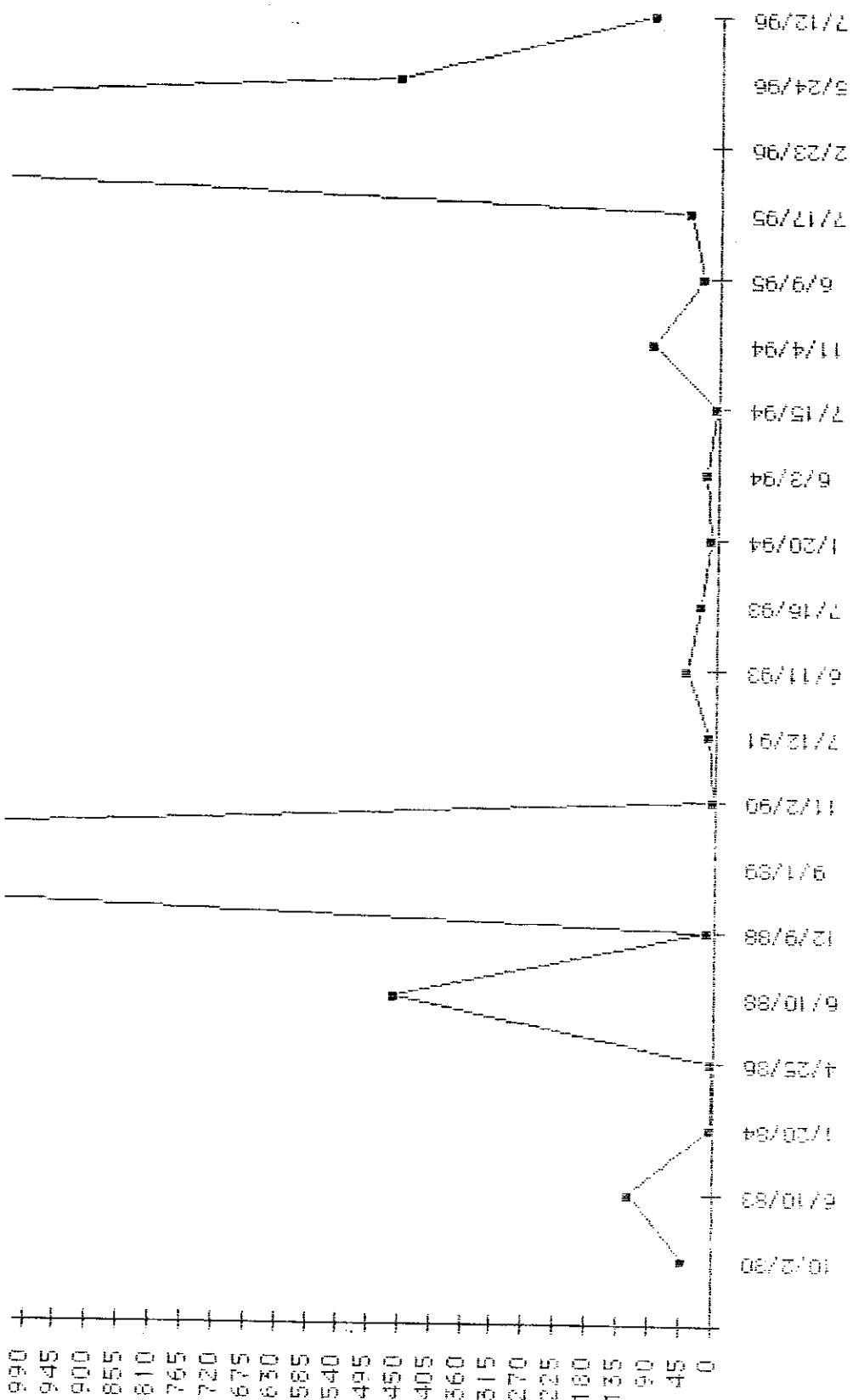


COLOR - ( UNIDADES )

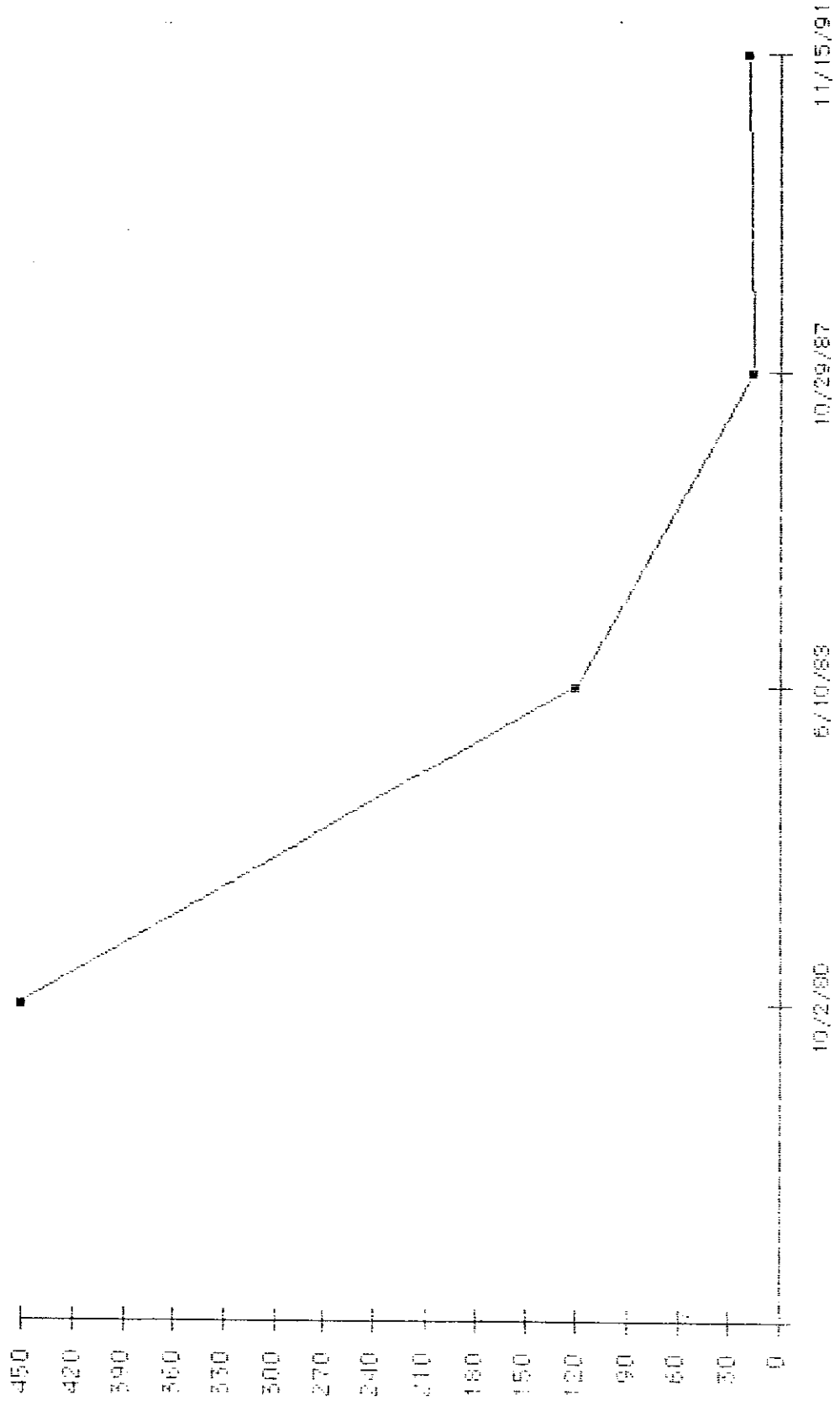


**DIAMANTE 7**

COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )

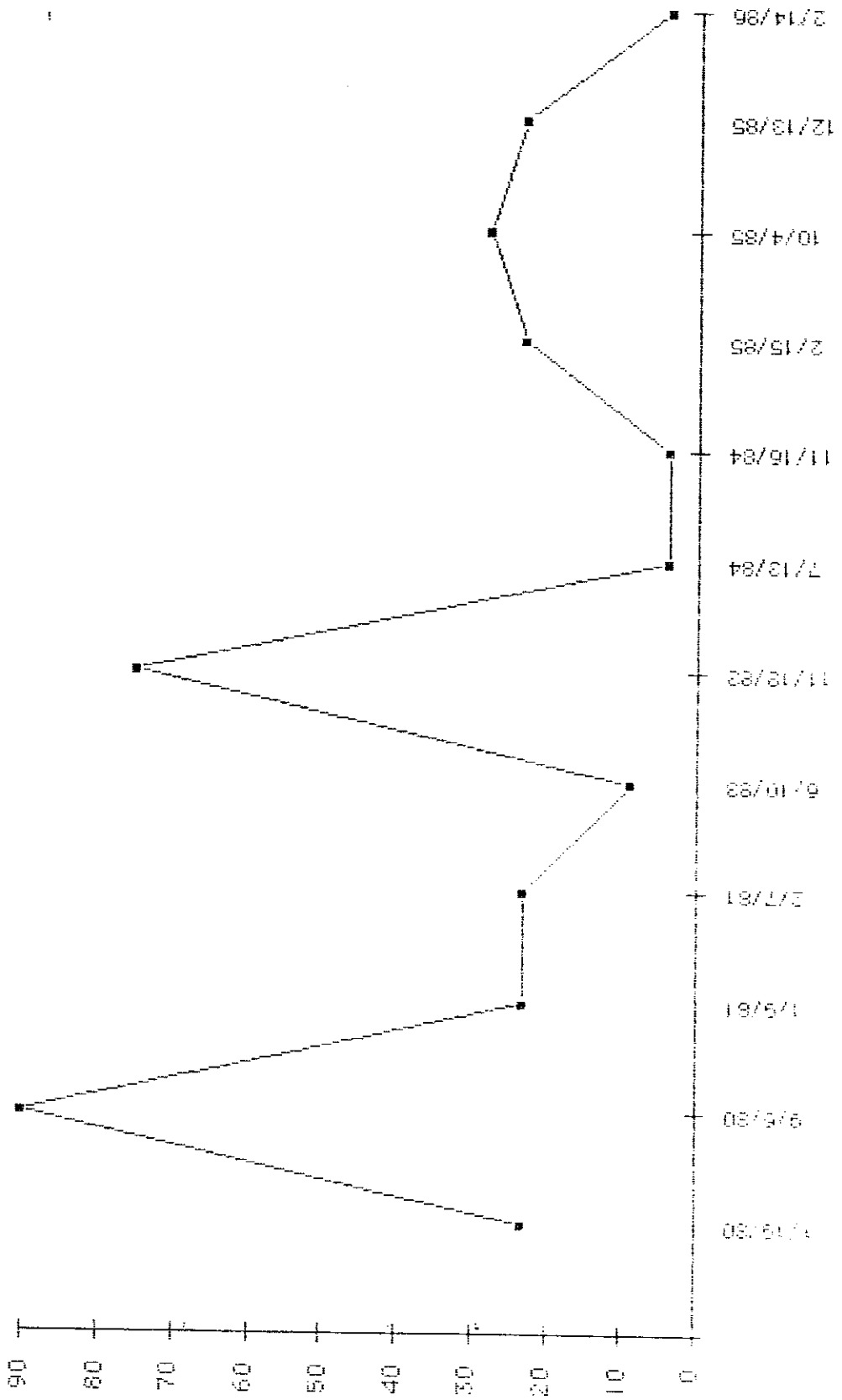


COLOR - ( UNIDADES )

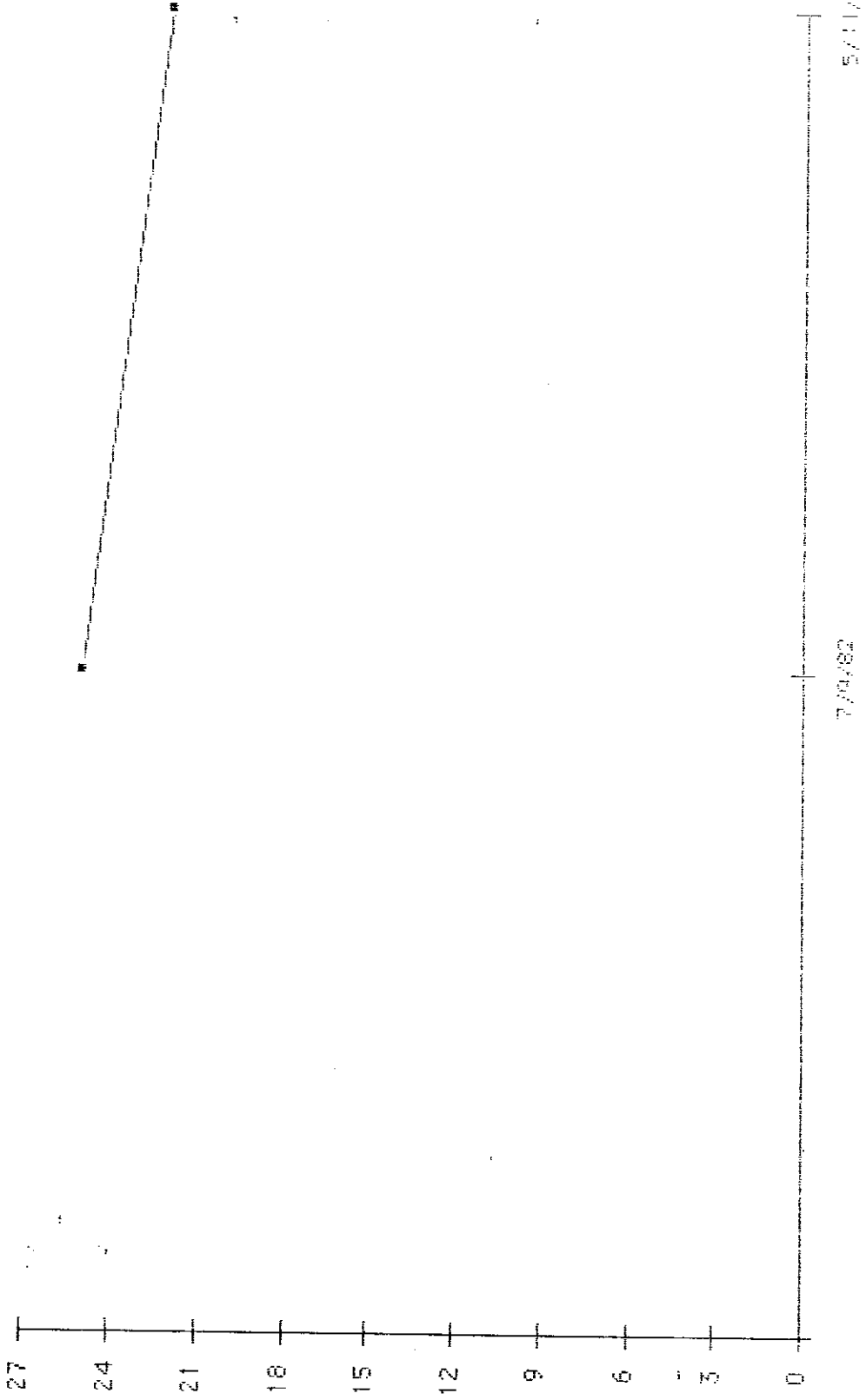


**DIAMANTE 8**

COLIFORMES ( GRUPO COLI - AEROGENES )

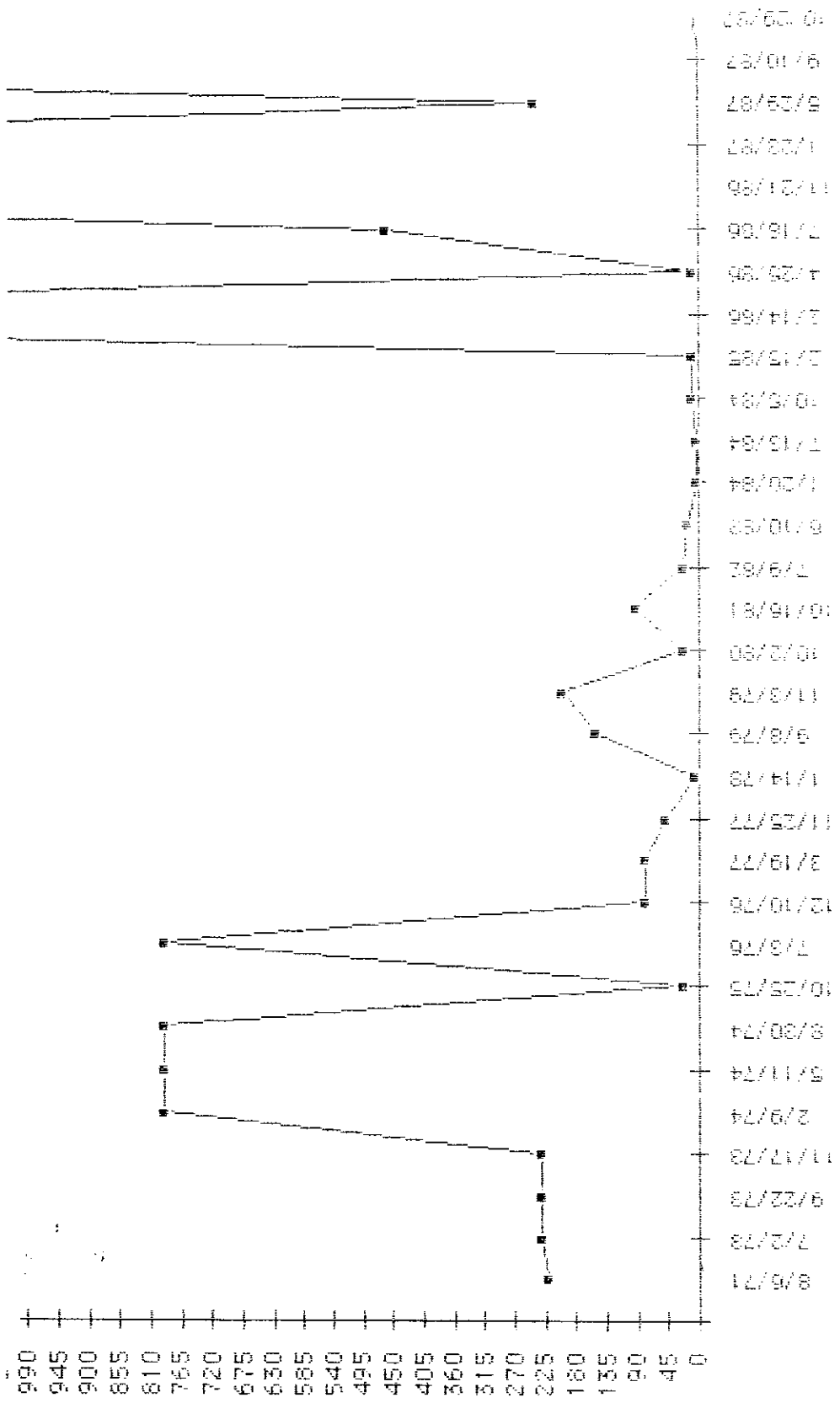


COLOR - ( UNIDADES )

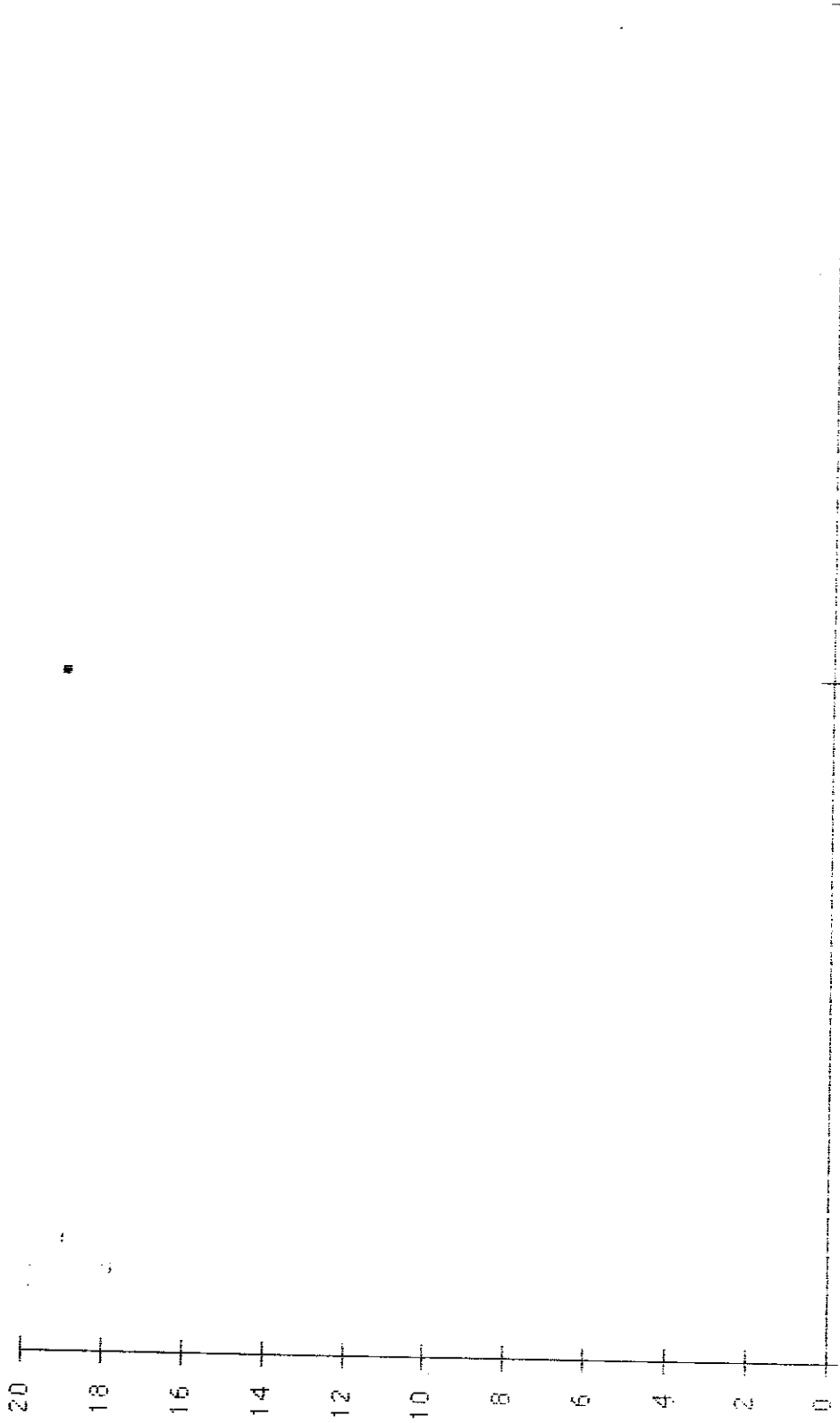


**NACIMIENTO**

COLIFORMES ( GRUPO COLI-AEROGENES )

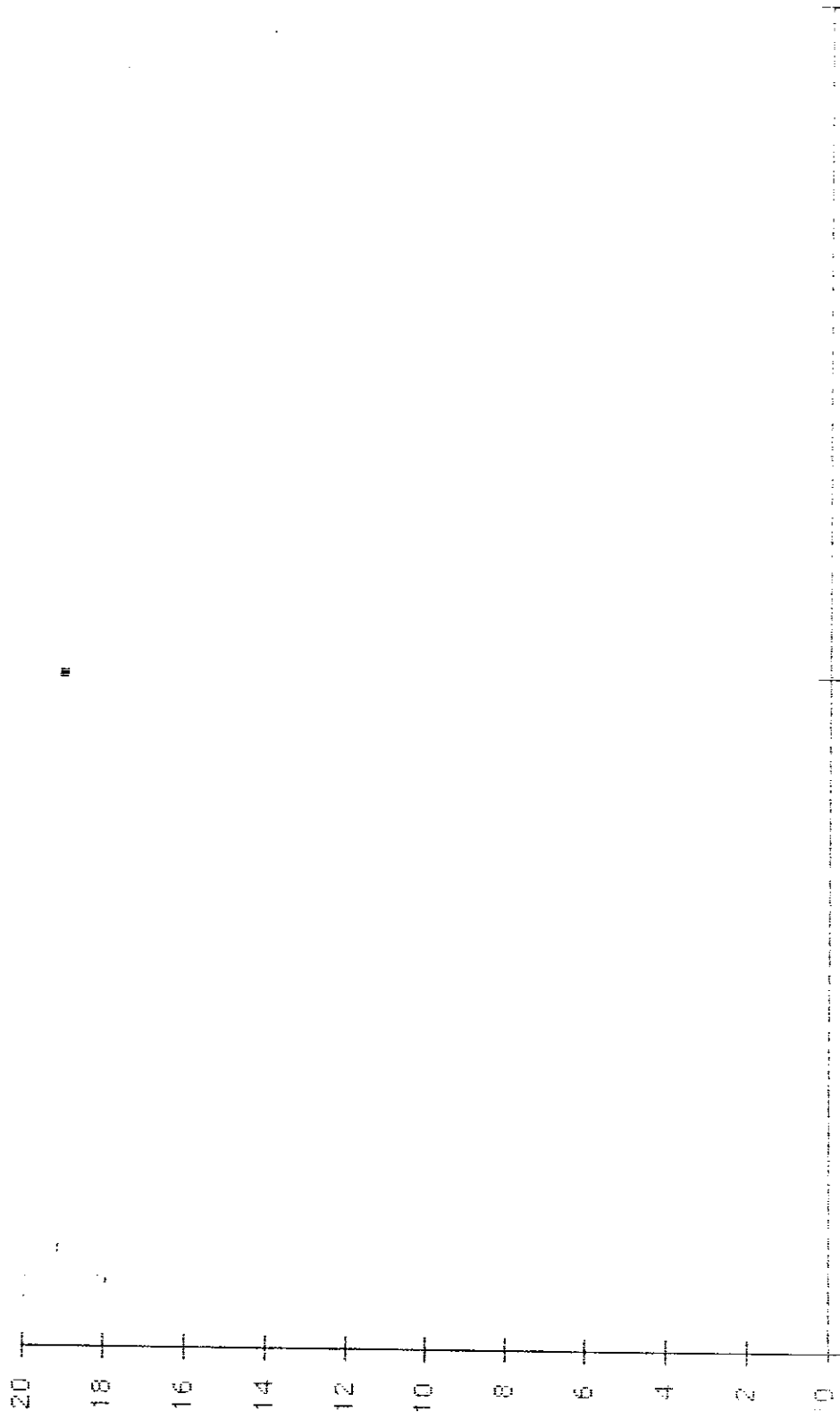


COLOR - ( UNIDADES )



WATER

NITRATOS (NO3) - (mg/L)



12/17/52