

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 2	AÑO 1987

05.87.04  
(03.87.00)

CNEA-NT 35/87

REPUBLICA ARGENTINA  
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
Dependiente de la Presidencia de la Nación  
CONSEJO ASESOR DE LICENCIAMIENTO DE INSTALACIONES NUCLEARES (CALIN)

PLANIFICACION AMBIENTAL EN LA MINERIA DEL URANIO

Dr. Luis F. BERTELLO

Buenos Aires

1987



## PLANIFICACION AMBIENTAL EN LA MINERIA DEL URANIO

Dr. Luis F. BERTELLO

### RESUMEN

Se estudian los efluentes de la minería del uranio, de roca de la zona de Achala, Pcia. de Córdoba. Se han analizado los efluentes de las operaciones de lixiviación y recuperación, de precipitación y lavado de la torta amarilla.

Se discute y recomienda la separación de los efluentes para su disposición final.

Se describe el entorno hídrico y los datos de caudales existentes. Se discuten los criterios de disposición indicados por la autoridad provincial y se describen los cálculos efectuados para definir los efectos del vuelco del efluente sobre dos puntos del receptor, para dos líquidos tipo, el efluente de lixiviación sin tratar, y el mismo ya tratado, y se discuten los resultados.

Se esboza una política de vuelco considerando un efluente tratado para las dos fases del régimen hídrico, estiaje y de máxima con dos volúmenes de vuelco, y se calculan los efectos sobre los dos puntos de la red hídrica.

Se concluye que el líquido tratado puede disponerse sin daño sensible en el receptor.

Palabras clave: minería del uranio - Efluentes líquidos - Medio ambiente hídrico - Contaminantes inorgánicos.

### ABSTRACT

#### Environmental Planning in Uranium Milling

This paper study the effluents from uranium milling in the Achala region in the province of Córdoba.

The liquids from lixiviation-recovery and from precipitation-washing of yellow cake were analyzed.

Its final disposal is discussed, recommending the separation of both liquids before treatment and disposal.

The data of the hydric environment are presented.

The disposal criteria fixed by the state authorities are presented and discussed.

The calculations to define the effects on the environment of two types of effluents on two points of the rivers net, are described and the results discussed.

A disposal policy for a treated effluent of mean composition is presented, based on two different amounts for the two phases of the river flux and the possible effects on two points of the net are calculated.

In the author opinion such policy will result in a disposal without a sensible damage in the receptor.

Key words: Uranium milling - Environment - Uranium milling effluents - inorganic pollutants.

## PLANIFICACION AMBIENTAL

El caso de efluentes de la minería del uranio.

### 1 Antecedentes

En las Sierras de Achala se explota un yacimiento uranífero, en la zona denominada LOS GIGANTES.

La roca es sometida a una lixiviación ácida y se extrae el uranio en solución por resinas de intercambio. El uranio es eluido de la resina con solución amoniaca y precipitado como diuranato de amonio (torta amarilla).

El conjunto de operaciones de lixiviación, lavado, elución, precipitación, lavado del insoluble y re-generación de las resinas origina un importante volumen de líquido residual del orden de 500 m<sup>3</sup>/día con una importante concentración salina.

Estos líquidos se han operado mezclados y se han volcado a los cauces vecinos, que forman parte de la cuenca del río S. Antonio.

La autoridad ambiental, en vista del daño potencial de ese efluente, impuso normas de volcamiento, - que a opinión del autor no siguen las pautas generalmente aceptadas-.

En efecto se exigen límites en el desagüe que son similares a las de un agua potable, cuando la práctica es fijar límites que no causen daño sensible a cierta distancia prudencialmente fijada aguas abajo del sitio de descarga.

En efecto, si fuera posible técnicamente, llegar a un efluente que cumpliera esos límites en la salida de planta ¿para qué volcarlo, si podría ser reciclado como agua fresca?

## 2 Finalidad del trabajo

Este trabajo tiene como meta el estudio de una posible política ambiental para el volcamiento del efluente, luego de un tratamiento razonable del mismo, y decidir una disposición final adecuada para cada tipo de efluente de ese tipo de minería.

### 2.1 Composición de la roca

El batolito de Achala, es definido como un cuerpo granítico peraluminoso, de gran contenido de sílice, sub alcalino (R.A.G.A. 37 (3) 319 (82) Rapela CW).

La composición es la siguiente: (en g/100g)

SiO <sub>2</sub> :	68,4 -74,5	MgO :	0,14-0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	13,65-15,2	CaO :	0,67-1,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	0,75-2,85	Na <sub>2</sub> O :	2,25-5,43
TiO <sub>2</sub> :	0,05-0,43	K <sub>2</sub> O :	4,10-6,35
MnO :	0,01-0,05	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	0,09-0,33

Los oligoelementos detectados y medidos son: (en mg/kg)

Rb :	260-538	Ba :	10-667
Sr :	34-155	Zr :	60-410

Lantanoides: 29-182

V :	1-36
Nb :	19-52

Contiene además cobre y plomo, probablemente menos de 30 mg/kg y zinc entre 50 y 100 mg/kg.

El yacimiento uranífero tiene una ley promedio de 0,3 g/kg de uranio.

### 2.2 Composición del lixiviado (líquido efluente N° 1)

La solución post-columnas de absorción por resinas, o sea luego de retener el uranio y algo del fósforo tiene la siguiente composición, (datos límites y promedio) en g/l salvo indicación contraria

pH :	1-1,5	Al <sup>3+</sup> :	3,7-7,0	(4,8)	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> :	29-31,5	(30,72)	MN <sup>2+</sup> :	320-470	(mg/l) (403)
Cl <sup>-</sup> :	0,3-0,8	(0,55)	Zn <sup>2+</sup> :	5-85	(mg/l) (45)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> :	0,5-1,3	(0,86)	Cu <sup>2+</sup> :	2,8-5,5	(mg/l) (3,8)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> :	3-5	mg/l (3,8)	NA <sup>+</sup> :	240-260	(mg/l) (250)
Ca <sup>2+</sup> :	90-280	mg/l (225)	K <sup>+</sup> :	200-440	(mg/l) (270)
Mg <sup>2+</sup> :	460-570	mg/l (515)			
Fe <sup>3+</sup> :	35-240	(80)	Salinidad :	39,0	

Este efluente resulta tener un volumen promedio de 280 m<sup>3</sup>/d.

Notas: el amonio presente se origina en la recirculación de parte del líquido como diluyente del ácido de lixiviación. En su operación correcta este contaminante desaparece. El ion cloruro viene en parte de la roca y en parte de la solución salina usada en la regeneración de las resinas que se han ido incorporando al efluente común. En una operación adecuada este componente disminuirá en buena proporción. El hierro se origina en la operación de lixiviación pero sería menor si el líquido recirculado sufriera siempre un tratamiento adecuado.

Manganeso, zinc, cobre y aluminio: idem que el hierro.

El ion sodio se origina en parte en la lixiviación y en parte en la solución salina de regeneración. En una operación mejorada este ion disminuiría en buena proporción.

### 2.3 Efluente de precipitación y lavado.

El efluente de la operación de precipitación del diuranato de amonio y de su lavado tiene una composición en la que predomina el sulfato de amonio. Su composición en 15 muestras representativas de 24 hs cada una es la siguiente: (en g/l)

pH <sub>2-</sub>	: 8,0-9,5	Mn <sup>2+</sup>	: menor de 5 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	: 30-37	Zn <sup>2+</sup>	: vestigios
Cl <sup>-</sup>	: 0,8-1,4	Cu <sup>2+</sup>	: vestigios
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: 8-14	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: menor de 6 mg/l
Ca <sup>2+</sup>	: vestigios	Al <sup>3+</sup>	: no detectable
Mg <sup>2+</sup>	: hasta 0,015	Na <sup>+</sup>	: menor de 7 mg/l
Fe <sup>3+</sup>	: 0,02-0,2	K <sup>+</sup>	: menor de 5 mg/l
Pb <sup>2+</sup>	: menor de 0,05 mg/l		

Este efluente tiene en promedio un volumen de 60 m<sup>3</sup>/d.

### 2.4 Efluente tratado

El efluente mixto (o sea mezcla de los dos anteriores) tratado con lechada de cal hasta pH 8,0 resulta tener la siguiente composición (aproximando por redondeo de datos y en g/l salvo indicación contraria).

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 4,0	Mn <sup>2+</sup>	: 0,01
Cl <sup>-</sup>	: 0,55	Zn <sup>2+</sup>	: no detectable
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: 0,5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: 0,03
Ca <sup>2+</sup>	: 0,65	Cu <sup>2+</sup>	: vestigios
Mg <sup>2+</sup>	: 0,20	Al <sup>3+</sup>	: no detectable
Pb <sup>2+</sup>	: 0,03 mg/l	Na <sup>+</sup>	: 0,24
Fe <sup>3+</sup>	: no detectable	K <sup>+</sup>	: 0,31
Salinidad:	6,50		

### 2.5 Tratamiento parcial

Si el tratamiento no se efectúa correctamente, su pH ha solido oscilar entre 4,5 y 7,0 en cuyo caso los componentes se hallan dentro de los siguientes valores (en g/l) salvo indicación contraria).

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 4,0-4,4	Pb <sup>2+</sup>	: 0,04-0,08 mg/l
Cl <sup>-</sup>	: 0,4-0,65	Zn <sup>2+</sup>	: vestigios
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: 0,48-0,6	Mn <sup>2+</sup>	: 0,01-0,02
Ca <sup>2+</sup>	: 0,42-0,65	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: 0,003-0,03
Mg <sup>2+</sup>	: 0,19-0,32	Cu <sup>2+</sup>	: vestigios
Fe <sup>3+</sup>	: 0,04-0,40	Al <sup>3+</sup>	: vestigios 1,5
		Na <sup>+</sup>	: 0,2-0,3
		K <sup>+</sup>	: 0,2-0,34

2.6 El líquido de columnas de absorción si se trata adecuadamente daría un efluente con la siguiente composición promedio (líquido efluente N° 2).

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 2,65 g/l
Cl <sup>-</sup>	: 0,35 "
Ca <sup>2+</sup>	: 0,65 "
Mg <sup>2+</sup>	: 0,19 "
Mn <sup>2+</sup>	: 0,01 "
Na <sup>+</sup>	: 0,15 "
K <sup>+</sup>	: 0,3 "
Salinidad	: 4,3 "

Su volumen final sería de alrededor de 500 m<sup>3</sup>/día.

### 3 Disposición del efluente

Es evidente que el líquido efluente de la etapa de precipitación (ver 2.3) es una solución de sulfato de amonio con algo de cloruro de amonio con una pequeña impureza de hierro.

En cambio el efluente de lixiviado y absorción (2.2) es fundamentalmente una solución de sulfato de aluminio con hierro y manganeso, e impurificada con cloruros y sulfatos de amonio, sodio, potasio, calcio y magnesio.

De éstos últimos, amonio, cloruro y sodio, o no existirían o disminuirían si los efluentes se separan y se les da una disposición final diferente.

Por ello sería de interés para el ambiente y para los costos de operación que el efluente de precipitación se enviara a cristalización, de la que se obtendría sulfato de amonio apto como fertilizante o para ser reciclado en el proceso.

Asimismo la solución de cloruro e hidróxido de sodio usada para la regeneración de las resinas sería conveniente enviarla a cristalización para ser reciclada.

De modo que los problemas de disposición final se reducirían al efluente de lixiviación.

Al ser éste una solución de sulfato de aluminio con impurezas, sería apta para su uso como coagulante en la potabilización de aguas.

El inconveniente en el caso que nos ocupa es la gran distancia desde la mina hasta el próximo centro urbano de importancia suficiente como para absorber esa cantidad de coagulante.

Así que el planificador ambiental se ve en la necesidad de decidir sobre su vuelco en los cursos de agua de la región.

#### 4 El entorno hídrico

La región de Los Gigantes se halla en la alta cuenca del río S. Antonio que desagua por el sud y oeste en el Lago S. Roque, atravesando V. Carlos Paz, importante localidad turística.

La zona de la mina en cuestión tiene como desagües naturales los arroyos Cambuche y Cajón, que por éste último van a confluir en el río Ichu Cruz que desagua a su vez en el S. Antonio.

La región es totalmente serrana, con "pampas" en las alturas, y con gran número de arroyos, muchos de ellos con corriente permanente aunque variable. Hay en la zona poca población con alguna ganadería bovina, ovina y caprina. El régimen hídrico depende de las lluvias con máximos en verano y mínimos en invierno.

No se han efectuado mediciones detalladas de los caudales de los ríos y arroyos, aún de los importantes, de modo que no se cuenta con datos fehacientes de los volúmenes mensuales erogados en la cuenca.

Sin embargo el CIHRSA de V. Carlos Paz, ha elaborado una estimación de caudales en el río Ichu Cruz al llegar a la localidad de Cuesta Blanca, primer sitio habitado aguas abajo.

Esta estimación ha sido calculada por modelo matemático con base en las mediciones de niveles en el Lago S. Roque, la pluviometría de la zona y la distribución calculada de aportes de las otras cuencas que desaguan en el lago.

Los datos abarcan 31 años y la estimación se ha efectuado por mes calendario.

El procesamiento por computadora ha permitido calcular los caudales medios para cada mes calendario y su desviación estándar.

Por otra parte en mayo y setiembre de 1985 (meses del período de estiaje) se efectuaron algunas mediciones aisladas en los ríos Cambuche y Cajón, de modo que se puede tener una idea aproximada de los caudales de estos ríos.

El río Cambuche dio en mayo 0,022 m<sup>3</sup>/s y en setiembre 0,062 m<sup>3</sup>/s.

El río Cajón a la altura de Los Gigantes dió en mayo 0,085 m<sup>3</sup>/s y en setiembre 0,123 m<sup>3</sup>/s.

O sea que, salvo lluvias puede esperarse en la confluencia de ambos ríos tener: 0,107 m<sup>3</sup>/s en mayo y 0,185 m<sup>3</sup>/s en setiembre.

La distribución de las lluvias es bastante variable en años sucesivos, de modo que estos datos son sólo una primera aproximación, pero es el único dato real con que se cuenta.

## 5 Criterios de contralor

### 5.1 Valores fijados

La autoridad de aplicación fijó los siguientes criterios, a cumplir en la boca de salida de la planta:

pH	: 6,5-9,2	Nitritos	: 1 mg/l
Sol.sed.	: No se admite	Amonio	: cero
Res.total:	máx.2000 mg/l	Arsénico	: 0,2
Dureza	: máx.300 mg/l	Vanadio	: 0,5
Cloruros	: máx.700 mg/l	Hierro	: 0,30
Fluoruro	: máx.2 mg/l	Manganeso	: 0,20
Nitratos	: máx.20 mg/l	Plomo	: 0,50
Sulfatos	: 600 mg/l	Cobre	: 0,20
		Fosfato	: 1 mg/l

El caudal vertido autorizado es de 7 l/s (605 m<sup>3</sup>/d) para un caudal estimado del río Cajón de 85 l/s (7340 m<sup>3</sup>/d).

### 5.2 Crítica de los valores fijados

Los parámetros en varios de sus índices son los que se admiten para un agua de bebida, no para un efluente industrial. Resulta así una exigencia poco común para la actividad (en la práctica responde a una imposible contaminación cero).

Más comprensible sería si las mismas normas se fijaran a cierta distancia aguas abajo, antes del próximo sitio habitado.

#### Ejemplos:

- 1 - Sol.Sediment.: No se admite: es de notar que el río en épocas de lluvia arrastra dichos sólidos en proporción variable, de modo que la exigencia no es razonable y más en este caso en que el sólido que pudiera ser arrastrado del sedimentador sería alúmina y sulfato de calcio, sustancias inertes y naturales de la zona.

- 2 - pH: 6,5-9,2. En agua de bebida se toleran valores de pH menores de 6,5 debido a que la disolución del CO<sub>2</sub> atmosférico en agua de lluvia ya produce un pH menor.
- 3 - Res. total. En agua de bebida se tolera hasta 2800 mg/l. No se ve la razón de que el efluente tenga sólo hasta 2000 mg/l.
- 4 - Dureza: 300 mg/l. La OMS tolera para agua de bebida, valores entre 100 y 500 mg/l. Nótese que el agua natural del río tiene muy baja dureza lo que la tornaría agresiva para el plomo (fenómeno de plumbo-disolución).
- 5 - Nitratos: 20 mg/l. En aguas de bebida el máximo tolerable es de 60 mg/l. Es evidente que el parámetro fijado es arbitrario.
- 6 - Amonio: no se admite. En aguas de bebida se lo considera índice de contaminación biológica (hasta 0,5 mg/l). En este caso al tratarse de amonio inorgánico la aplicabilidad de la norma es discutible.

### 5.3 Caudal del efluente

En cuanto al caudal de vuelco se lo ha fijado contra una escorrentía de valor constante para el río. Como ya se ha dicho es un río de flujo variable y se entiende que el vertido autorizado debiera adaptarse a las variaciones del caudal del río.

## 6 Efectos sobre el receptor

### 6.1 Volúmenes erogados en la cuenca

Los datos promedio estimados en Cuesta Blanca por el CIHRSA fueron los que se indican (en m<sup>3</sup>/s)

julio	agosto	set.	oct.	nov.	dic.	enero	febr.	marzo	abril	mayo	junio
0,638	0,536	0,683	2,101	3,331	3,908	4,514	4,178	4,01	1,87	0,797	0,867

A fin de contar con promedios más fiables respecto de la condición de mínimo caudal se procedió a truncar los valores mensuales que sobrepasaran el doble del promedio.

Resultaron así eliminados sobre los 31 datos de cada mes, el siguiente número de valores:

julio	agosto	set.	oct.	nov.	dic.	enero	febr.	marzo	abril	mayo	junio
5	3	2	5	4	2	2	1	3	6	2	2

Con los nuevos universos de datos mensuales resultantes se procedió a recalcular por computadora los promedio quedando éstos en los siguientes valores (en m<sup>3</sup>/s)

julio	agosto	set.	oct.	nov.	dic.	enero	febr.	marzo	abril	mayo	junio
0,467	0,385	0,576	1,16	2,25	3,54	3,975	4,03	2,937	1,445	0,70	0,722

## 6.2 Caudales post-complejo

Para tener una idea de los caudales en la unión de los arroyos Cambuche y Cajón se verificó la relación entre estas estimaciones en Cuesta Blanca y las mediciones de mayo y setiembre de 1985.

En mayo la suma de los dos caudales fue de  $0,107 \text{ m}^3/\text{s}$ . En relación al caudal estimado en C. Blanca, es aproximadamente 6,5 veces mayor.

En setiembre esa suma era de  $0,185 \text{ m}^3/\text{s}$  que el autor estima ser un valor anormalmente alto respecto de los datos históricos, presumiblemente por ser de medición demasiado cercana a una lluvia en la región.

La relación daría que en C. Blanca el caudal es 3,11 veces mayor.

Se estima que una relación más adecuada podría estar en promedio en unas 5- veces mayor.

De modo que se procedió a tomar como caudales netos en la confluencia del Cambuche y Cajón, los datos corregidos de C. Blanca divididos por 5,0. De esta manera se tendrían los siguientes caudales netos, promedio estimado (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

julio	agosto	set.	oct.	nov.	dic.	enero	febr.	marzo	abril	mayo	junio
0,093	0,077	0,115	0,232	0,45	0,708	0,795	0,806	0,587	0,289	0,14	0,144

## 6.3 Cálculo de efectos posibles

Con los datos de los análisis de los puntos 2.2 (llamado líquido N° 1) y 2.6 (llamado líquido N° 2) se procedió a calcular por medio de un programa de computación, la concentración atribuible al vuelco que resultaría en ambos sitios para cada mes suponiendo un vuelco  $280 \text{ m}^3/\text{s}$  para el líq. 1 y de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  para el líq. 2, en los volúmenes erogados en cada uno de los dos puntos de la red para los que se calcularon los caudales.

Las concentraciones en mg/l de efluente dieron los siguientes aportes al receptor, también en mg/l. (Ver gráficos).

## 6.4 Comentarios

Es evidente que el líquido N° 1 aportaría entre mayo y octubre valores elevados de amonio, hierro y manganeso en el punto A (Cuesta Blanca). El líquido N° 2 no presentaría problemas ambientales.

En el punto B (Río Cajón y Cambuche) el efluente N° 1 daría valores elevados de sulfatos entre mayo y setiembre, elevados de amonio todo el año, elevados de hierro entre abril y octubre, elevados de manganeso todo el año. El efluente N° 2 daría sólo valores elevados de manganeso entre mayo y setiembre.

PUNTO A (Cuesta Blanca)

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<u>Sulfatos</u>												
Liq.1	211,7	256,4	171,8	85,6	44,2	28,1	25,0	24,7	33,8	68,7	141,6	137,3
Liq.2	32,6	39,4	26,5	13,2	6,8	4,3	3,9	3,8	5,2	10,6	21,8	21,1
<u>Cloruros</u>												
Liq.2	3,8	4,6	3,1	1,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	1,2	2,5	2,5
	4,3	5,2	3,5	1,7	0,9	0,6	0,5	0,5	0,7	1,4	2,9	2,8
<u>Amonio</u>												
Liq.1	5,1	7,2	4,8	2,4	1,2	0,8	0,7	0,7	0,9	1,9	4,0	3,8
<u>Calcio</u>												
Liq.1	1,6	1,9	1,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	1,0	1,0
Liq.2	8,0	9,6	6,5	3,2	1,7	1,1	0,9	0,9	1,3	2,6	5,3	5,2
<u>Magnesio</u>												
Liq.1	3,6	4,3	2,9	1,4	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	1,2	2,4	2,3
Lpiq.2	2,3	2,8	1,9	0,9	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,8	1,6	1,5
<u>Hierro</u>												
Lq. 1	0,6	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4
<u>Manganeso</u>												
Liq. 1	3,8	3,4	2,3	1,1	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,9	1,9	1,8
Liq. 2	0,1	0,1	0,1	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,1	0,1
<u>Zinc</u>												
Liq 1	0,3	0,4	0,25	0,1	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,1	0,2	0,2
<u>Aluminio</u>												
Liq. 1	33,1	40,1	26,9	13,4	6,9	4,4	3,9	3,9	5,3	10,7	22,1	21,4
<u>Sodio</u>												
Liq. 1	1,7	2,1	1,4	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	1,2	1,1
Liq. 2	1,8	2,2	1,5	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	1,2	1,2
<u>Potasio</u>												
Liq.1	1,9	2,3	1,5	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	1,2	1,2
Liq.2	3,7	4,4	3,0	1,5	0,8	0,5	0,4	0,4	0,6	1,2	2,5	2,4

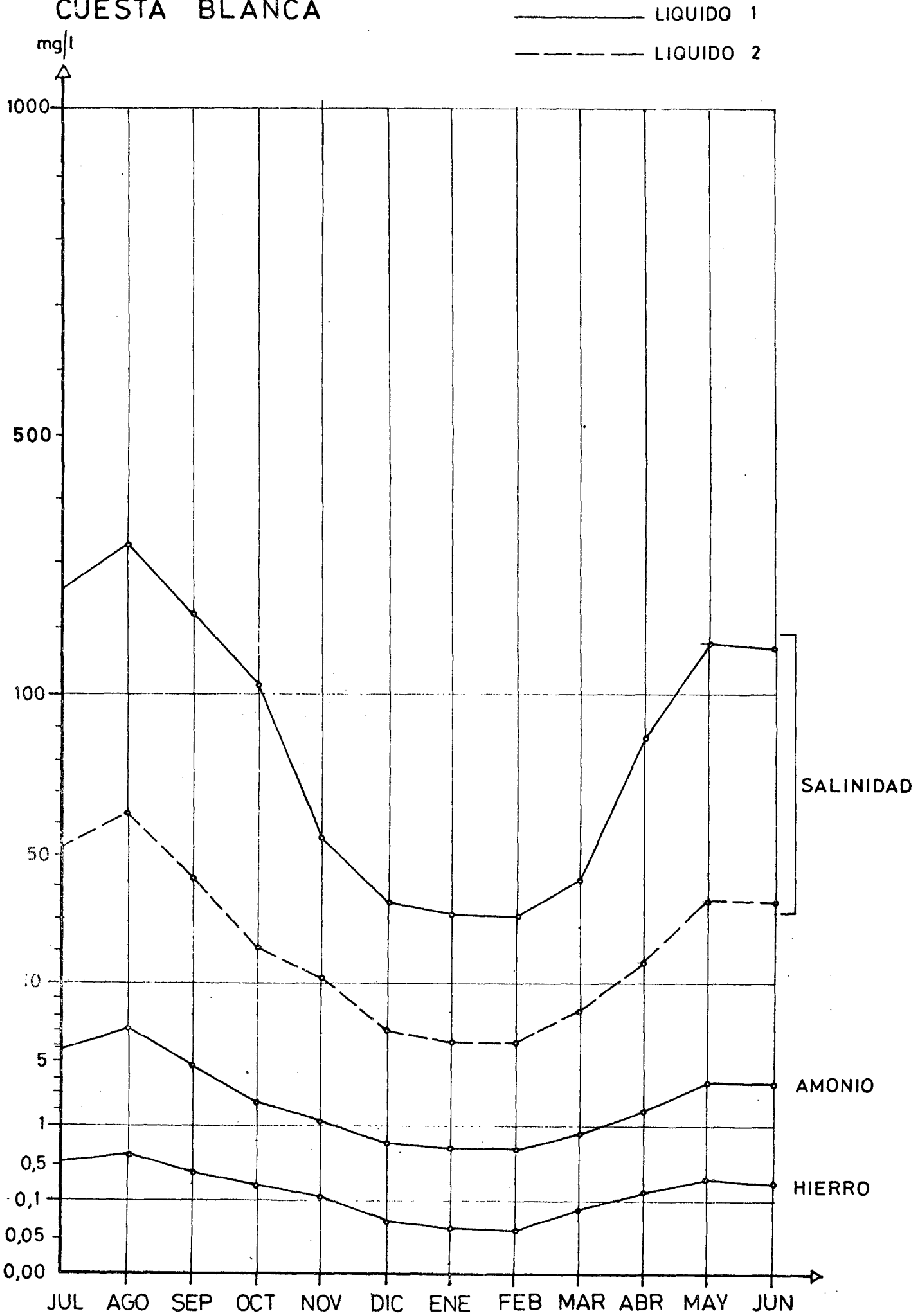
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<u>Cobre</u>												
Líq.1	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	- menor de 0,01	-----	-----	-----	0,01	0,01	0,02
<u>Fosfatos</u>												
Líq.1	0,03	0,05	0,02	0,01	0,01	---menor de 0,01	-----	-----	-----	0,01	0,02	0,02
<u>Salinidad</u>												
Líq.1	269	325	218	109	56	36	32	31	43	87	180	174
Líq.2	53	64	43	21	11	7	6,2	6,2	8,5	17	35	34

P U N T O B ( Cajón y Cambuche)

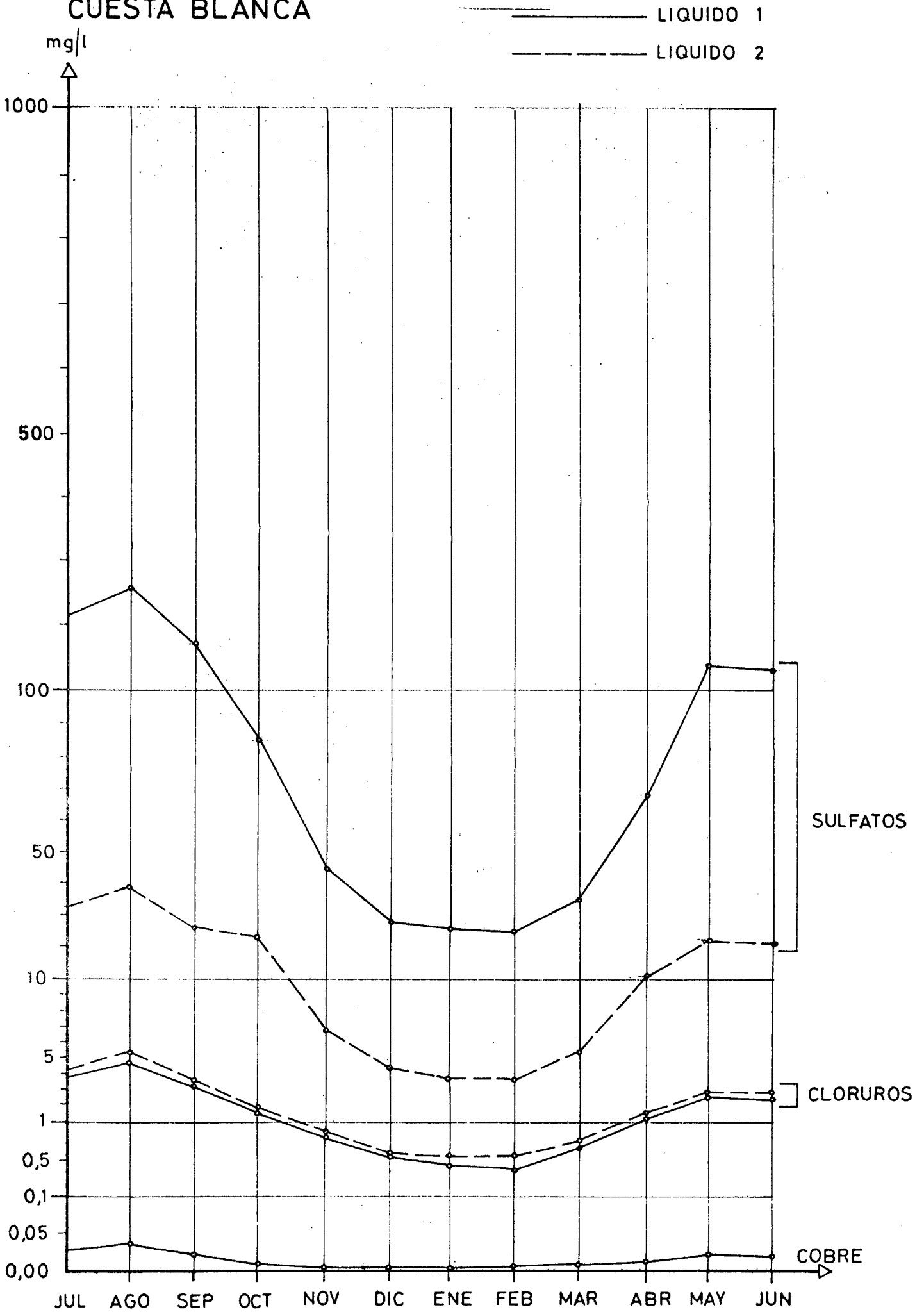
<u>Sulfatos</u>												
Líq.1	1030	1241	841	423	220	140	125	123	170	340	695	674
Líq.2	155	186	127	65	34	22	19	19	26	56	106	102
<u>Cloruros</u>												
Líq.1	18	22	15	7,6	3,9	2,5	2,2	2,2	3,	6,1	12	12
Líq.2	20	24	17	8,5	4,4	2,8	2,5	2,5	3,4	6,9	14	13
<u>Amonio</u>												
Líq. 1	29	35	24	12	6,1	3,9	3,5	3,4	4,7	9,5	19	19
<u>Calcio</u>												
Líq.1	7,5	9,1	6,1	3,1	1,6	1	0,9	0,9	1,2	2,5	5,1	4,9
Líq 2	38	45	31	16	8,3	5,3	4,7	4,6	6,3	13	26	25
<u>Magnesio</u>												
Líq.1	17	21	14	7,1	3,7	2,3	2,1	2,1	2,8	5,7	12	11
Líq.2	11	13	9	4,6	2,4	1,5	1,4	1,4	1,9	3,7	7,5	7,3
<u>Hierro</u>												
Líq.1	2,7	3,2	2,2	1,1	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,9	1,8	1,8

	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<u>Manganeso</u>												
Líq. 1	14	16	11	5,6	2,9	1,8	1,6	1,6	2,2	4,5	9,1	8,9
Líq. 2	0,6	0,7	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4
<u>Zinc</u>												
Líq. 1	1,6	1,8	1,2	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,25	0,5	1,0	1,0
<u>Aluminio</u>												
Líq. 1	161	194	131	66	34	22	19	19	26	53	109	105
<u>Sodio</u>												
Líq. 1	8,4	10	6,9	5,4	1,8	1,1	1,0	1,0	1,4	2,8	5,7	5,5
Líq. 2	8,8	10,5	7,2	3,7	1,9	1,2	1,1	1,1	1,5	2,9	6,0	5,7
<u>Potasio</u>												
Líq. 1	9,1	10,9	7,4	5,7	1,9	1,2	1,1	1,1	1,5	3,0	6,1	5,9
Líq. 2	17	21	14	7,3	3,8	2,4	2,2	2,1	2,9	5,9	12	11
<u>Cobre</u>												
Líq. 1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,1	0,1
<u>Fosfatos</u>												
Líq. 1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,1	0,1
<u>Salinidad</u>												
Líq. 1	1308	1575	1067	537	279	178	158	156	214	432	882	856
Líq. 2	251	301	206	105	55	35	31	31	42	85	171	166

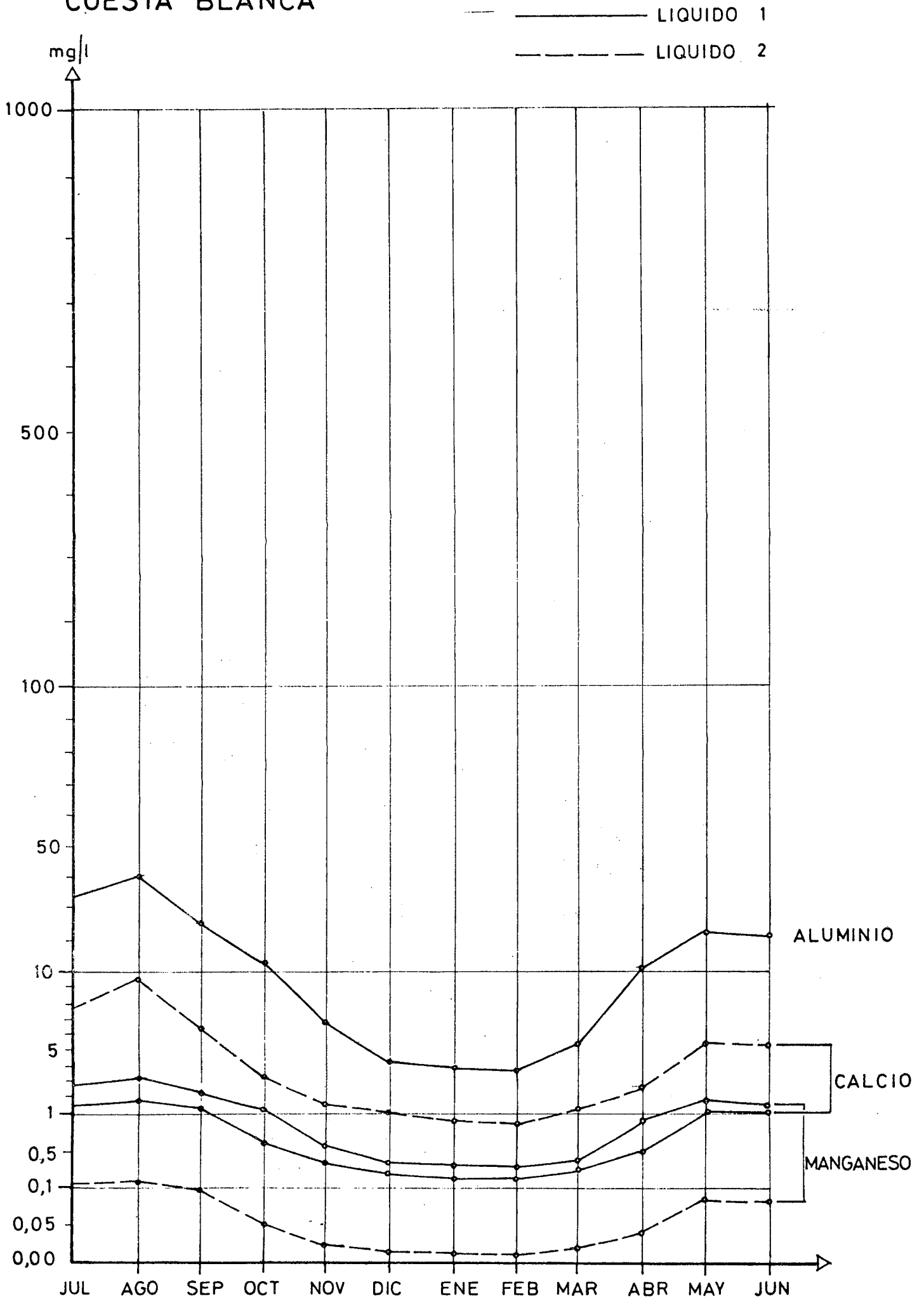
# CUESTA BLANCA



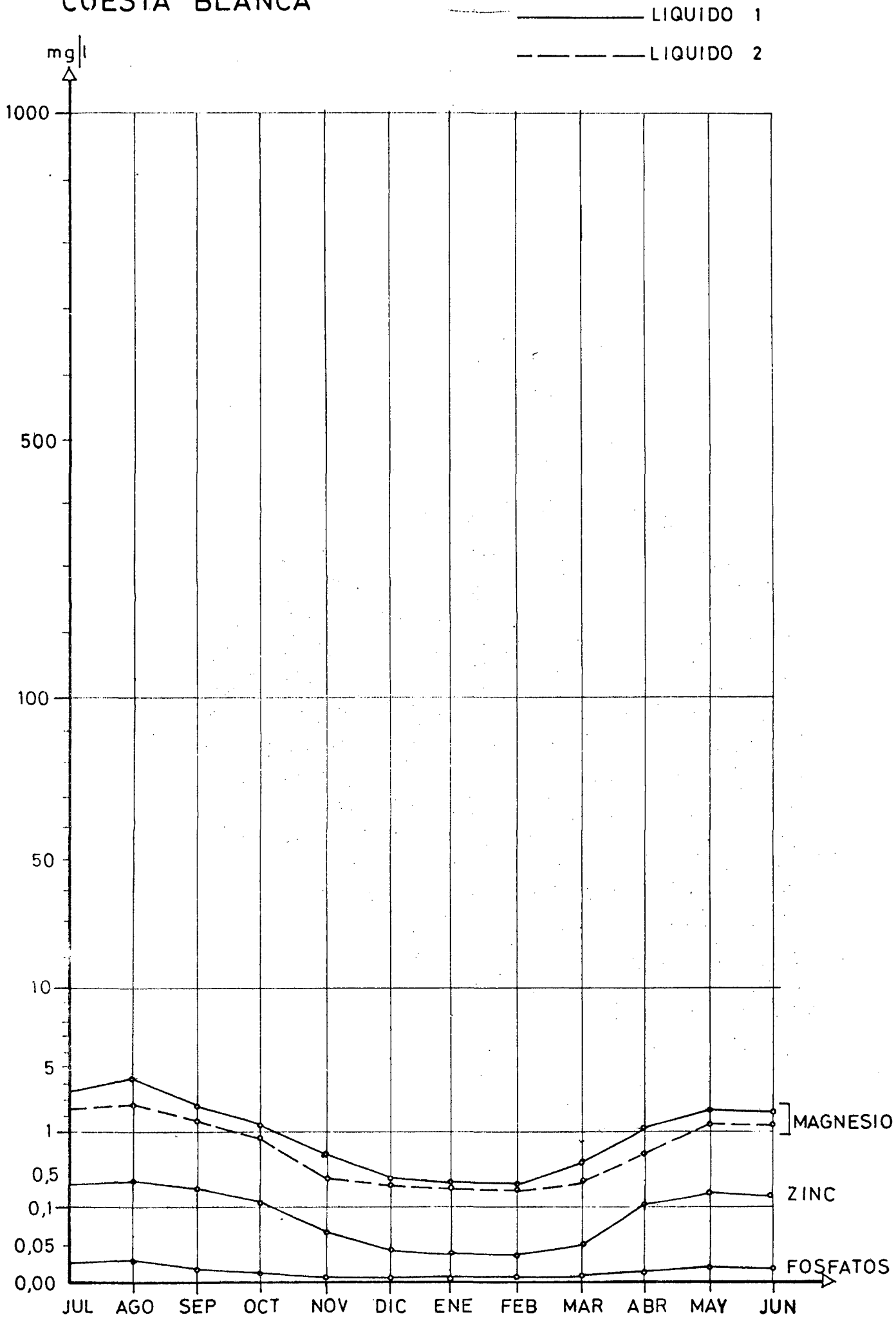
# CUESTA BLANCA

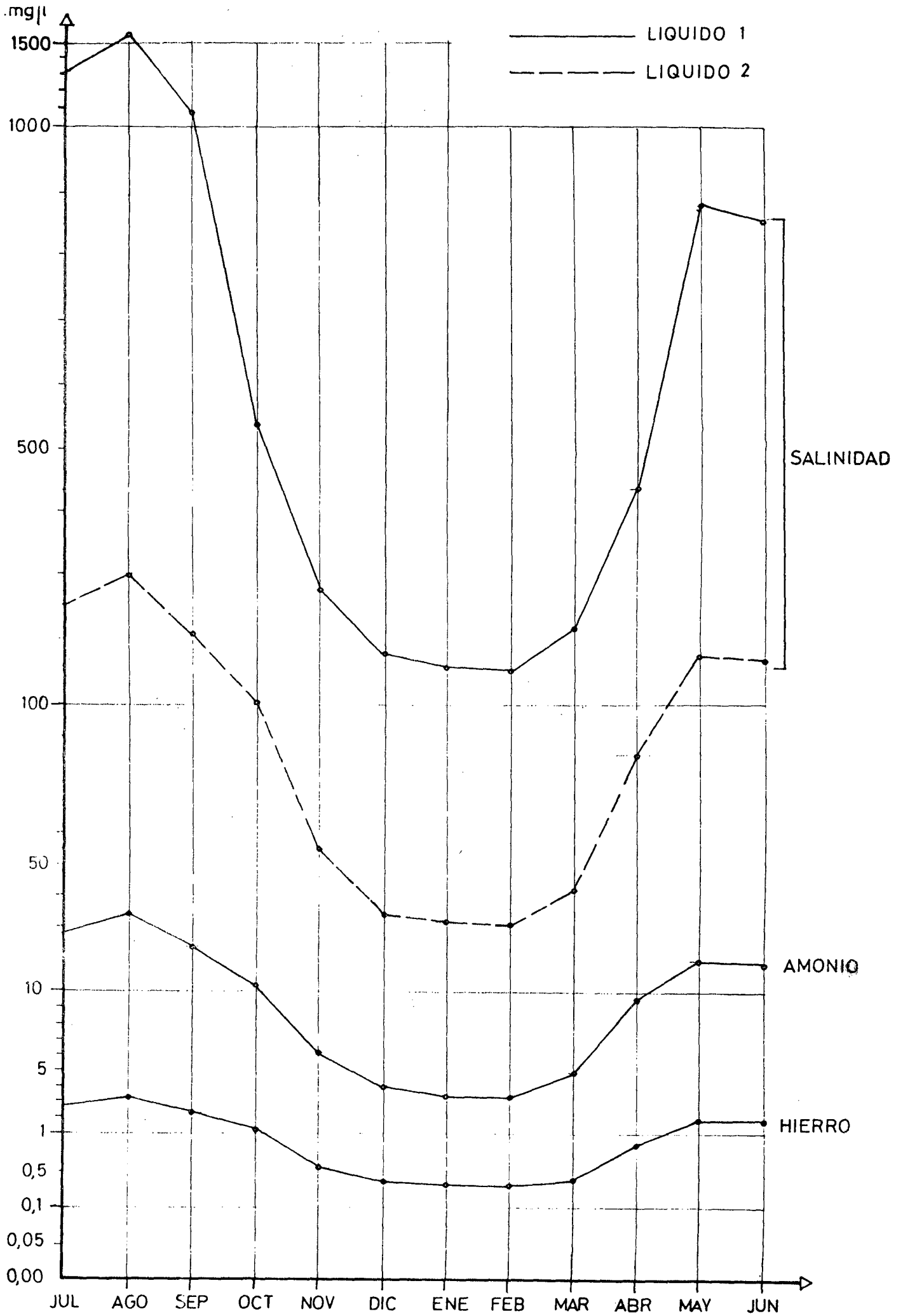


# CUESTA BLANCA

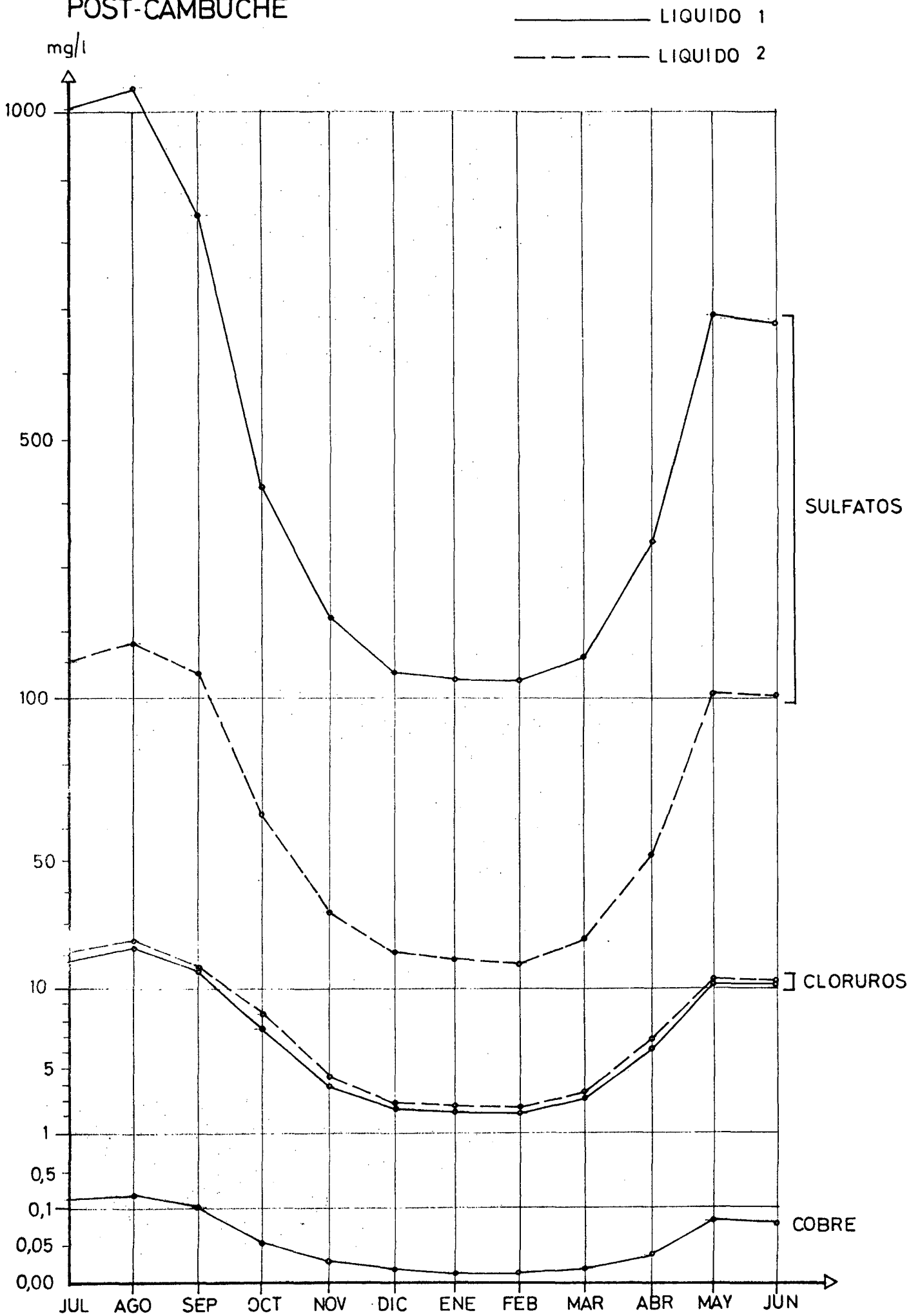


# CUESTA BLANCA

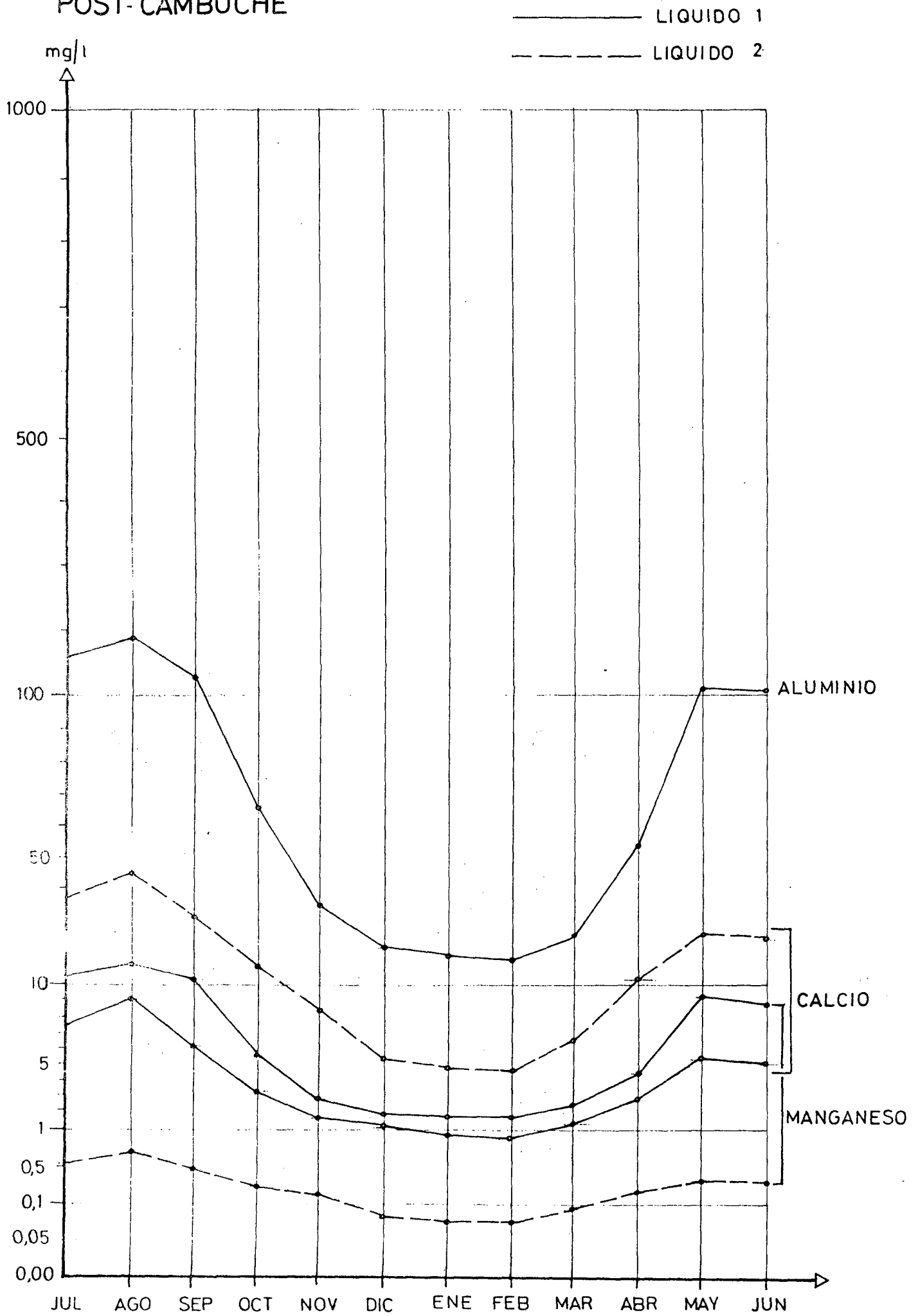




# POST-CAMBUCHE



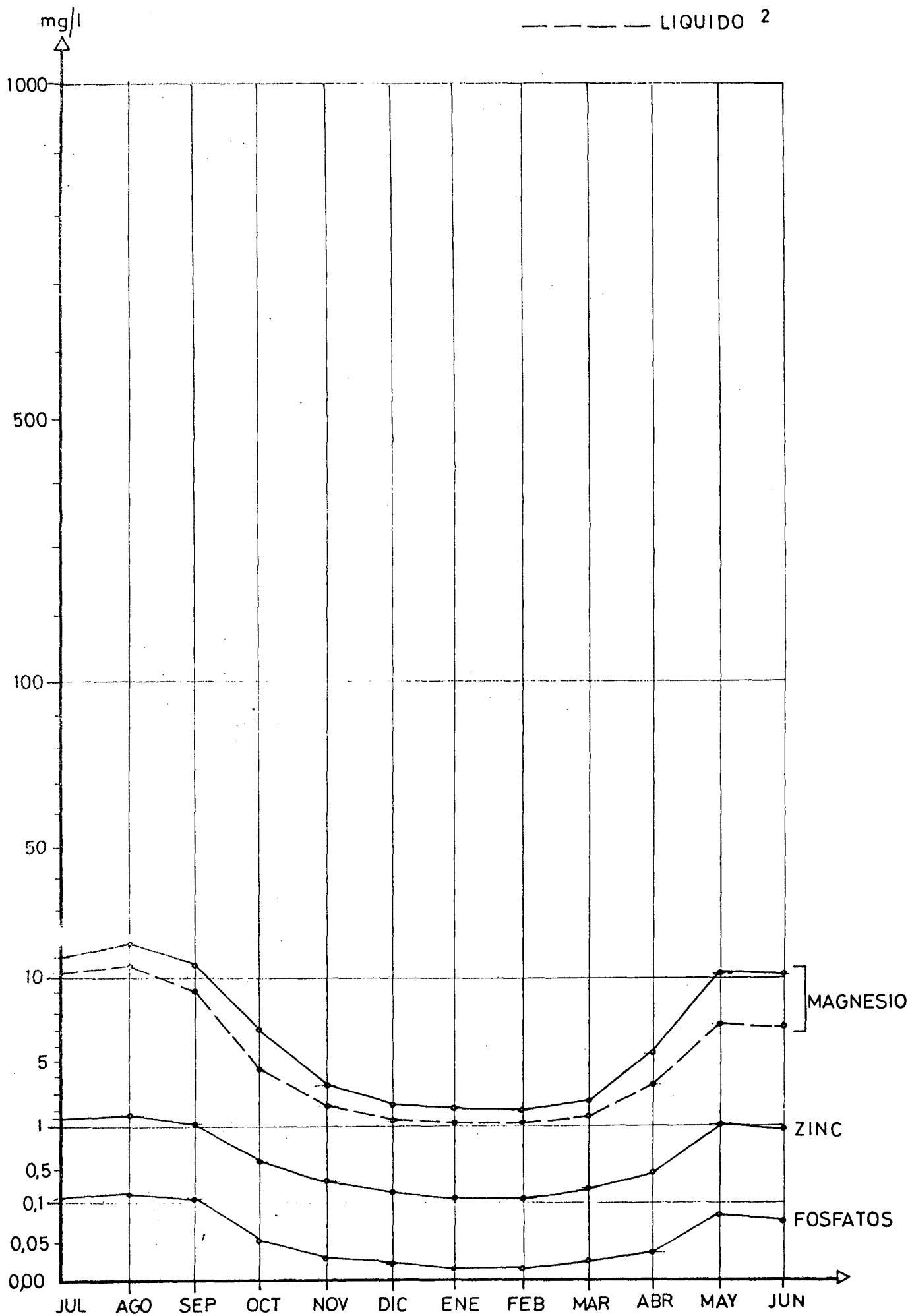
# POST-CAMBUCHE



# POST-CAMBUCHE

LIQUIDO 1

LIQUIDO 2



Debe no obstante tenerse en cuenta que en estos cálculos no se ha considerado la interacción con el agua natural que produciría por acción microbiológica una disminución en los valores de amonio, sin contar su absorción como nutriente por los vegetales y una disminución de hierro y manganeso por precipitación.

Este ejercicio de pronóstico y planificación ambiental muestra que un efluente como el N° 2 puede volcarse a receptores de caudal relativamente escaso sin que se produzcan daños sensibles al medio.

El efluente N° 1 traería problemas sensibles, sólo en el punto B consistentes en elevado sulfato, amonio y manganeso, mientras que en el punto A estos problemas pueden considerarse menores.

Es evidente que no debe autorizarse el vuelco de líquido sin tratar.

## 7 Esbozo de una política de vuelco

### 7.1 Caudales variables

Del estudio de los caudales estimado resulta claro que pueden distinguirse dos fases en el ciclo anual. La fase de estiaje de mayo a setiembre y la fase máxima entre octubre y abril.

Los caudales medios en cada fase resultan ser:

Estiaje: En Cuesta Blanca:  $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalentes a  $49\ 200 \text{ m}^3/\text{d}$   
En Cajón y Cambuche:  $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$  o sea  $9\ 500 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Fase de máxima: En C. Blanca:  $2,76 \text{ m}^3/\text{s}$  o sea  $238\ 400 \text{ m}^3/\text{d}$   
En Cajón y Cambuche:  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$  o sea  $47\ 500 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Sería entonces razonable proponer una política de pauta variable fijando dos volúmenes de vuelco.

Fase de estiaje: 5-6 l/s o sea de 430 a 520  $\text{m}^3/\text{d}$ .

Fase de máxima: 10-20 l/s equivalente a 860-1720  $\text{m}^3/\text{d}$ .

Esta variabilidad del vuelco permitiría la reserva de efluente en meses de sequía intensa con estiaje más pronunciado que los valores medios, para ser liberado con los volúmenes mayores en los meses de lluvia subsiguientes sin que el recurso quede expuesto a daño sensible.

### 7.2 Cálculo de los efectos sobre el receptor

Se procedió a calcular las concentraciones que resultaría en los puntos A y B con las siguientes condiciones:

Vuelco - Invierno (fase de estiaje): 500 m<sup>3</sup>/d  
 Verano (fase de máxima) : 1200 m<sup>3</sup>/d

Efluente: Composición del punto 2.4, o sea un efluente mixto similar al que ocupa actualmente el dique, pero tratado.

Receptor: Composición del agua pre-complejo  
 Sulfatos : 40 mg/l  
 Cloruros : 30 mg/l  
 Amonio : 0,05 mg/l  
 Calcio : 9 mg/l  
 Magnesio : 1 mg/l  
 Sodio : 35 mg/l  
 Potasio : 2 mg/l  
 Nitratos : 1,5 mg/l  
 Salinidad : 160 mg/l

Cálculo: de acuerdo con la composición del efluente y el volumen propuesto de vuelco en invierno y verano, se calculó la concentración que resultaría sumando el aporte del efluente a la concentración propia del agua pre-complejo.

El cuadro da los valores obtenidos en mg/l.

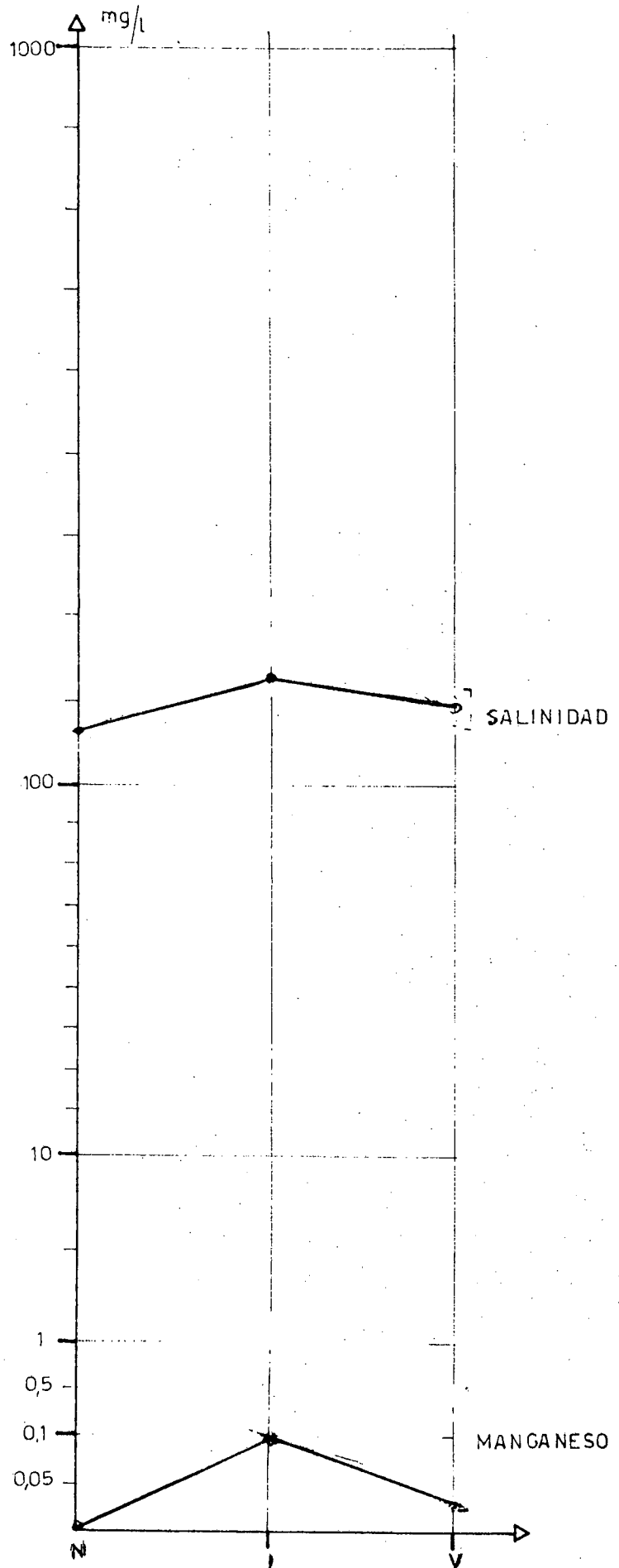
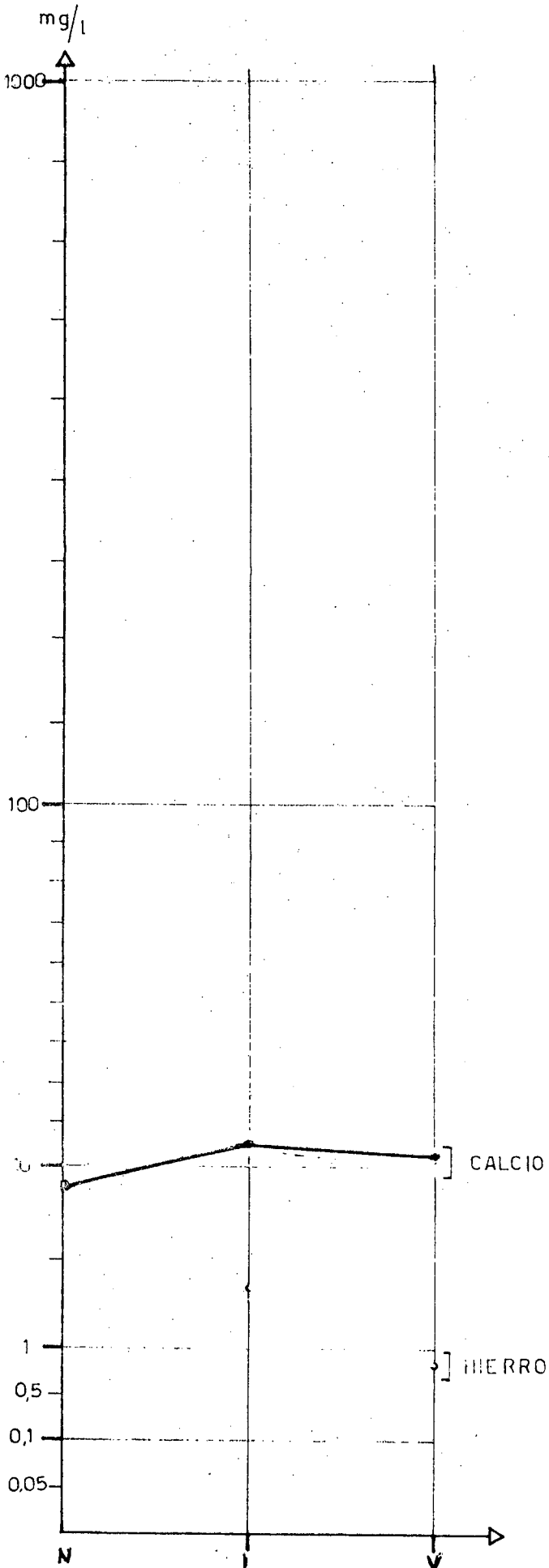
	Invierno		Verano	
	Punto A	Punto B	Punto A	Punto B
Sulfatos	80	240	60	140
Cloruros	36	57	33	44
Amonio	5	25	3	12
Calcio	15	41	12	25
Magnesio	3	11	2	6
Sodio	37	47	36	41
Potasio	5	17	3,5	10
Manganeso	0,1	0,5	0,025	0,12
Nitratos	1,8	3	1,6	2,5
Residuos total	225	490	192	330

Estos valores se han volcado en gráficos para su mejor visualización ya que permite comparar la composición normal del agua del río (valores N) con los resultantes en invierno(I) y verano(V).

LIQUIDOS 1

CUESTA BLANCA

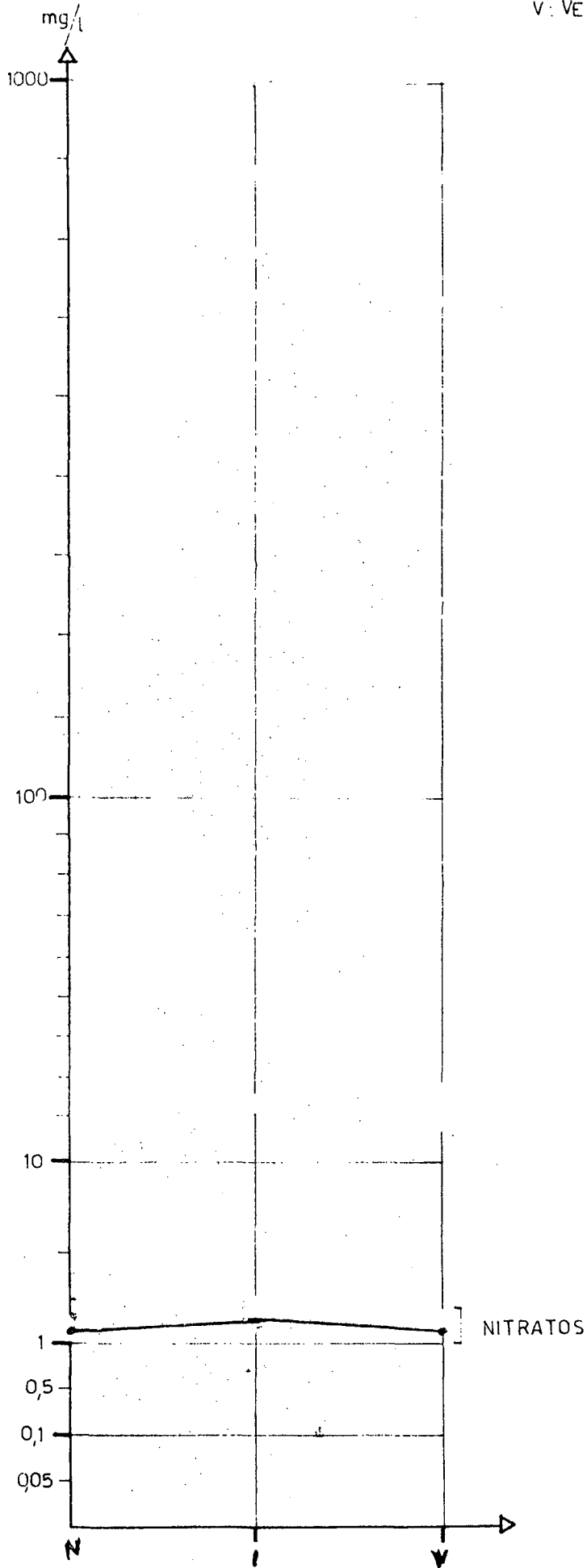
N: NORMAL  
I: INVIERNO  
V: VERANO



LÍQUIDOS

CUESTA BLANCA

N: NORMAL  
I: INVIERNO  
V: VERANO

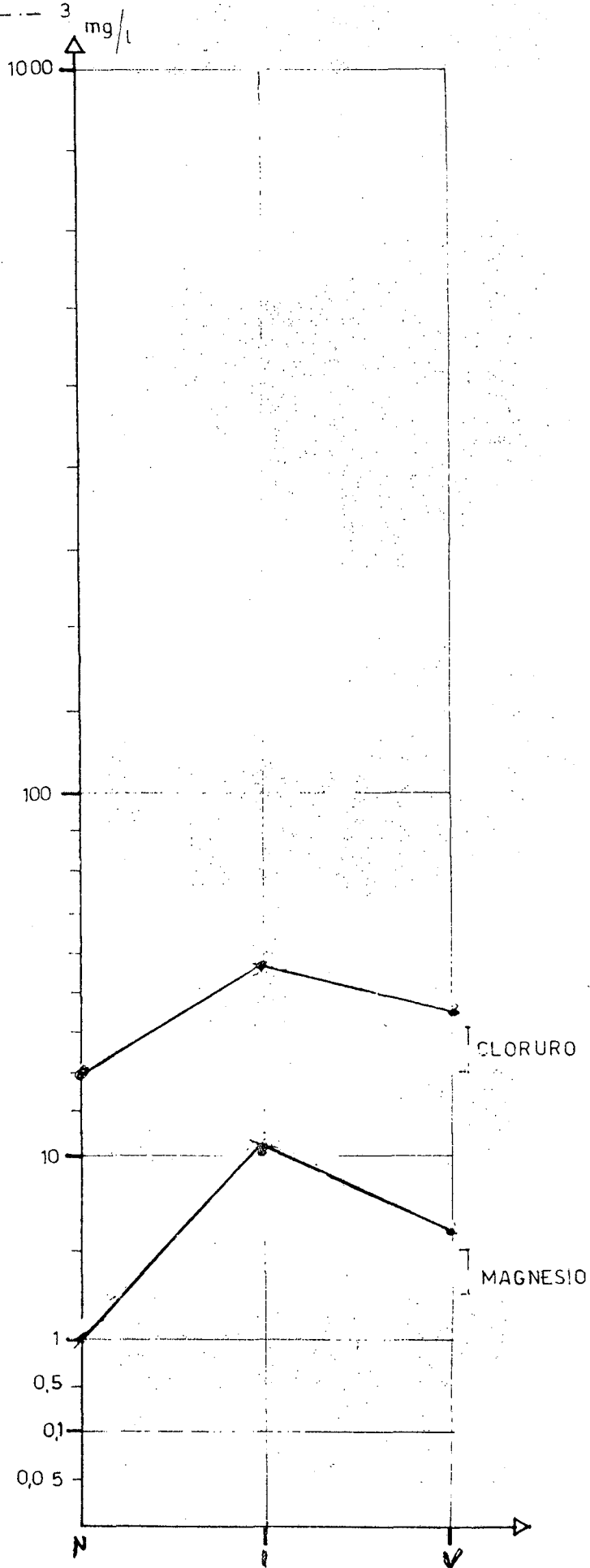
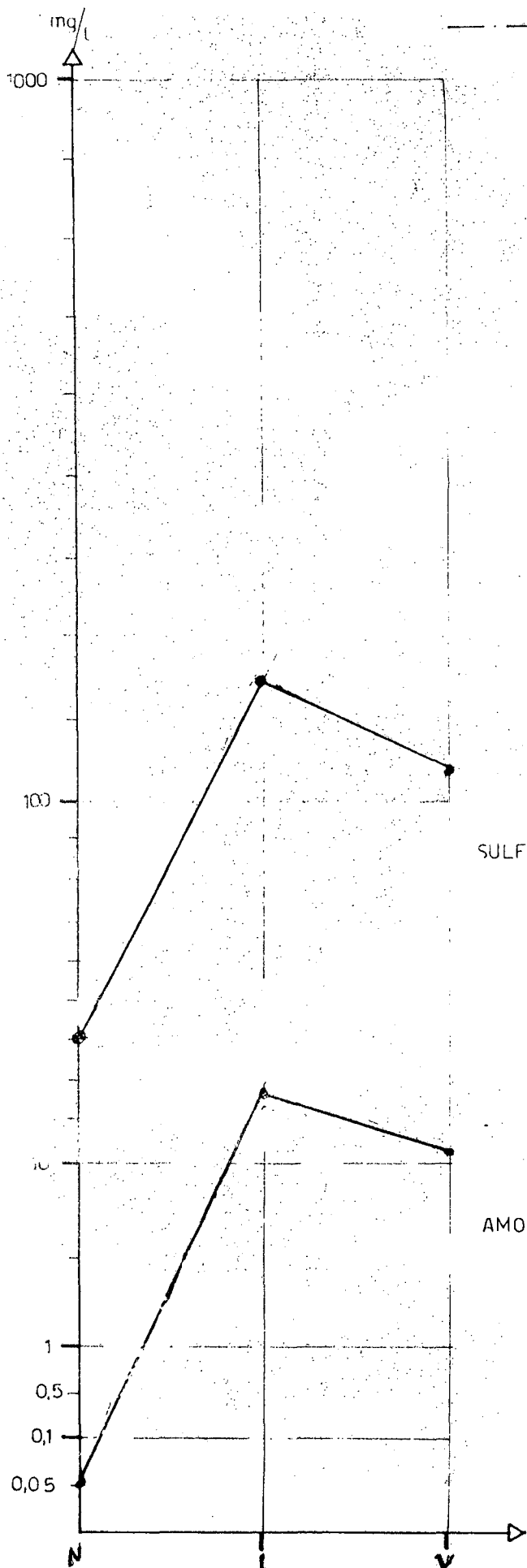


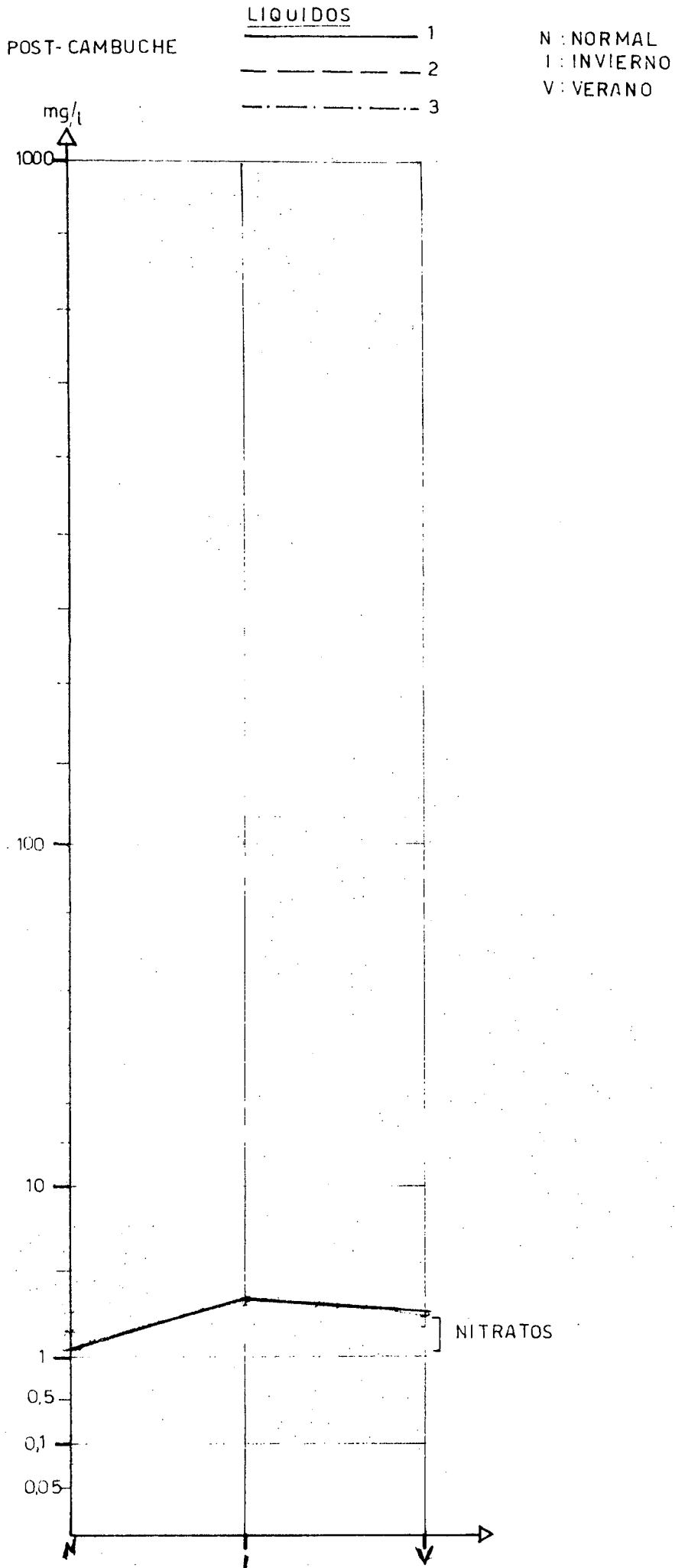
POST-CAMBUCHE

LIQUIDOS

- 1
- - - 2
- · - 3

N: NORMAL  
I: INVIERNO  
V: VERANO

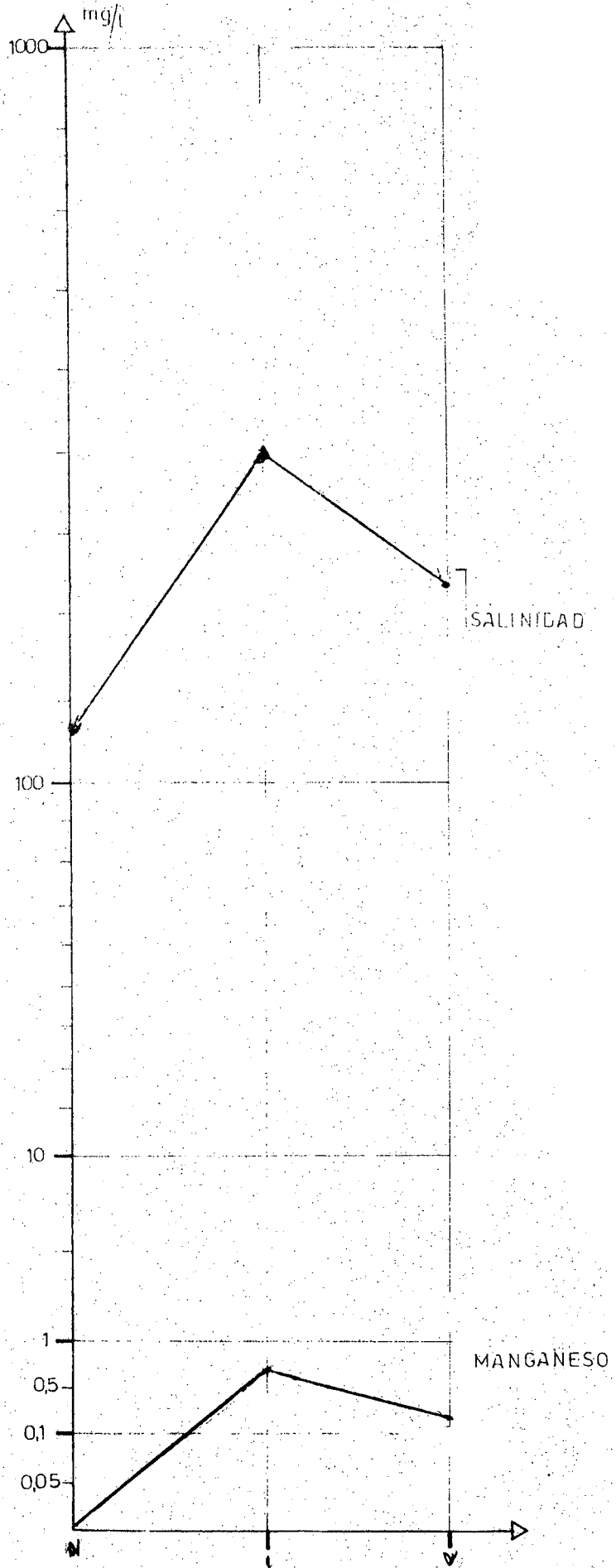
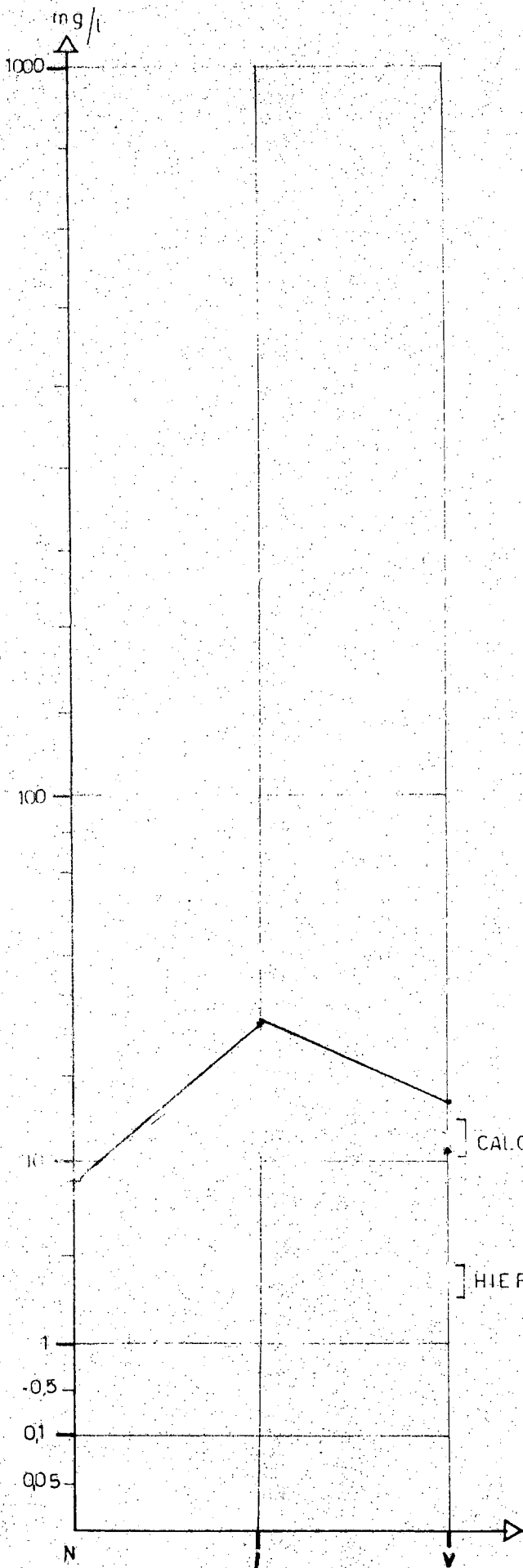




LIQUIDOS

POST-CAMBUCHE

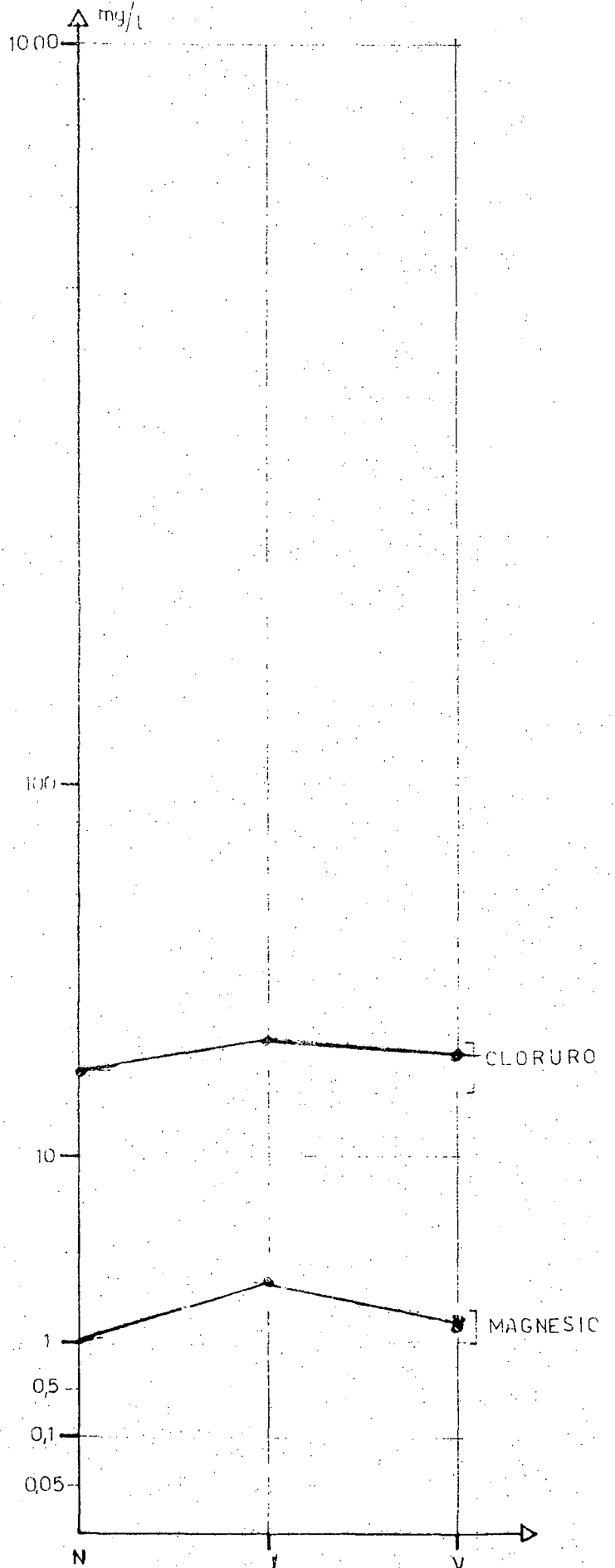
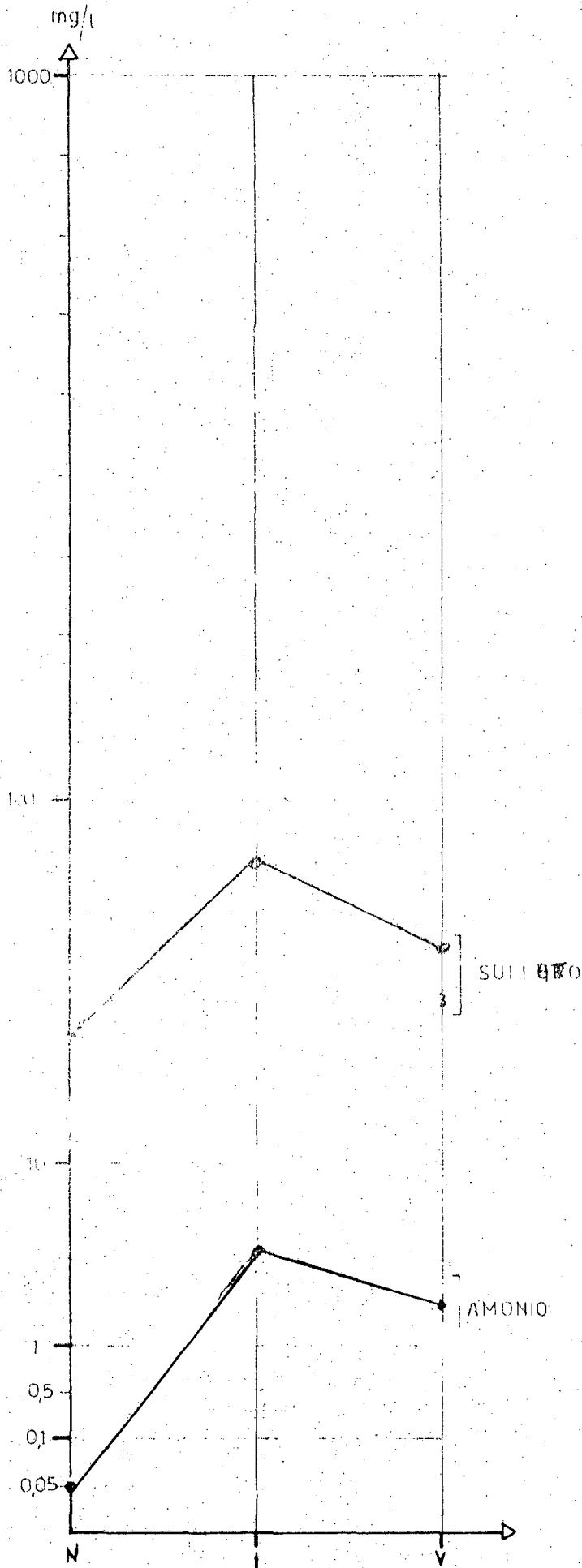
N: NORMAL  
I: INVIERNO  
V: VERANO



CUESTA BLANCA

LIQUIDOS

N: NORMAL  
I: INVIERNO  
V: VERANO



## 8 Conclusiones

El estudio efectuado muestra las ventajas de un análisis completo de las operaciones de fabricación y de los efluentes generados, de modo de clasificarlos, separarlos y tratarlos en forma individual para definir su disposición final.

En este caso la separación de los efluentes de precipitación y lavado de la torta amarilla (ricos en amonio) y el de regeneración y limpieza de columnas (ricos en cloruros y alcalinos), del efluente principal de absorción en las columnas, permite lograr un efluente con menor probabilidad de daño ambiental sensible.

En efecto el efluente no contendrá amonio, nitritos y nitratos disminuirá su concentración en iones sulfato, cloruros y sodio, lo que se traduce en una menor salinidad total.

El estudio muestra también la necesidad de contar con datos hidrológicos fehacientes de la cuenca receptora para un mejor pronóstico de los efectos ambientales y la consiguiente fijación de las pautas para una política de preservación sin daño sensible.

En este caso, ante la ausencia de tales datos fehacientes de debió recurrir a estimaciones existentes que pueden tener un margen de error apreciable.

Para disminuirlo, se recurrió al truncado de los datos superiores para lograr simular condiciones más desfavorables, que permitan calcular las concentraciones con un presumible exceso.

Estos datos se calcularon para cada mes del año y para cada componente y mostraron variaciones estacionales bien netas en los efectos contaminantes.

Esto se debe a la existencia en este caso de un ciclo hidrológico con dos fases bien diferenciadas, lo cual induce a recomendar una política de pauta variable para las dos fases modificando los caudales de vuelco de modo de disminuir el daño en cada fase.

Los cálculos muestran que esta regulación de caudales permite que la inmisión contaminante no tenga mayores fluctuaciones y tampoco cause daño sensible al medio.