

XXX CURSO INTERNACIONAL DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA VEGETAL  
SEVILLA

**CORUROS, SULFATOS Y NITRATOS EN LAS AGUAS DE DRENAJE  
DE UN SUELO FRANCO ARENOSO CULTIVADO DE MAIZ**



Beatriz Neguillo Limones

Julio, 1993.

N.º R. ALEPH 482092  
N.º R. Bib. 4333  
Signat. M/C1-30 NEGUI

INSTITUTO DE RECURSOS  
NATURALES Y AGROBIOLOGIA  
BIBLIOTECA  
Reg. Núm. 4333

El presente trabajo ha sido dirigido por Dña. Elena Fernández Boy, Lda en C.C. Químicas y Becaria de Investigación del Instituto de Recursos Naturales Y Agrobiología de Sevilla (CSIC).

Fdo:



En Sevilla, a 21 de Julio de 1993.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer constar mi agradecimiento a las personas que han hecho posible la realización de este trabajo:

A la licenciada Elena Fernández Boy por su dirección y constante apoyo en la realización experimental y en la redacción de esta memoria.

Al Investigador Científico D. Francisco Cabrera Capitan por sus consejos.

Muy especialmente a la Diplomada María de Gracia Aparicio cuya ayuda ha sido indispensable en la parte práctica y en todo momento estuvo a mi lado.

A mis compañeros de laboratorio por su amistad y colaboración.

Al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas por las facilidades prestadas en al realización del curso.

El presente trabajo se ha  
realizado en el marco del  
CONTRATO STE-CE90-0032-C  
(DSCNS) de la CE.

## INDICE

### I. Introducción

I.1.	Importancia del agua del suelo.....	1
I.2.	Pérdidas de agua en suelo.....	2
I.2.1.	Percolación y lavado. Métodos de estudio.....	3
I.2.2.	Pérdidas de agua por percolación.....	3
I.2.3.	Pérdidas de nutrientes por lavado.....	4
I.2.3.1.	Interacción suelo-nutrientes.....	4
I.2.3.2.	Pérdidas de nutrientes y fertilización.....	4
I.3.	Problemática de un aporte excesivo de sales a un suelo.....	5
I.4.	Problemática de la contaminación derivada del lavado de nutrientes del suelo.....	6
I.4.1.	Efectos del NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en la salud pública.....	6
I.4.2.	Impacto en el medio ambiente.....	7
I.4.2.1.	Eutroficación.....	7
I.4.2.2.	Efectos de la capa de ozono.....	7
I.4.3.	Situación en España.....	8

II.	Objetivo .....	10
-----	----------------	----

### III. Materiales y métodos

III.1.	Muestras estudiadas.....	11
III.1.1.	Localización y caracterización de la zona.....	11
III.2.	Cromatografía iónica.....	13
III.2.1.	Introducción.....	13
III.2.2.	Cromatografía iónica clásica.....	13

III.2.3. Cromatografía iónica moderna.....	14
III.2.4. Parámetros fundamentales del proceso cromatográfico.....	15
III.3. Análisis de muestra.....	18
III.3.1. Determinación de la C.E.....	19
III.3.2. Determinación de aniones por cromatografía iónica.....	19
III.3.2.1. Componentes del cromatógrafo.....	19
III.3.2.2. Procedimiento seguido.....	20
IV. Resultados y discusión	
IV.1. Períodos de estudio.....	21
IV.2. Volúmenes de agua drenadas.....	22
IV.2.1. Conductividad eléctrica.....	23
IV.3. Nitrato.....	23
IV.4. Cloruro.....	25
IV.5. Sulfato.....	26
V. Conclusiones.....	28
VI. Bibliografía.....	30

## I. INTRODUCCION

En las últimas décadas el desarrollo de la agricultura ha supuesto grandes progresos con el consiguiente incremento en la producción y aumento en el rendimiento. La mecanización, ingeniería genética y uso de fertilizantes fundamentalmente nitrogenados lo han hecho posible. Sin embargo, el uso excesivo e incorrecto de fertilizantes puede ocasionar graves problemas en el medio ambiente (Bergstrom, 1987; Addiscott, 1991). En el suelo influye modificando el pH, la estructura y por tanto su ecosistema (Finck, 1985). El agua, factor primordial del medio ambiente, también se ve afectada por este motivo (Duynisveld, 1988; Rossi et al., 1991). La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales es cada vez mayor. Las fuentes principales de esta contaminación son por una parte las actividades de origen industrial y urbano, que provocan una contaminación puntual y localizada en áreas concretas, y por otra parte una contaminación dispersa debida a la actividad agrícola (ITG, 1990).

### I.1. Importancia del agua del suelo

El contenido de agua en el suelo es un factor primordial para satisfacer la demanda de agua que las plantas necesitan para su adecuado desarrollo, la

evotranspiración, es decir, el agua que las plantas pierden por evaporación desde sus partes aéreas es necesaria para un el crecimiento normal y un óptimo desarrollo. El agua pérdida por las plantas en la evotranspiración se origina a partir del agua del suelo.

Es también importante por ser el disolvente de los nutrientes del suelo. La solución del suelo (agua que se encuentra en el suelo) contiene pequeñas pero muy significativas cantidades de sales disueltas, muchas de las cuales son esenciales para la vida de las plantas. Los nutrientes son intercambiados entre el suelo y su solución y desde ésta son intercambiados por las raíces de las plantas. Estos intercambios están condicionados por la concentración de sales en la solución del suelo la cual depende de cantidad de sales en el suelo en si (Brady, 1984).

El agua del suelo es además, en muchas ocasiones responsable de serios problemas de erosión y de contaminación. La contaminación es cada vez más preocupante y está siendo objeto de profundos estudios, especialmente aquella provocada por los nitratos (Apartado I.4)

## I.2. Pérdidas de agua en suelo

Se distinguen dos tipos de pérdidas de agua en suelo. Por un lado están las pérdidas por movimiento de agua libre desde capas superficiales hacia capas mas profundas, se trata de pérdidas por percolación. Por otro lado se sitúan las pérdidas por escorrentía, éstas son originadas por un exceso de agua en la superficie del suelo. La percolación obtiene como resultado la pérdidas de sales solubles, y en ocasiones de nutrientes esenciales para las plantas. La escorrentía no sólo

conlleva un movimiento de agua sino también de suelo ocasionando erosión.

#### I.2.1. Percolación y lavado. Metodos de estudio.

Para el estudio de la percolación y lavado de sales se suelen emplear dos métodos: utilización de drenes cerámicos y utilización de lisímetros (del griego *lisis* = pérdidas y *meter* de medida). La utilización de drenes cerámicos permite estudiar zonas concretas bajo condiciones de campo inalteradas, el drenaje ha de ser eficiente .

La utilización de lisímetros permite determinar pérdidas por lavado bajo condiciones más controladas. El suelo se toma desde el campo y sin alterarlo se sitúa en tanques normalmente metálicos, o también pueden rellenarse lisímetros sin conservar la distribución original del suelo (estos suelen ser de menor tamaño).

#### I.2.2. Pérdidas de agua por percolación

Cuando la cantidad de agua que recibe un suelo supera su capacidad de campo se producen pérdidas de agua por percolación. La percolación está influenciada por varios factores: cantidad y distribución del agua de lluvia y en su caso de riego, escorrentía, evaporación y características del suelo y del cultivo que en él se desarrolla.

Este fenómeno está muy relacionado con las condiciones atmosféricas, teniendo lugar fundamentalmente durante el invierno y al principio de la primavera cuando la evaporación es menor y el aporte de agua por lluvias mayor. En contraste, en verano se registra una percolación casi nula.

En áreas cultivadas la percolación es mayor que en las áreas que no lo están, y por el contrario la

evaporación en las primeras supera a las segundas. En todos los suelos se dará un balance percolación-evaporación debidamente ajustado.

### I.2.3. Pérdidas de nutrientes por lavado

Las pérdidas de nutrientes por lavado están determinadas por las condiciones climáticas (del mismo modo que como se ve afectada la percolación; ver apartado I.2.2.) y por la interacción suelo-nutrientes.

#### I.2.3.1. Interacción suelo-nutrientes

Las propiedades del suelo tienen un efecto determinante en el lavado de nutrientes. Los suelos arenosos generalmente permiten mayores pérdidas que los arcillosos, debido a que permiten una mayor percolación y a que tienen un menor poder de absorción de los nutrientes. Sirva como ejemplo el ión fosfato que se une rápidamente mediante un enlace químico a los suelos con altos contenidos en óxidos de hierro y aluminio (por tanto, en suelos de textura media-fina que contienen estos minerales este anión se pierde en muy poca cantidad), o los iones nitrato y sulfato que reaccionan por intercambio iónico con óxidos hidratados de hierro y aluminio (por este motivo se perderá menos nitrato y sulfato de suelos rojos que contienen óxidos de hierro que de aquellos que no lo contienen).

#### I.2.3.3. Pérdidas de nutrientes y fertilización

Existen prácticas de manejo que favorecen las pérdidas de nutrientes. Un ejemplo lo constituye la fertilización que en algunas zonas se realiza con mucha antelación a la siembra, los nutrientes aportados pueden perderse si se dan precipitaciones intensas incluso antes de que el cultivo se haya sembrado. Generalmente las

pérdidas de nitrato (nutriente mayoritariamente utilizado en la fertilización) van parejas con la percolación. Asimismo, los suelos regables en zonas áridas que reciben una intensa aplicación de fertilizantes registran considerables pérdidas de nitrato durante el período de riego intensivo (Brady, 1984).

### I.3. Problemática de un aporte excesivo de sales a un suelo.

Cuando se realiza un aporte continuo de sales a un suelo se corre el peligro de transformarlo en un suelo salino. La adición de altas cantidades de fertilizantes y de aplicaciones intensas de riegos con agua de baja calidad puede ocasionar este tipo de problemas.

Los denominados suelos salinos contienen cantidades de sales suficientes para interferir en el normal crecimiento de las plantas. La conductividad eléctrica en el extracto saturado en estos suelos es superior a 4 dS/m. Son, en general suelos muy poco fértiles.

Los suelos salinos se desarrollan en zonas en las que la pluviometría anual es escasa y el drenaje está impedido. En dichos suelos la evaporación es muy intensa y el contenido en sales muy alto. Las sales solubles se acumulan en la superficie de los mismos. Son suelos de difícil manejo y poco productivos.

Este fenómeno debe evitarse en lo posible, sobre todo en zonas potencialmente transformables, como son suelos de regiones áridas y semiáridas. El control de la lixiviación y aporte de sales en estos suelos es fundamental en la prevención del fenómeno que se ha descrito.

#### I.4. Problemática de la contaminación derivada del lavado de nutrientes del suelo

La contaminación por nitrato de las aguas superficiales y subterráneas se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Ello se debe a que el nitrógeno es un elemento comúnmente deficiente en los suelos y es fundamental para el desarrollo de los cultivos siendo necesario un aporte continuo e intenso del mismo para obtener altos rendimientos en las cosechas (Dowdell et al., 1984; Honeycutt et al., 1991). Para la utilización eficiente del nitrógeno se requiere la habilidad de predecir su formación desde diversas fuentes: fertilización mineral, materia orgánica del suelo, residuos de cultivos anteriores y fertilización orgánica.

La contaminación de las aguas subterráneas es de particular importancia dado que parte del agua de consumo humano proviene principalmente de ella (Rossi et al., 1991).

##### I.4.1. Efectos del $\text{NO}_3^-$ en la salud pública

El interés medioambiental por el nitrato se debe a que concentraciones elevadas del mismo en las aguas de consumo humano pueden producir metahemoglobinemia en lactantes, debido a que el ión nitrato puede sufrir en el organismo un proceso de reducción a ión nitrito, el cual oxida el hierro ferroso de la hemoglobina al estado férrico, dando lugar a la formación de la metahemoglobina, la cual es incapaz de fijar el oxígeno y en consecuencia, de transportarlo hacia los tejidos (Ramos, C., 1992)

La primera manifestación clínica es la cianosis, con aparición de una tonalidad azulada característica en la piel. A medida que aumenta el porcentaje de

metahemoglobina aparecen signos de anoxia, hasta producir coma en las proximidades del límite letal.

Si bien los adultos poseen un sistema enzimático capaz de convertir rápidamente la metahemoglobina en oxihemoglobina, éste no se encuentra completamente desarrollado en los lactantes de edad inferior a tres meses, por lo que este sector de la población es el más expuesto a los efectos derivados de la ingestión de nitratos en el agua.

Aunque no se dispone aún de datos fidedignos, se ha llegado también a apuntar la posibilidad de que nitratos y nitritos, pueden actuar como precursores de ciertas sustancias carcinogénicas (nitrosaminas y nitrosamidas) (ITG, 1989).

#### I.4.2. Impacto en el Medio Ambiente

##### I.4.2.1. Eutroficación

Las aguas superficiales, lagos y pantanos ven incrementada la actividad biológica cuando cuando aumenta la cantidad de nutrientes, sobre todo N y P. Tales cambios podrían ser también beneficiosos, por incrementar la producción de pescados en aguas poco productivas. Sin embargo, cuando el aumento de N y P es muy excesivo proliferan algas y microfitos acuáticos (eutroficación) que al morir se depositan en el fondo disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto y la claridad del agua (Keeney, 1982).

##### I.2.4.2. Efectos en la capa de ozono

En las últimas décadas se ha incrementado la preocupación por la disminución de la capa de ozono ( $O_3$ ) de la estratofera. El peligro radica en que disminuye la protección a las radiaciones UV del sol.

Existen muchos factores perjudiciales: vapor de agua, compuestos  $\text{NO}_x$  provenientes de transportes supersónicos, compuestos clorofluorocarbonados, y producción de  $\text{N}_2\text{O}$  por nitrificación y desnitrificación. En la estratosfera, el  $\text{O}_3$  se origina por fotólisis del oxígeno molecular por radiación ultravioleta; ello no ocurre en la atmósfera, pues la luz de esa  $\lambda$  no penetra a través de la estratosfera. Hay muchas fuentes naturales de  $\text{O}_3$  que, además, varía en el tiempo.

#### I.4.3. Situación en España

Después del estudio realizado por ITGE en Febrero de 1988 se pone de manifiesto toda una completa gama de situaciones y niveles de afección, que comprende desde acuíferos de calidad óptima, hasta los que padecen un grado de contaminación extremo. A escala general, la Cuenca Norte (Asturias y Cantabria) se encuentra entre las zonas más favorables, mientras que ciertas áreas del litoral mediterráneo, especialmente el tramo comprendido entre Gerona y norte de Alicante, se encuentran gravemente afectadas. Entre las zonas interiores, la Cuenca del Guadiana en general y la provincia de Ciudad Real en particular, presentan un importante grado de deterioro, así como también la zona central de la Cuenca del Duero, y ciertos sectores de las provincias de Madrid y Toledo, en la Cuenca del Tajo. Una situación semejante se presenta en la isla de Mallorca, así como al norte de las islas de Tenerife y Gran Canaria.

A nivel general se observa que las regiones más afectadas coinciden con zonas de intensa explotación agrícola y fuertes extracciones de agua subterránea, en las que se establece un circuito de recirculación a través de los riegos y, en consecuencia, un

enriquecimiento progresivo del agua en compuestos nitrogenados.

En lo que respecta a la evolución temporal (período 1976-87), los resultados ponen de manifiesto una tendencia al alza en el contenido de nitratos, tanto de los acuíferos más afectados, como de aquellos que aunque en situación satisfactoria, comienzan a manifestar los primeros síntomas de contaminación.

Las previsiones de evolución hacia el futuro de esta problemática no son optimistas. De mantenerse el actual ritmo de crecimiento del consumo de fertilizantes nitrogenados sin que medie modificación alguna en las prácticas agrícolas, es previsible que aumente el número de zonas afectadas y se incrementen los niveles de contaminación en los acuíferos que la padecen. Esta situación, similar a la de muchos otros países europeos, debe ser asumida tanto por los organismos encargados de la protección de los recursos hídricos, como por los responsables en materia agrícola. Su acción conjunta es indispensable para aportar soluciones a esta inquietante problemática, en las que se coordinen los intereses de los usuarios del agua y de los productores agrícolas.

## IL OBIETTIVO

El objetivo del presente trabajo es estudiar las pérdidas de nitrato, cloruro y sulfato que se producen en un suelo franco arenoso bajo condiciones controladas. Se estudiará las concentraciones de dichos nutrientes en el agua de percolación de dos lisímetros que han sido cultivados con maiz y fertilizados con distintas dosis de abono.

### III. MATERIALES Y METODOS

### III.1. Muestras estudiadas

Se estudiarán muestras de agua de drenajes de dos lisímetros monolíticos de suelo inalterado. Un lisímetro es un dispositivo para la medida de las pérdidas de agua y lavado de nutrientes en una columna de suelo bajo condiciones controladas. En este caso, cada lisímetro se construyó clavando en el suelo un cilindro de hierro de 1 m de diámetro y 1,5 m de altura. Posteriormente se excavó a su alrededor y se suspendió para colocarlo de nuevo en el mismo sitio sobre un cilindro del mismo diámetro y de 20 cm de altura relleno de grava con una abertura que permita la recogida de las aguas de lavado de la columna de suelo. Finalmente el hueco alrededor del cilindro se rellena con suelo excepto la parte en que está la abertura que se revistió con ladrillos permitiendo la toma de muestra (Figura III.1).

#### III.1.1. Localización y caracterización de la zona.

Los lisímetros están situados en una parcela experimental en el Aljarafe sevillano, más concretamente en la finca experimental Aljarafe del CSIC en Coria del Río a unos 13 kms al suroeste de Sevilla. Desde el punto de vista fisiográfico se localiza en el Aljarafe alto, en

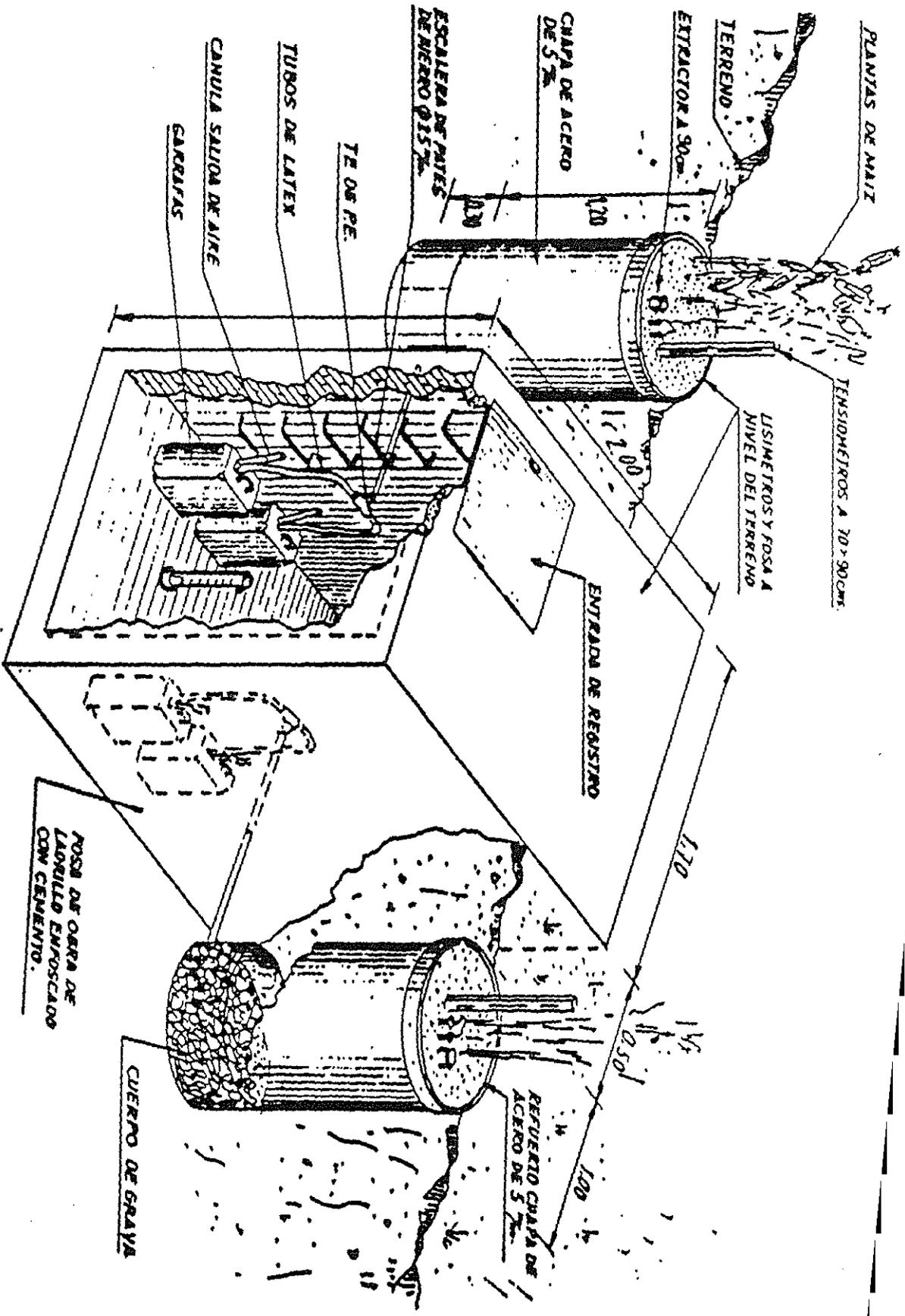


Figura III.1 Estructura de los lisímetros

la unidad geomorfológica denominada meseta o penillanura del Aljarafe (Figura III.2).

Los suelos de la finca y por tanto el de los lisímetros pertenecen al Mioceno del Aljarafe y se caracterizan por ser profundos, bien drenados, pardos a pardo-amarillentos, franco-arcilloso-arenosos, con relieves ligeramente ondulados y pendientes de 3 a 6% habiéndose formado a partir de areniscas calizas (Mudarra, 1988). Según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), el suelo de la parcela puede ser clasificado como Xerochrepts.

El clima de la zona es templado, típicamente mediterráneo, con inviernos húmedos y suaves y veranos calurosos y secos. Según la clasificación climática de Thornwhite (1948), el clima de la zona es Mesotérmico-seco-subhúmedo. La media pluviométrica es de 500 mm anuales aproximadamente distribuyéndose fundamentalmente en los meses de otoño e invierno.

La media anual de temperatura es de 17,5°C; las temperaturas más elevadas corresponden a los meses de julio y agosto (34°C) mientras que las más bajas corresponden a los meses de diciembre y enero (5°C).

Con respecto al suelo, el régimen de humedad es Xérico y el de temperatura Térmico según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). La temperatura anual del suelo es de unos 17,5°C y la temperatura media del verano con respecto a la media del invierno difiere en 13,4°C (Mudarra, 1988).

La finca tiene su propia estación meteorológica en la que se registran datos de temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, insolación y evaporación en tanque "A".

- ◆◆◆◆◆ LIMITE DEL PAIS
- DE LA REGION
- - - - - DE PROVINCIA

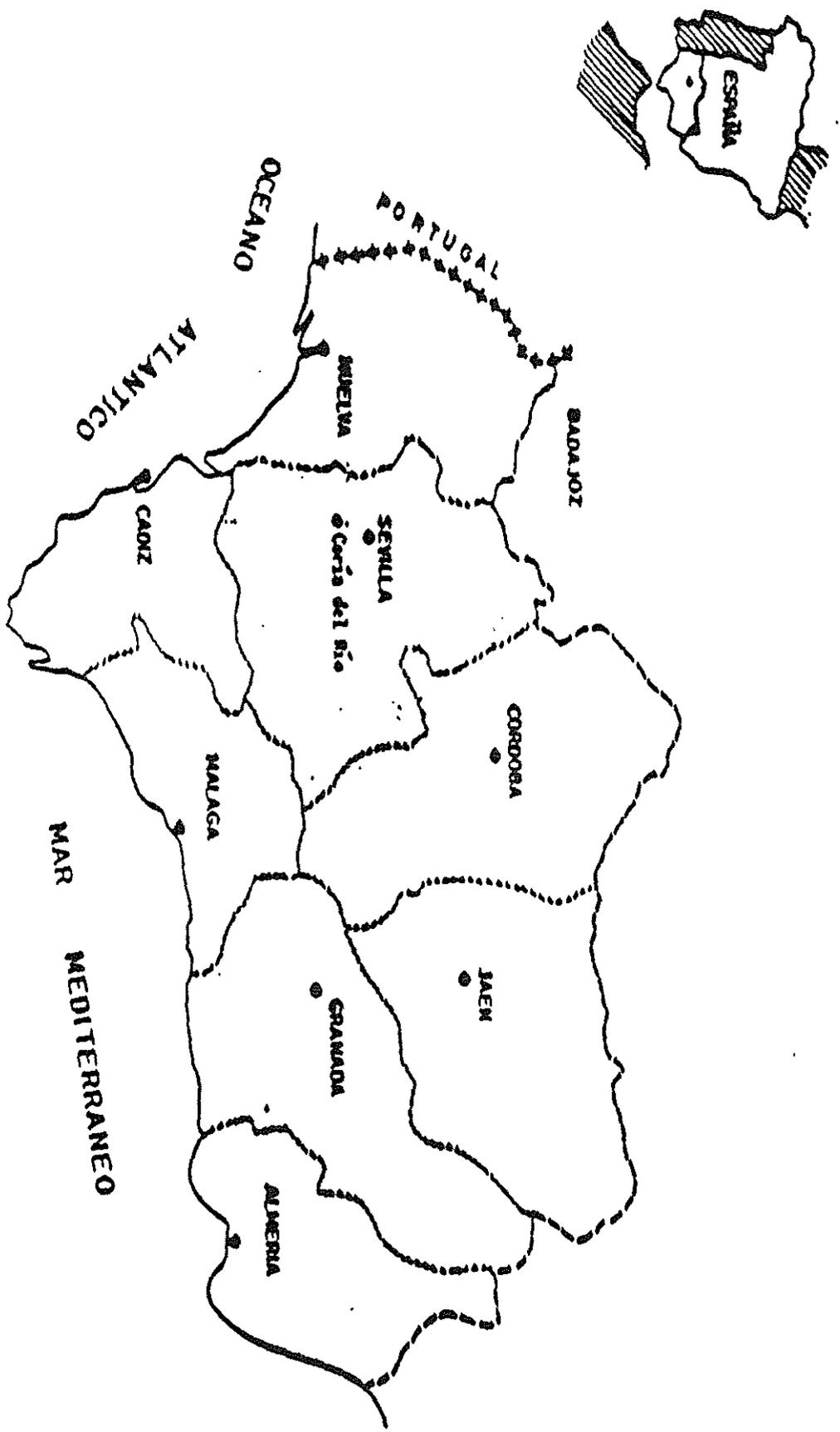


Figura III.2 Situación geográfica de Coria del Río



En el suelo de los lisímetros se cultivó maíz de la especie *Zea mays* LCV prisma. Aunque el interés del presente trabajo no se centra en datos del cultivo.

### III.2.Cromatografía iónica

#### III.2.1. Introducción

La cromatografía iónica es una técnica basada en la separación de sustancias por su diferente migración en una columna de intercambio iónico o en una lámina impregnada con un intercambiador iónico. Los iones de las muestras son desplazados de la columna con una solución de eluyente. Se establece una competencia entre los iones de la muestra y los del eluyente por reaccionar con los grupos funcionales del intercambiador iónico. La habilidad del ión de la muestra de competir con el ión del eluyente depende de la naturaleza del intercambiador y de cada ión particular de la muestra. La afinidad de cada ión es única y ello constituye la base del proceso de separación de mezclas de distintos iones (Gjerde, 1987).

#### III.2.2. Cromatografía iónica clásica

La cromatografía iónica antigua difiere de la actual en el modo en que el eluyente y la muestra se introducen en la columna, en el tipo de columna y en el empaquetamiento de la misma. La separación requería largo tiempo y se solía hacer impregnando primero la columna con un disolvente adecuado, adicionando la muestra en la parte superior y añadiendo finalmente el eluyente que descendería por la columna por el efecto de la gravedad, resultando el proceso en ocasiones muy lento o inexistente. El método clásico de controlar el proceso era discontinuo, se recogían fracciones del líquido que

fluía de la columna manualmente o con ayuda de un colector de fracciones automático. El tamaño de las fracciones se determinaba contando las gotas, colectando un volumen predeterminado o cambiando el tubo colector después de un intervalo de tiempo fijo. Cada fracción se analizaba químicamente y los cromatogramas se construían representando la cantidad de soluto en cada fracción frente al número de fracción o al volumen medio de eluyente en cada fracción. Se trataba pues de una técnica tediosa y limitada para la separación práctica de una mezcla de distintos iones.

### III.2.3. Cromatografía iónica moderna

La cromatografía iónica actual es más rápida y eficaz, lo que la hace más atractiva desde el punto de vista analítico. La mejora ha tenido lugar en cuatro factores:

- a) mejores componentes cromatográficos.
- b) columnas y resinas de intercambio más eficientes.
- c) muestras más pequeñas.
- d) detección automática de los iones separados en la muestra.

Los rellenos de las columnas actuales son resinas orgánicas o de material de sílice con un intercambiador orgánico adherido a la superficie. Las resinas tienen tamaños de poro uniformes (5µm-20µm de diámetro). El empaquetamiento se hace adecuadamente para que la columna soporte las altas presiones de trabajo. Se introduce muy poca cantidad de muestras y un flujo constante de eluyente que se consigue con la utilización de una bomba. Los detectores pueden ser de conductividad, espectrofotométricos en los que se utiliza una postcolumna con un agente formador de color, detectores UV o electroquímicos.

La mayoría de las columnas y de los detectores tienen la limitación de ser efectivos para un tipo particular de muestra, bien por cuestiones de tiempo o por la naturaleza del componente a determinar. El término moderno de cromatografía iónica implica la detección automática de los iones de la muestra separados por el intercambiador iónico. El detector debe responder a los iones de la muestra en presencia de los iones del eluyente (Gjerde & Fritz, 1987).

#### III.2.4. Parámetros fundamentales del proceso cromatográfico.

- Tiempo muerto, volumen muerto.

Es el tiempo necesario para eluir una sustancia no retenida desde el inyector pasando por la columna hasta el detector. En el caso de volumen se trata del volumen necesario para transportar un compuesto no retenido desde el inyector hasta el detector.

$$V_0 = F * t_0$$

$V_0$  = volumen muerto

$F$  = flujo = velocidad del eluyente

$t_0$  = tiempo muerto

- Coeficiente de reparto.

Es la relación entre la concentración del compuesto en la fase móvil y en la fase estacionaria.

$$K = C_s / C_m$$

$K$  = coeficiente de reparto

$C_s$  = concentración del compuesto en la fase estacionaria

$C_m$  = concentración del compuesto en la fase móvil

- Tiempo de retención, volumen de retención

El tiempo que transcurre desde la inyección hasta la detección del compuesto retenido es lo que se llama

tiempo bruto de retención. El tiempo de retención neto se emplea para ver si un compuesto eluye con respecto a un compuesto no retenido.

$$t_R' = t_R - t_o$$

$t_R'$  = tiempo de retención neto

$t_R$  = tiempo de retención bruto

Multiplicando los tiempos de retención por el flujo se obtienen los volúmenes de retención:

$$V_R' = V_R - V_o$$

$V_R'$  = volúmen de retención neto

$V_R$  = volúmen de retención bruto

- Factor de capacidad

El tiempo de retención y el volúmen de retención se puede expresar relativamente con respecto al tiempo muerto o volúmen muerto. El factor de capacidad mide el número de volúmenes muertos que deben pasar por la columna para eluir el compuesto. Este factor es independiente de la longitud y del flujo de la columna; depende del proceso de separación. En un sistema donde la columna y el eluyente son fijos, el factor de capacidad es una característica del compuesto.

$$k' = \frac{t_R - t_o}{t_o} = \frac{t_R}{t_o}$$

$$k' = \frac{V_R - V_o}{V_o} = \frac{V_R}{V_o}$$

También se define el factor capacidad como la masa del componente en la fase estacionaria partido por la masa del mismo en la fase móvil, estando relacionado con el coeficiente de reparto:

platos. El cálculo del número de platos se basa en el modelo de Gauss.

La fórmula general es:

$$N = a * (t_R/W)^2$$

N = número de platos

W = anchura de picos (min)

a = constante (depende de la altura donde se calcula la anchura de pico).

- Resolución

Es una medida de la separación entre dos picos

$$R = \frac{t_{R,2} - t_{R,1}}{1/2(W_1 + W_2)}$$

R = resolución

(A.H.M.A., 1986)

### III.3. Análisis de las muestras

Las muestras de agua de drenaje de los lisímetros fueron recogidas en botes de plástico, llevándose seguidamente al laboratorio. Una vez allí, las muestras fueron filtradas mediante una bomba de vacío a través de un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C (1,2 um de diámetro de poro), y se guardaron en el frigorífico a 4°C hasta su análisis. En las tablas III.1 a III.4 se observan las muestras estudiadas. Las últimas fechas de toma de muestras se engloban dentro de un período en el que los lisímetros foeron sometidos a un proceso de calibración.

A las muestras así preparadas se les determinó la conductividad eléctrica, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup> por cromatografía iónica.

TABLA III.1. Muestras de agua del lisímetro 1

FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
09/03/92	15/04/92	19/05/92	23/06/92
16/03/92	19/04/92	21/05/92	25/06/92
20/03/92	20/04/92	22/05/92	29/06/92
23/03/92	21/04/92	26/05/92	30/06/92
30/03/92	22/04/92	01/06/92	01/07/92
31/03/92	23/04/92	04/06/92	02/07/92
01/04/92	27/04/92	05/06/92	06/07/92
03/04/92	28/04/92	06/06/92	09/07/92
04/04/92	01/05/92	08/06/92	13/07/92
05/04/92	04/05/92	09/06/92	21/07/92
06/04/92	05/05/92	11/06/92	27/07/92
07/04/92	06/05/92	12/06/92	28/07/92
09/04/92	11/05/92	15/06/92	03/08/92
10/04/92	13/05/92	17/06/92	15/02/93
13/04/92	14/05/92	19/06/92	16/02/93
14/04/92	15/05/92	22/06/92	19/02/93

TABLA III.2. Muestras de agua del lisímetro 2.

FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
09/03/92	05/05/92	17/07/92	26/10/92
16/03/92	06/05/92	20/07/92	02/11/92
20/03/92	11/05/92	21/07/92	04/11/92
23/03/92	13/05/92	27/07/92	16/11/92
30/03/92	14/05/92	28/07/92	23/11/92
31/03/92	15/05/92	31/07/92	11/12/92
01/04/92	19/05/92	03/08/92	16/12/92
03/04/92	21/05/92	04/08/92	17/12/92
04/04/92	22/05/92	10/08/92	18/12/92
05/04/92	26/05/92	13/08/92	25/12/92
06/04/92	01/06/92	17/08/92	26/12/92
07/04/92	02/06/92	20/08/92	04/01/93
09/04/92	04/06/92	01/09/92	05/01/93
10/04/92	05/06/92	07/09/92	11/01/93
13/04/92	06/06/92	14/09/92	18/01/93
14/04/92	08/06/92	28/09/92	28/01/93
15/04/92	09/06/92	29/09/92	01/02/93
19/04/92	11/06/92	02/10/92	02/02/93
20/04/92	12/06/92	05/10/92	04/02/93
21/04/92	15/06/92	09/10/92	09/02/93
22/04/92	17/06/92	13/10/92	11/02/93
23/04/92	19/06/92	17/10/92	15/02/93
27/04/92	22/06/92	18/10/92	16/02/93
28/04/92	23/06/92	19/10/92	19/02/93
01/05/92	25/06/92	20/10/92	
04/05/92	29/06/92	23/10/92	

TABLA III.3. Muestras de agua de L1 durante la calibración.

FECHA	HORA	FECHA	HORA
22/02/93	11.00	24/02/93	16.20
22/02/93	13.45	25/02/93	10.37
22/02/93	16.40	26/02/93	10.45
23/02/93	10.45	28/02/93	10.15
23/02/93	13.30	02/03/93	11.00
24/02/93	10.12	04/03/93	10.30
24/02/93	12.43	07/03/93	10.00

TABLA III.4. Muestras de agua de L2 durante la calibración.

FECHA	HORA	FECHA	HORA
22/02/93	11.00	24/02/93	16.20
22/02/93	13.45	25/02/93	10.37
22/02/93	16.40	26/02/93	10.45
23/02/93		28/02/93	10.15
23/02/93	10.30	02/03/93	11.00
24/02/93	10.12	04/03/93	10.30
24/02/93	12.43	07/03/93	10.00

$$k' = k * V_s/V_m$$

$V_s$  = volúmen de la fase estacionaria

$V_m$  = volúmen de la fase móvil

El factor  $V_s/V_m$  se indica frecuentemente como relación de fases. Para conseguir la separación de dos compuestos es de gran importancia que tengan distintos factores de capacidad y por tanto distintos coeficientes de reparto (A.H.M.A., 1986).

- Factor de selectividad

Es la relación existente entre dos factores de capacidad.

$$\alpha = k_2'/k_1' = k_2/k_1 = t_{R',2}/t_{R',1}$$

$\alpha$  = factor de selectividad

( $k_2$  debe ser mayor que  $k_1$ )

El factor de selectividad mide la selectividad de un sistema de separación. Si es igual a 1 el sistema no distingue entre dos compuestos que eluirán juntos (coelución). Está determinado por la química de la separación. Indica la separación entre los máximos de los picos pero no indica la resolución de los mismos (separación de la línea base).

- Número de platos, eficacia

La representación en el registro del cromatograma no son picos sino que la señal se ensancha a lo largo del sistema cromatográfico. La representación es una curva que en el caso ideal se corresponde con una curva de Gauss.

Para obtener una buena separación es necesario que las curvas no se solapen. La separación se mejora a medida que disminuye la anchura del pico. Una columna de ensanchamiento de pico pequeño, es una columna con una eficacia alta. La eficacia se expresa en el número de

### III.3.1. Determinación de la C.E.

La CE de las muestras de agua se midió mediante un conductivímetro 522 Crison con célula de constante 1,00. Los datos de CE se refirieron siempre a 25°C. Estos valores se usaron como criterio para hacer posteriormente las diluciones adecuadas de cada muestra.

### II.3.2. Determinación de aniones por cromatografía iónica.

#### III.3.2.1. Componentes del Cromatógrafo

El equipo utilizado en este laboratorio consta de los siguientes componentes:

- Columna WATERS IC-PACK A: Columna de Intercambio aniónico utilizable para el análisis de los siguientes aniones:  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ .
- Detector de Conductividad WATERS 430: Mide la conductividad del eluyente y aplica a los electrodos de detección un potencial tal que no tiene medida si sólo pasa el eluyente.
- Detector de Absorbancia WATERS 486: proporciona la lectura de la absorbancia Ultravioleta y Visible.
- Bomba WATERS MODEL 510: Su misión es bombear el eluyente de un modo preciso y reproducible.
- Inyector WATERS U6K: permite inyectar de 1  $\mu$ l a 2 ml de muestra.
- Inyector automático WATERS WISP 712: Puede ser programado para la inyección de volúmenes de 1 microl a 2 ml de muestra desde 48 viales manteniendo el flujo del eluyente constante.
- Software WATERS BASELINE 810: Permite el control de todo el sistema y el procesamiento completo de todos los datos obtenidos.

### III.3.2.2. Procedimiento seguido:

#### - Eluyente

El eluyente utilizado es una disolución de Borato 1.3 mM/Gluconato 1.3 mM. Debe prepararse justo antes de su utilización con reactivos de la más alta calidad. Ajustando el pH a 8.5.

#### - Soluciones patrón

Las sales utilizadas deben ser de calidad "reactivo análisis" o superior. Se utilizaron NaCl, NaNO<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que previamente se secaron durante un mínimo de 30 minutos a 105°C guardándose después en un desecador.

#### - Muestras

Las muestras problemas tras diluirlas en base a la medida de la C.E. se filtran utilizando filtros MILLEX-HV de 0.45 µm para eliminar las partículas sólidas.

En las Figuras III.3 y III.4 se muestran dos cromatogramas típicos de una muestra estándar, el primero de los cuales utiliza el detector de conductividad eléctrica y el segundo el de Absorbancia UV (la lectura se realiza a 214 nm).

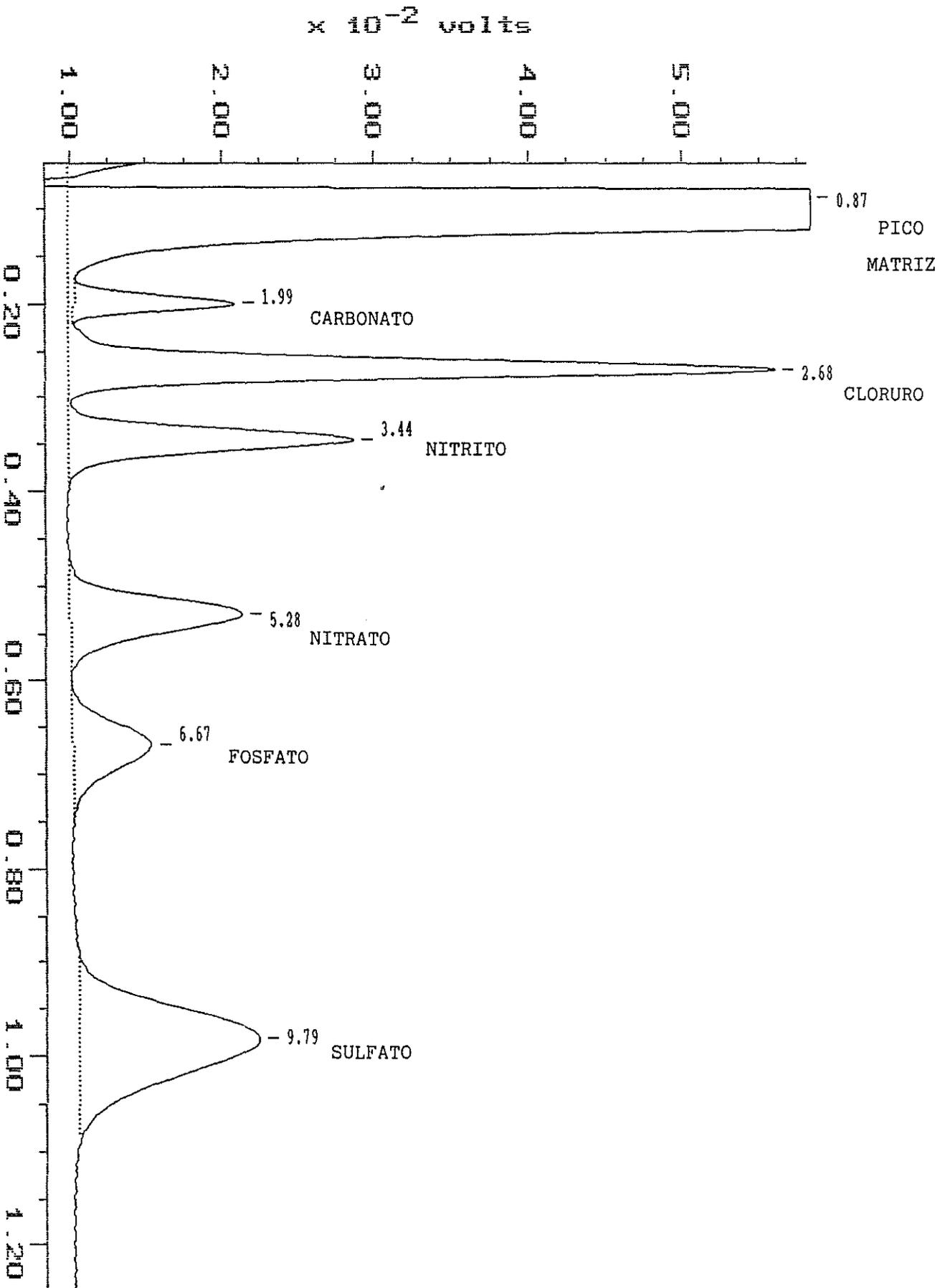


Figura III.3 Cromatograma de una muestra standar con detector de conductividad eléctrica

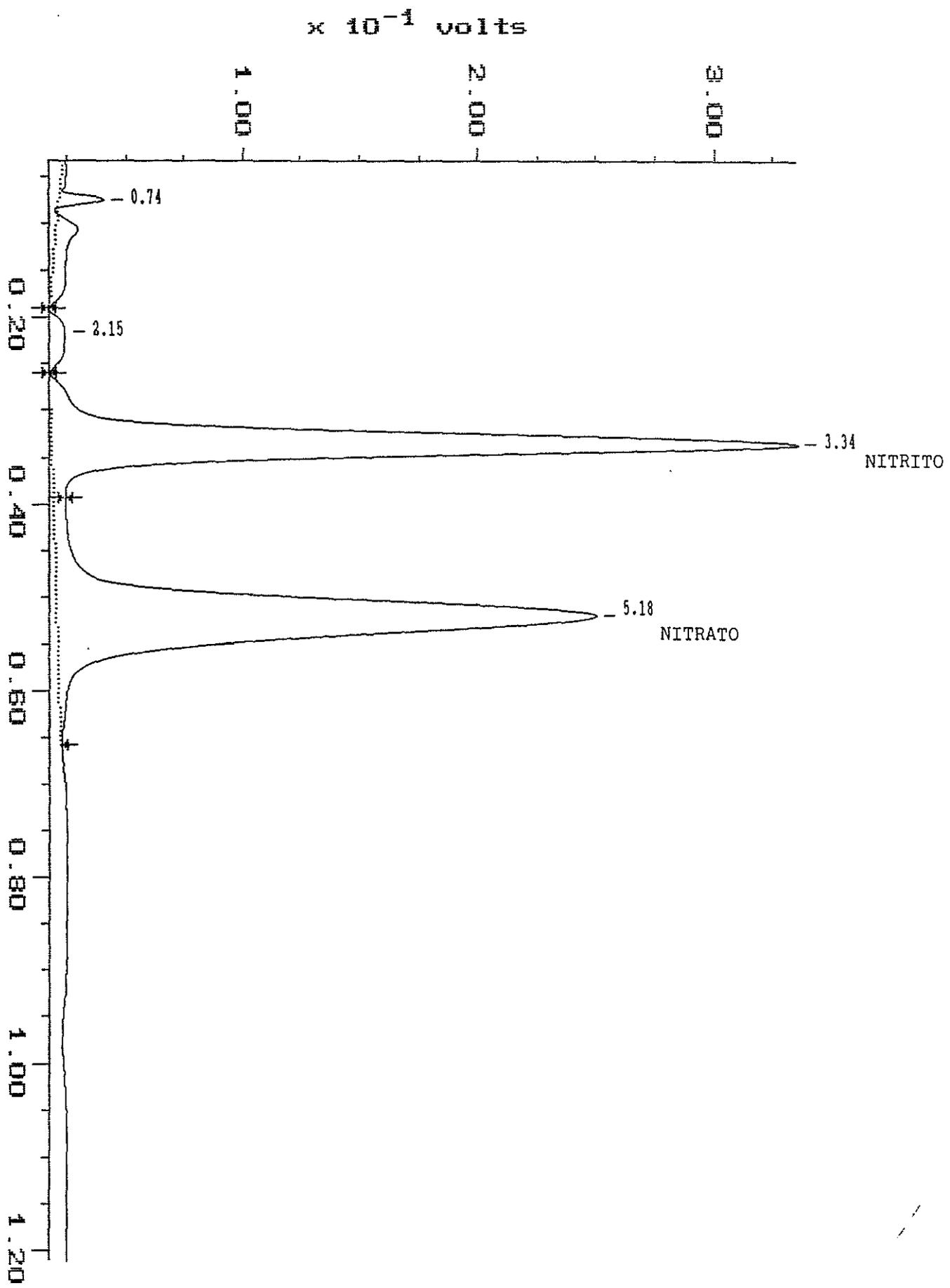


Figura III. 4 Cromatograma de una muestra standar con detector de absorvancia UV (214 nm)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

#### IV.1. Períodos de estudio

Para facilitar el estudio se definirán tres períodos de experimentación:

- Período de cultivo: este período se inicia con el abonado de fondo (10 de Marzo de 1992) y finaliza el día de la cosecha (3 de Agosto de 1992). Durante todo el período el cultivo está en el campo, se realizarán las dos fertilizaciones de cobertura y riegos periódicos.
- Período seco: comprendido entre el 4 de Agosto de 1992 y el 14 de Septiembre del mismo año. No hay cultivo ni aporte de agua por riego o lluvias.
- Período lluvioso: comprende las lluvias de otoño (del 15 de Septiembre de 1992 al 10 de Marzo de 1993). Las lluvias durante este período fueron anormalmente escasas y de distribución poco uniforme (llovió mucho en muy pocos días). La pluviometría total fue 213,5 mm (Octubre 92-Marzo 93) mientras que la media registrada durante los últimos 20 años asciende a 370 mm durante el mismo período.

El estudio partirá del día 10 de Marzo de 1992 que será considerado día 0.

#### IV.2. Volúmenes de agua drenada

En la Figura IV.1 observamos los volúmenes de agua drenados por los lisímetros L1 y L2 junto con al agua aportada por riego y precipitaciones. Es importante destacar que durante el período de cultivo en el que existe un aporte de 661 mm de agua por riego los dos lisímetros drenaron cantidades muy similares 131 y 137 mm L1 y L2 respectivamente. Durante el período seco no se registra drenaje significativo en ninguno de los lisímetros debido a que tampoco hay aporte de agua (sólo drena L2 11 mm). En la época lluviosa es de destacar que el lisímetro que estuvo más fertilizado L1 no drena con las primeras lluvias, si así L2. El suelo en L1 quedó más seco que en L2 debido a que en el primero las plantas estuvieron mejor nutridas y asimilaron más cantidad de agua que en segundo. Tras las primeras lluvias y una vez mojado el suelo ambos lisímetros continuaron drenando hasta el final del período. Las cantidades drenadas en este período fueron 97 mm en L1 y 148 mm en L2, el aporte de agua de lluvias fue de 213,5 mm, además existió un aporte extra de agua (80 mm) debido a un proceso de calibración que se efectuó sobre los lisímetros coincidiendo con este período.

En la Figura IV.2 podemos observar los volúmenes de agua acumulativos en ambos lisímetros durante todo el período de experimentación, y de nuevo los aportes de agua por riego y lluvias. Se observa, como ya hemos señalado, que los saltos en los volúmenes drenados coinciden con aportes de agua. El volumen total de agua drenada por L1 es 228 mm y por L2 296 mm, estos volúmenes están de acuerdo con los descritos por Bergstrom et al. (1991), que observaron volúmenes drenados entre 105 y 285 mm en una serie de 6 lisímetros monolíticos cultivados. La relación entre los volúmenes drenados por ambos

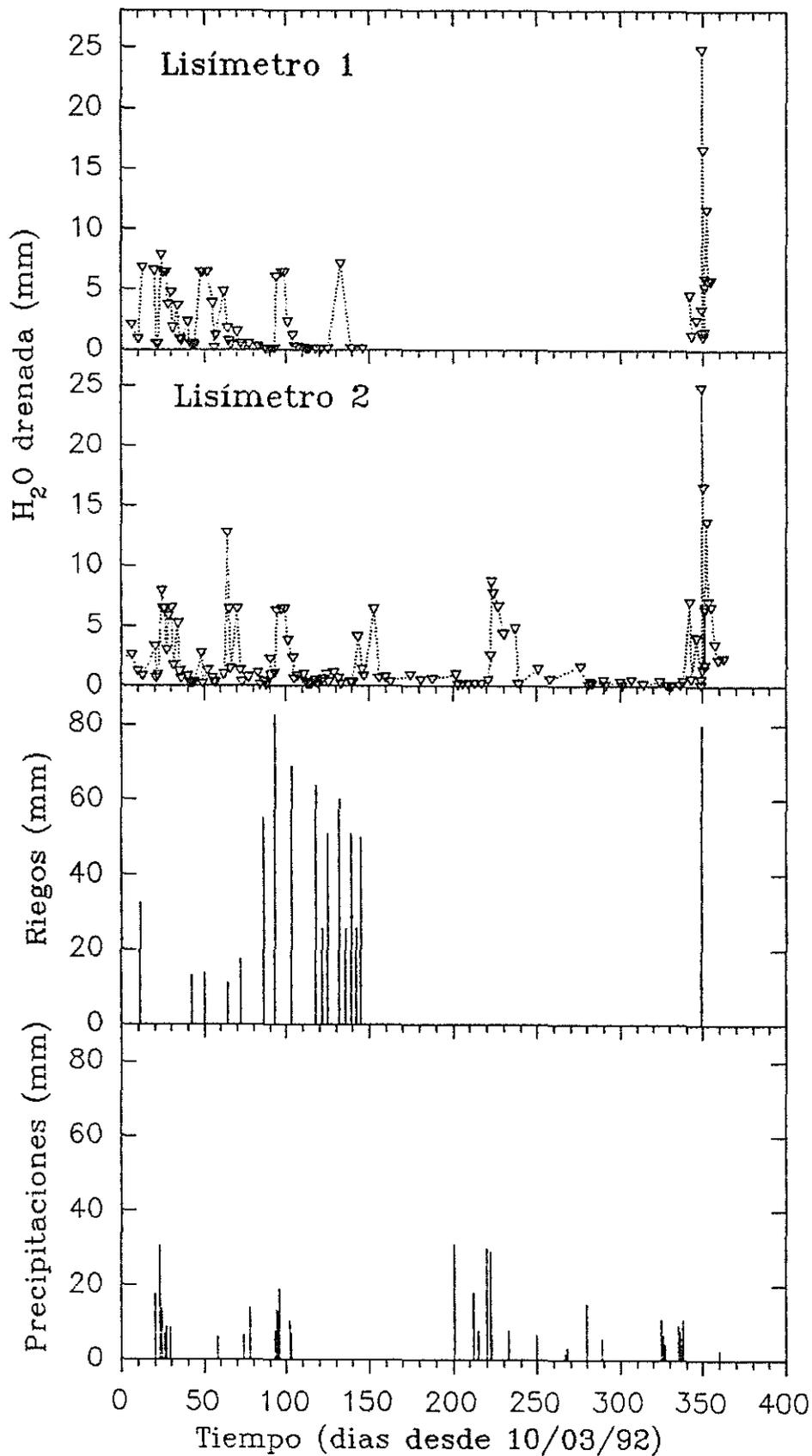


FIGURA IV.1. Agua drenada por L1 y L2, junto con el agua aportada por riego y por precipitación.

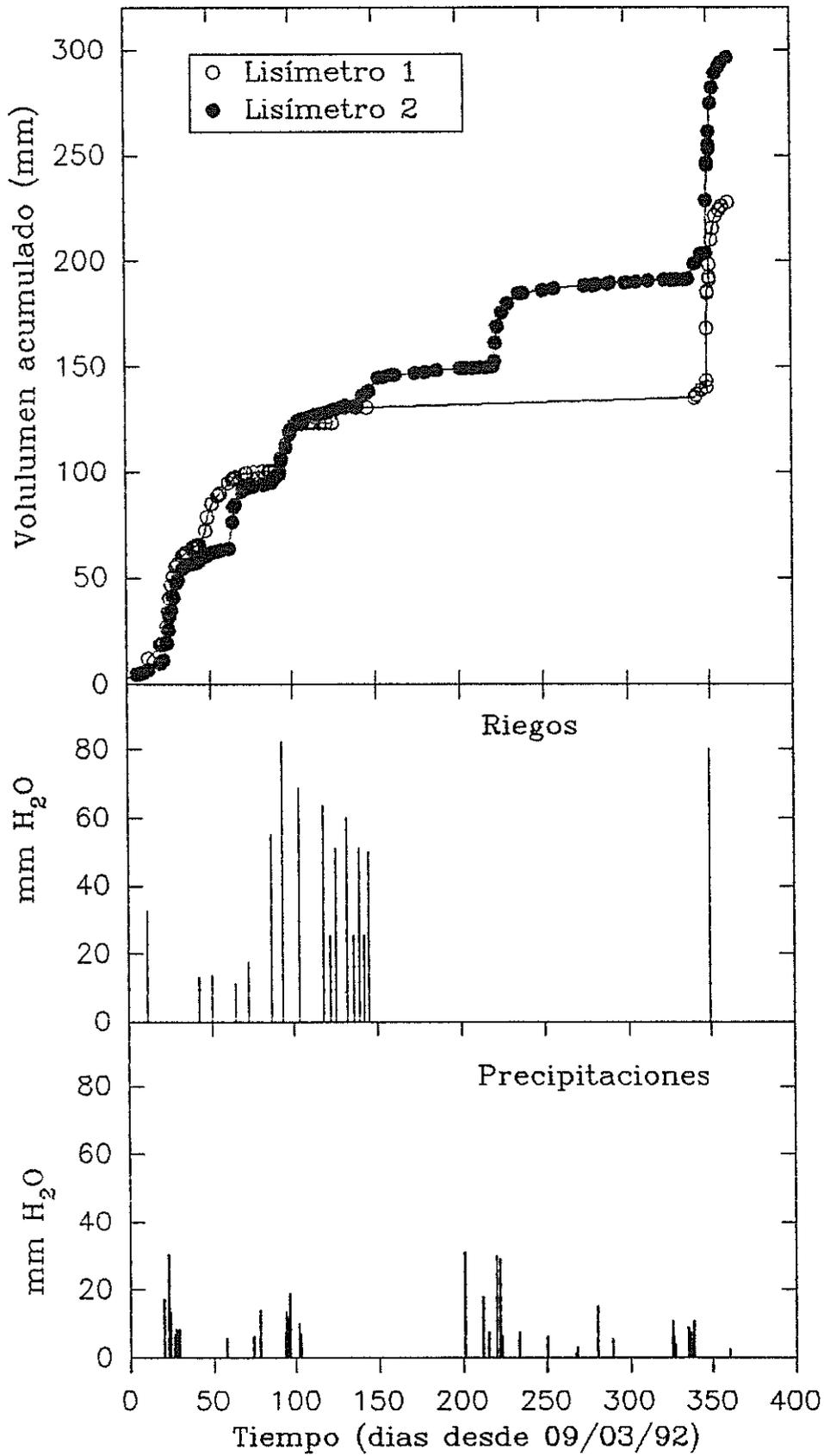


FIGURA IV.2. Volúmenes de agua acumulados drenados por L1 y L2, junto con el agua aportada por riegos y precipitación.

lisímetros es del 23%. Esta relación es inferior a la registrada en los mismos durante la campaña anterior (40%), debido a que L2 no fue fertilizado y la densidad de plantas en L1 fue muy superior a la registrada en esta campaña (Cabrera et al., 1992). Dowdell et al. (1984) estudiaron los volúmenes de agua drenados en 10 lisímetros de similares características a los del presente estudio, en 5 años encontraron diferencias debido a las condiciones climáticas pero en ninguno de ellos diferencias superiores al 20% en los volúmenes drenados bajo distintos tratamientos.

Respecto del total de agua aportada los lisímetros drenaron el 20 y el 26% L1 y L2 respectivamente. El resto del agua aportada fue en parte asimilada por las plantas, evotranspirada por las mismas y evaporada desde la superficie del suelo, la temperatura de la zona en estudio es muy alta fundamentalmente en los meses de verano y por ello cabe esperar que la evotranspiración alcance cotas muy elevadas.

#### IV.1.2. Conductividad Eléctrica

En la Figura IV.3 se muestra la evolución que ha seguido la concentración de sales (C.E.) de las muestras de agua estudiadas. No existen diferencias muy importantes entre ambos lisímetros salvo durante el período de lluvias durante el cual es superior en el lisímetro 1 debido a la mayor adición de fertilizantes.

#### IV.3. Nitrato

Podemos observar en la Figura IV.4 cual es la evolución que han seguido las muestras en su concentración de nitrato en ambos lisímetros. La concentración de nitrato en el agua drenada por L1 es siempre superior a la correspondiente en L2.

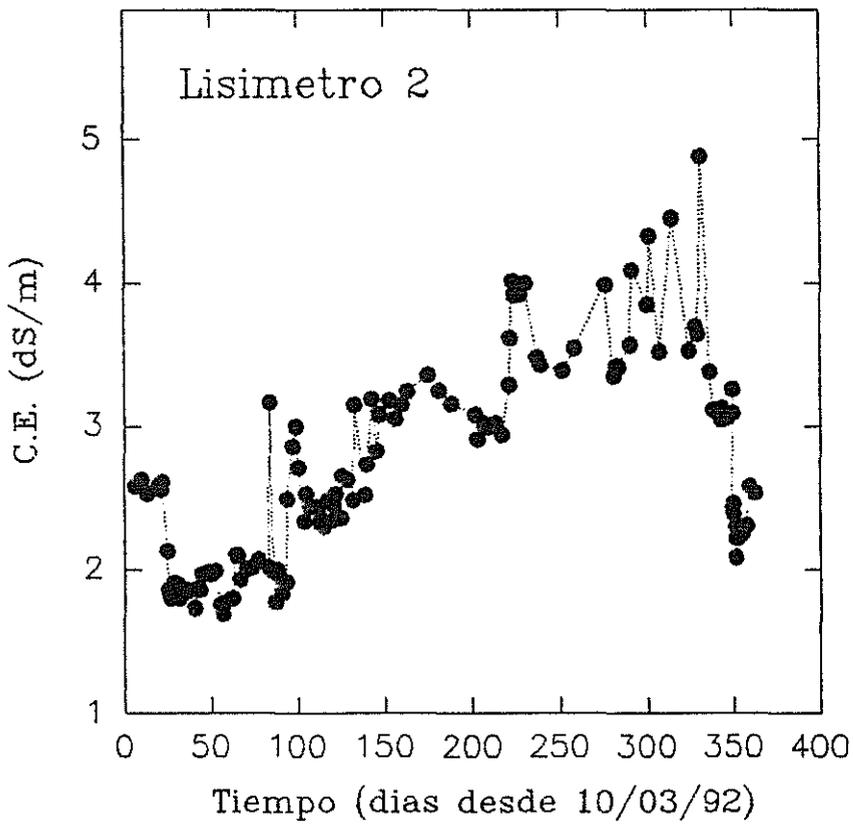
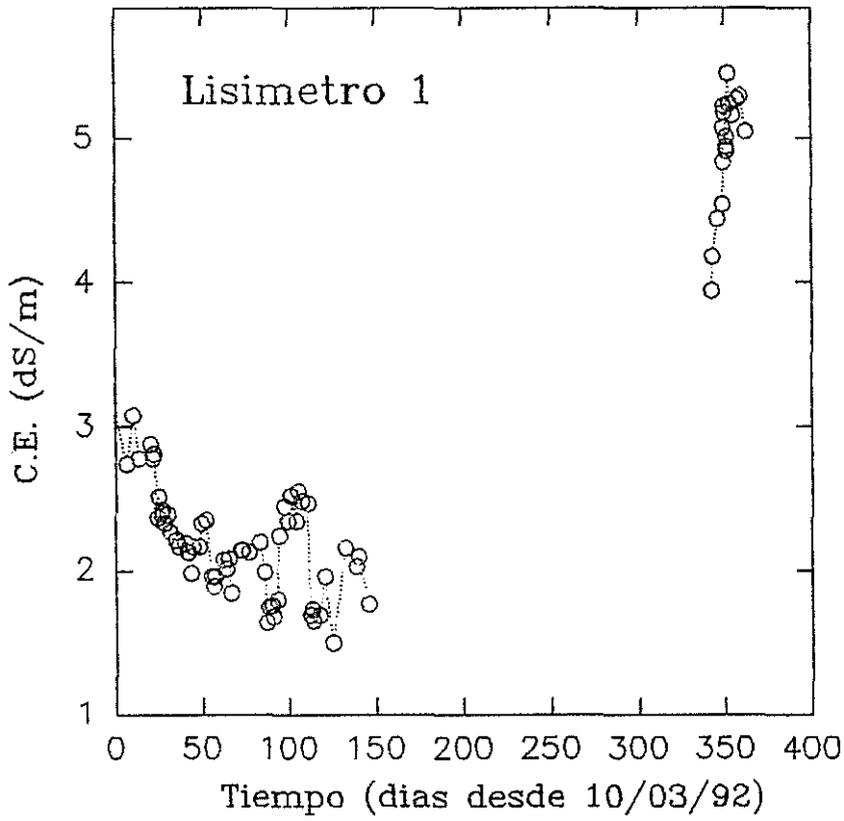


FIGURA IV.3. Conductividad electrica del agua de drenaje en L1 y L2.

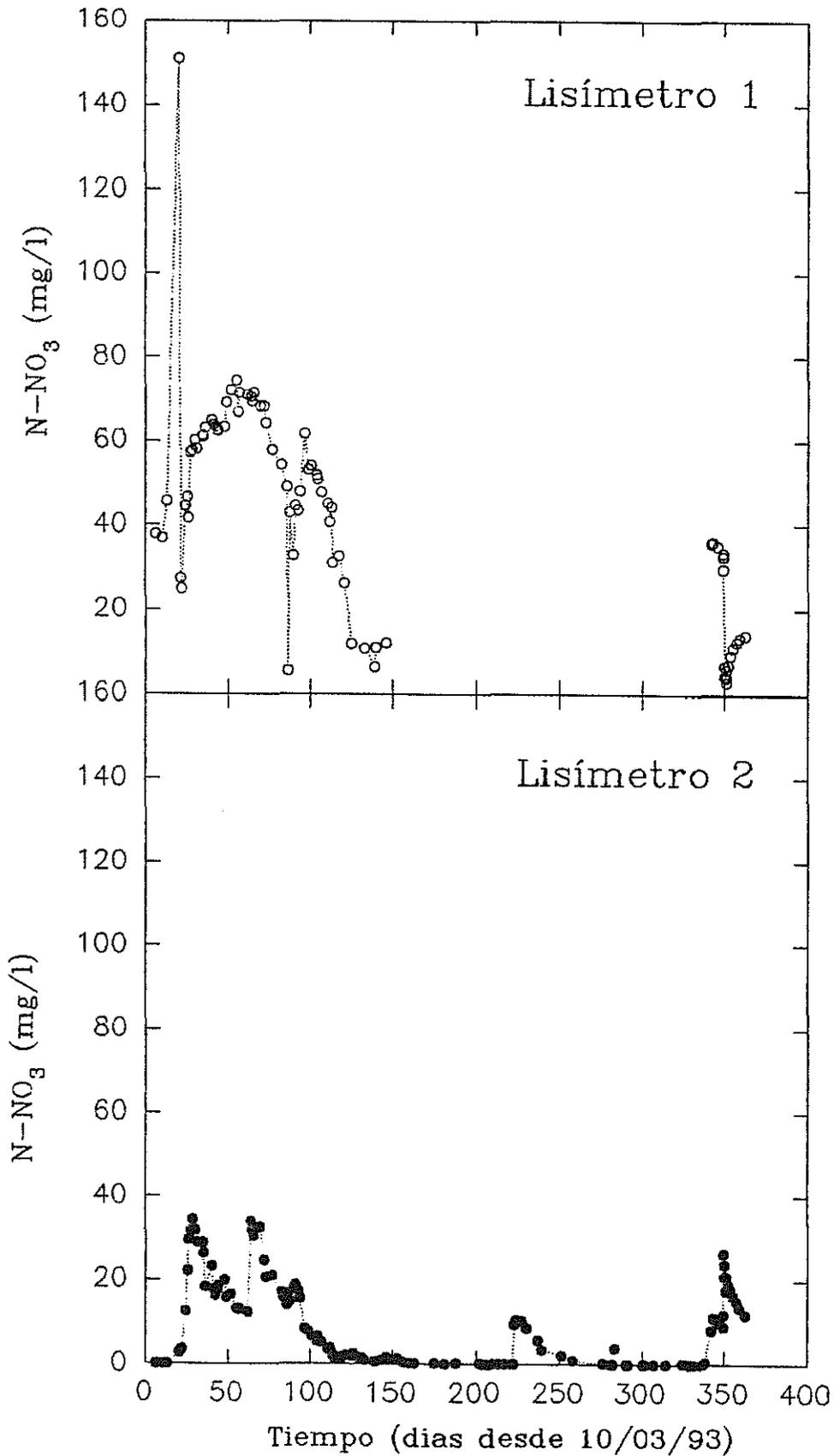


FIGURA IV.4. Concentración de nitrato en el agua de drenaje de los lisímetros 1 y 2.

En la Figura IV.5 se observan las pérdidas acumulativas de nitrato durante todo el período de experimentación, de nuevo al igual que ocurría con los volúmenes de agua drenada las mayores pérdidas coinciden con aportes abundantes de agua por riego y precipitación. Las pérdidas de nitrato durante el período de cultivo fueron 77 y 26 Kg/ha N-NO<sub>3</sub> en L1 y L2 respectivamente. Durante el período lluvioso éstas fueron 16 y 24 Kg/ha N-NO<sub>3</sub> en L1 y L2. Las mayores pérdidas se registran en L1 durante el período de cultivo. La mayoría de los estudios dedicados a la lixiviación de nitrato en suelo señalan que las mayores pérdidas se registran en otoño cuando más llueve y el cultivo no está en el campo (Bërgtrom et al., 1991; Owens, 1989), durante la campaña de 1991 en estos mismos lisímetros (Cabrera et al., 1992) también se registraron las mayores pérdidas entre los meses de Septiembre a Marzo, sin embargo en el presente estudio la condiciones meteorológicas han sido anómalas con una escasez de lluvias muy pronunciada y una distribución no uniforme que no ha permitido una distribución normal de las pérdidas.

En la tabla IV.1 se muestra el balance de nitrógeno en los lisímetros. Las pérdidas de nitrógeno no controladas suponen un 5% en L1 y un 9% en L2, éstas pérdidas se deben a los fenómenos de volatilización y mineralización, fenómenos no controlados en el presente trabajo.

Respecto del nitrógeno aportado por fertilización y riego las pérdidas por drenaje en L1 suponen el 15% y en L2 32%.

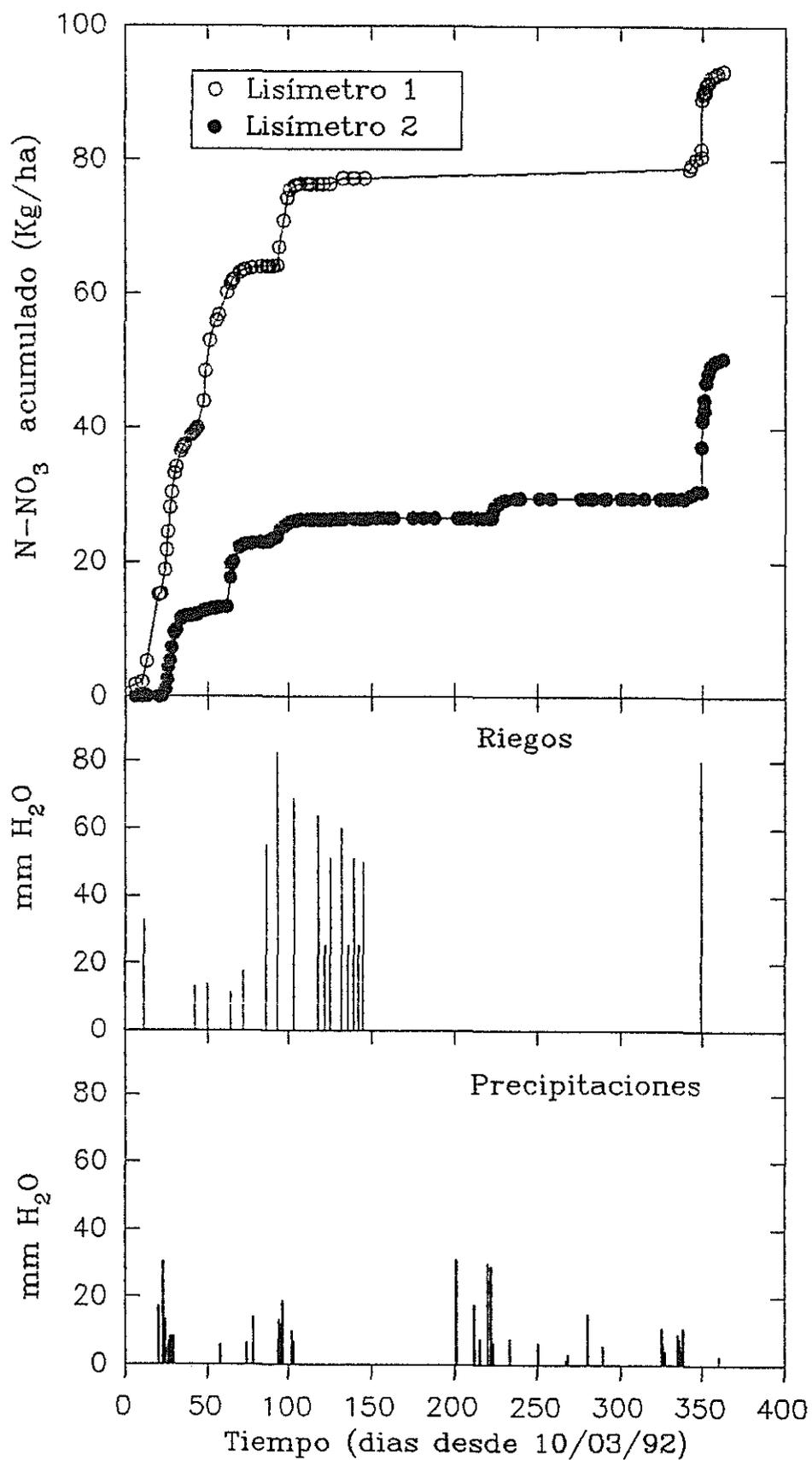


FIGURA IV.5 Nitrato acumulado drenado por L1 y L2, junto con el agua aportada por riego y precipitación.

Tabla IV.1. Balance de nitrógeno en los lisímetros

	L1 (Kg N/ha)		L2 (Kg N/ha)	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
FERTILIZACION	518		176	
RIEGO	71,7		71,7	
NO3 SUELO*	39	96	24	79
NO3 DREN.		93		50
ASIMIL. PLANTAS*		304		140
N-KJELDAHL*	7379	7141	6957	6400
TOTALES	8008	7634	7229	5669

\* análisis realizados en estos laboratorios como parte del proyecto donde se engloba el presente trabajo.

#### IV.4. Cloruro

En la Figura IV.6 se muestra la evolución de la concentración de cloruro en el agua de drenaje de los dos lisímetros. El ión cloruro al igual que el nitrato no queda retenido en el suelo sino que se pierde por lavado.

En la Figura IV.7 se compara la evolución del cloruro con la del nitrato en el agua de drenaje. Se observa que durante el período de cultivo los dos lisímetros drenan agua unas diez veces más concentrada en cloruro que en nitrato. Esta diferencia aumenta con el paso de los días ya que el suelo se va agotando en nitrato y no así en cloruro, pues de este último ha recibido una gran cantidad tanto por riego como por lluvia.

En la Figura IV.8 podemos observar como han sido las pérdidas acumuladas de cloruro en todo el período, vemos que L1 drenó 582 Kg Cl/ha y L2 722 Kg Cl/ha. Durante el período seco sólo drenó L2 131 Kg Cl/ha y en el período lluvioso drenaron 1739 y 1136 Kg Cl/ha L1 y L2 respectivamente.

Las pérdidas totales en L1 fueron 2322 Kg Cl/ha y en L2 1989 Kg Cl/ha. El aporte de cloruro se efectuó mediante el agua de riego 2949 Kg Cl/ha y por las precipitaciones 25,4 Kg Cl/ha. Las pérdidas suponen el 88% y el 67% del aportado en L1 y L2 respectivamente. El exceso de cloruro queda en el suelo lo cual puede ocasionar problemas de salinidad a largo plazo. La calidad del agua de riego es fundamental pues su uso debe ser intensivo para asegurar una buena cosecha. Las diferencias del 14% observadas entre ambos lisímetros son muy parecidas a las que se registraron con los nitratos (Capítulo IV.3), ello pone de manifiesto que la movilidad de los dos iones es muy similar, el hecho de que el lisímetro 1 drene más cantidad de cloruro que el

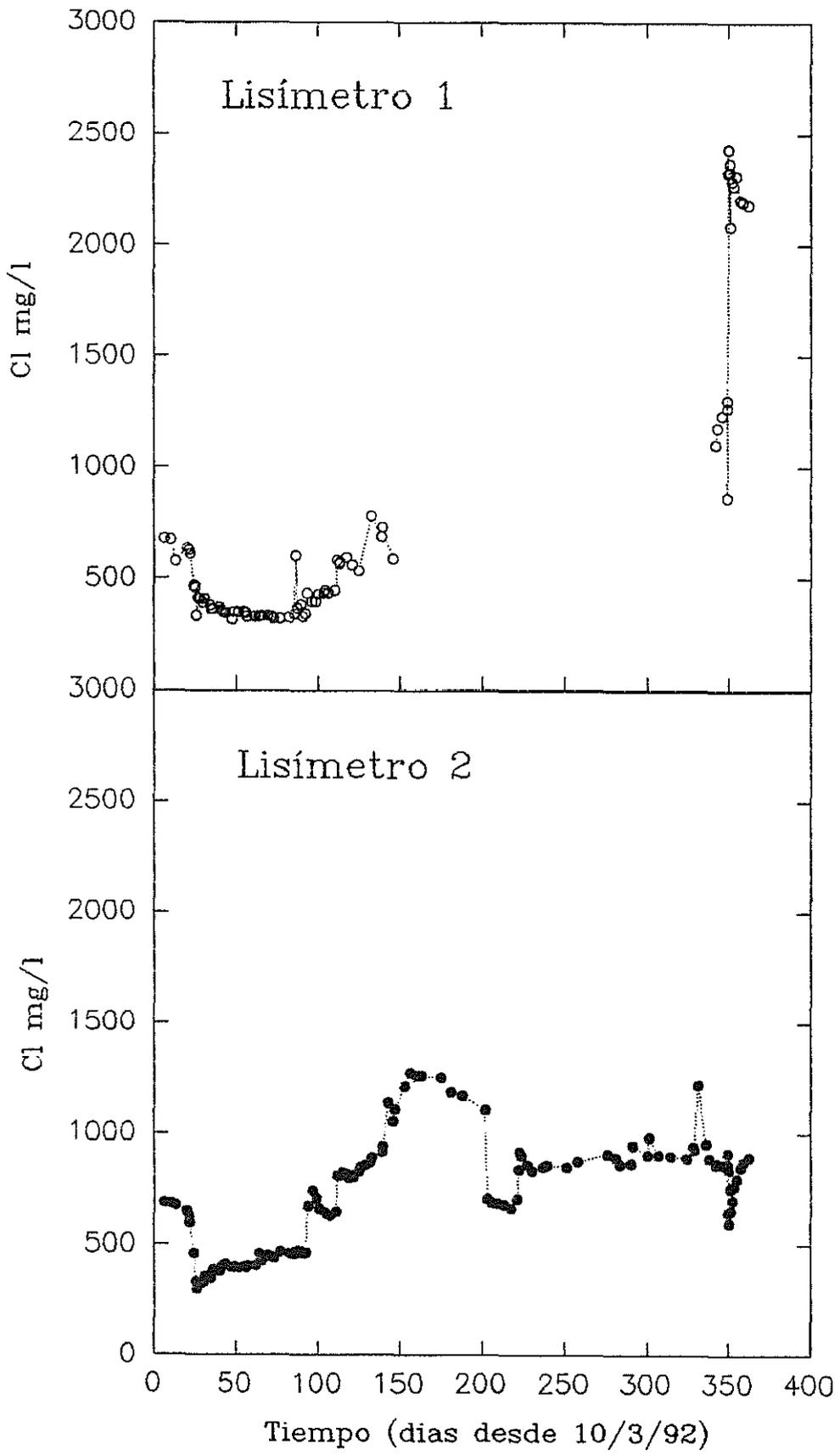


FIGURA IV.6. Cloruro drenado por L1 y L2.

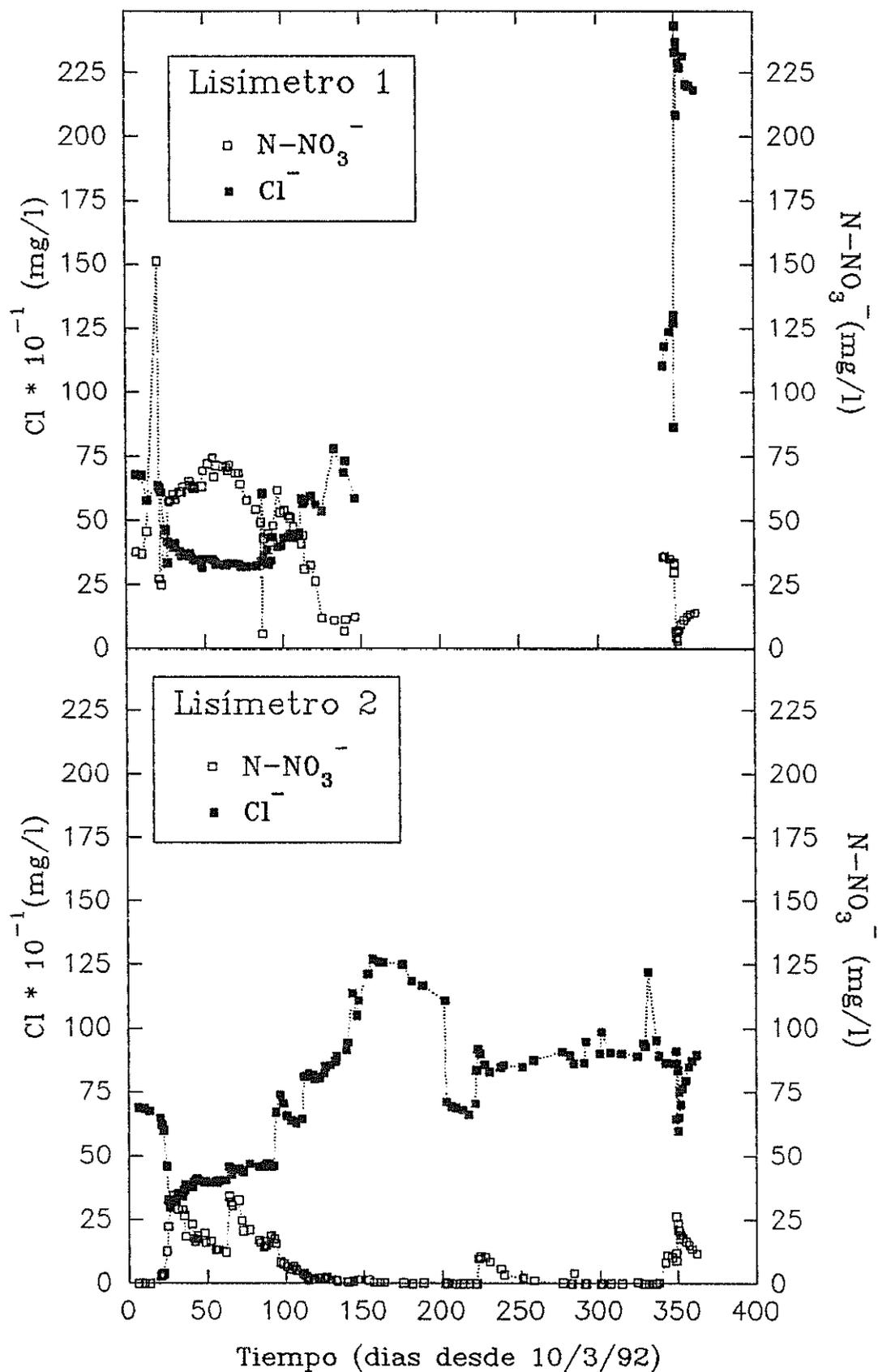


FIGURA IV.7. Concentración de nitrato y cloruro en el agua de drenaje de L1 y L2

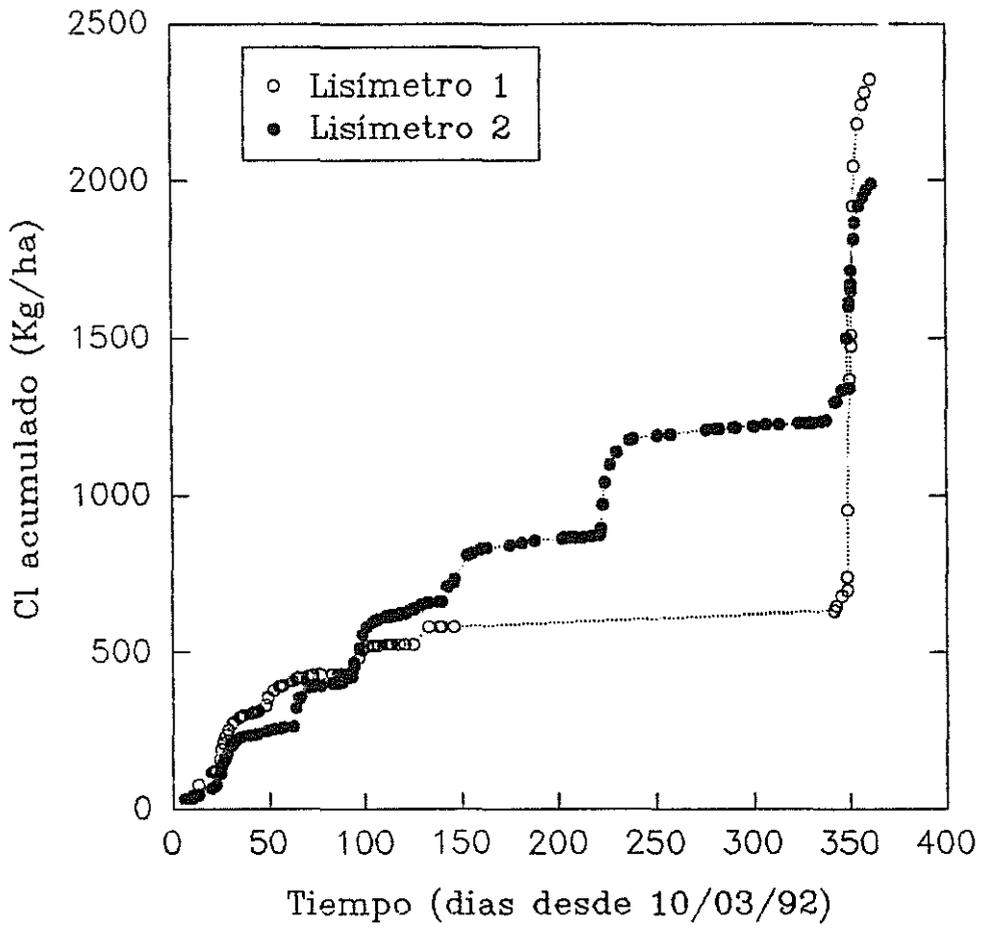


FIGURA IV.8 Clouro acumulativo drenado por L1 y L2

lisímetro 2 puede explicarse debido a que el primer lisímetro ha recibido un aporte extra de sales por fertilización mayor que el segundo, para contrarrestar este efecto y mantener la cantidad global de sales que naturalmente tienen estos suelos se produce un drenaje más acusado de cloruros en L1 que en L2.

#### IV.5. Sulfato

En la Figura IV.9 observamos las pérdidas de sulfato que durante todo el período experimental se producen en ambos lisímetros. Al igual que ocurría con el resto de los aniones las mayores pérdidas se registran al final de la experimentación en L1.

En la Figura IV.10 podemos ver las pérdidas acumuladas de dicho anión. Las pérdidas totales son muy similares en ambos lisímetros (210 Kg/ha en L1 y 206 Kg/ha en L2). El aporte de sulfato ha tenido lugar por el agua de riego (298 Kg/ha) y por la lluvia (4 kg/ha). Los porcentajes de sulfato drenados son el 70% y 69% del aportado en L1 y L2 respectivamente. Por períodos encontramos que durante el cultivo drenaron 95 y 80 Kg S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/ha L1 y L2 respectivamente. En la época seca no drenó nada L1 y L2 tan sólo 10 Kg S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/ha. Durante las lluvias de otoño drenaron 116 Kg S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/ha L1 y 117 Kg S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/ha L2.

Comparando las pérdidas de Sulfato con las pérdidas de nitrato (Figura IV.11) se observa que mientras que el cultivo se está desarrollando las pérdidas de ambos iones son muy similares, mientras que días más tardes son mayores las cantidades de sulfato perdido que las de nitrato, ello es debido a que el nitrato va siendo asimilado por las plantas y se va agotando en el suelo. El sulfato es asimilado por las plantas en muy poca

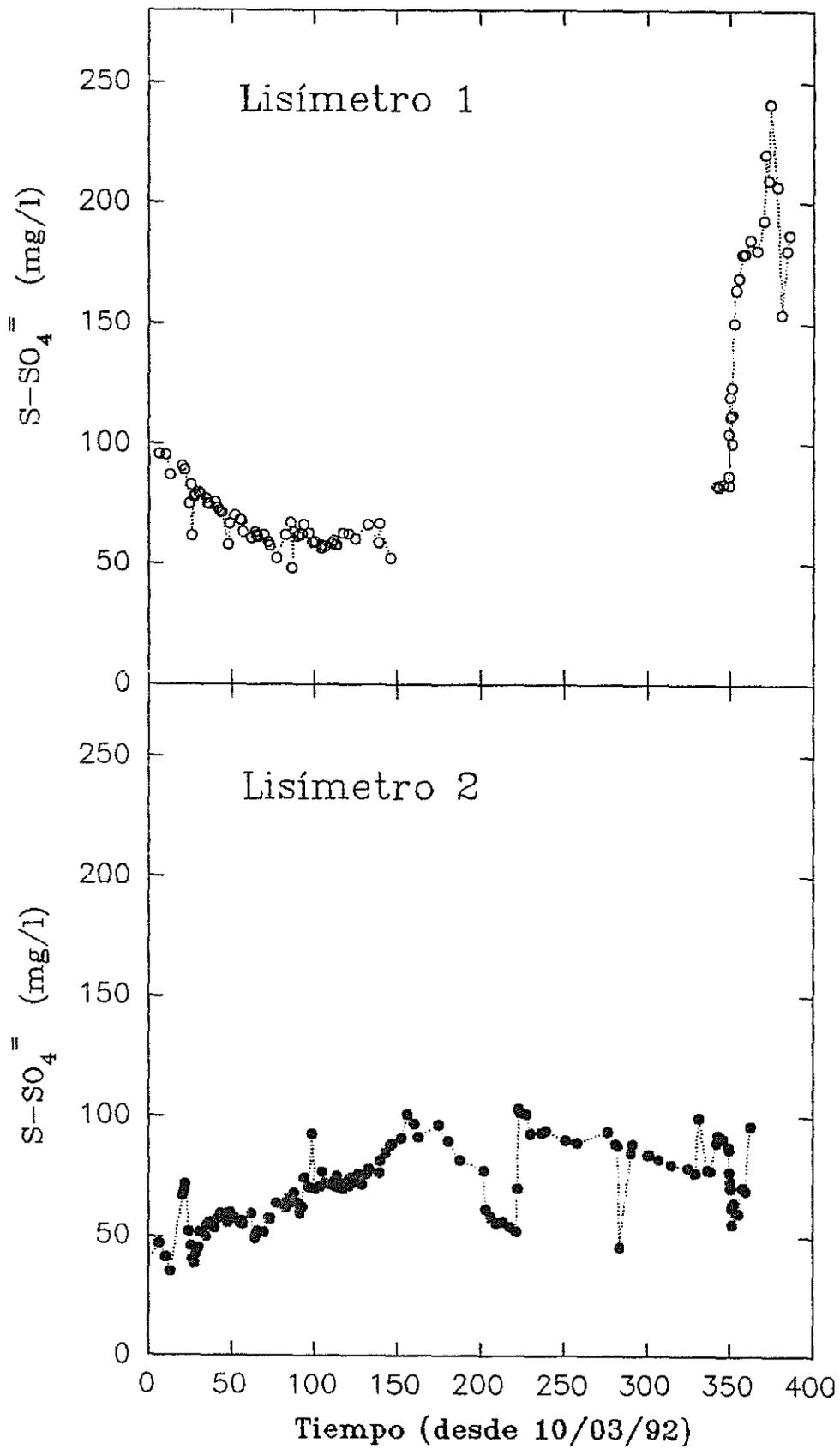


FIGURA IV.9. Sulfato en el agua de drenaje de L1 y L2.

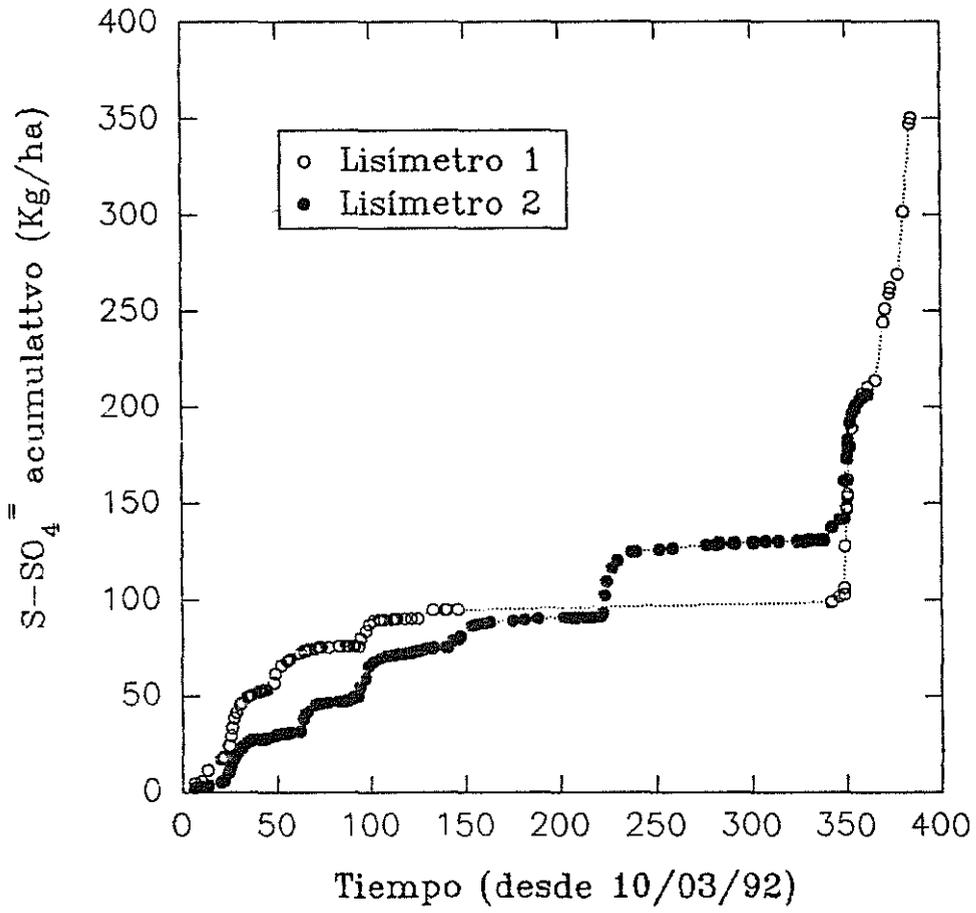


FIGURA IV.10. Sulfato acumulativo drenado por L1 y L2

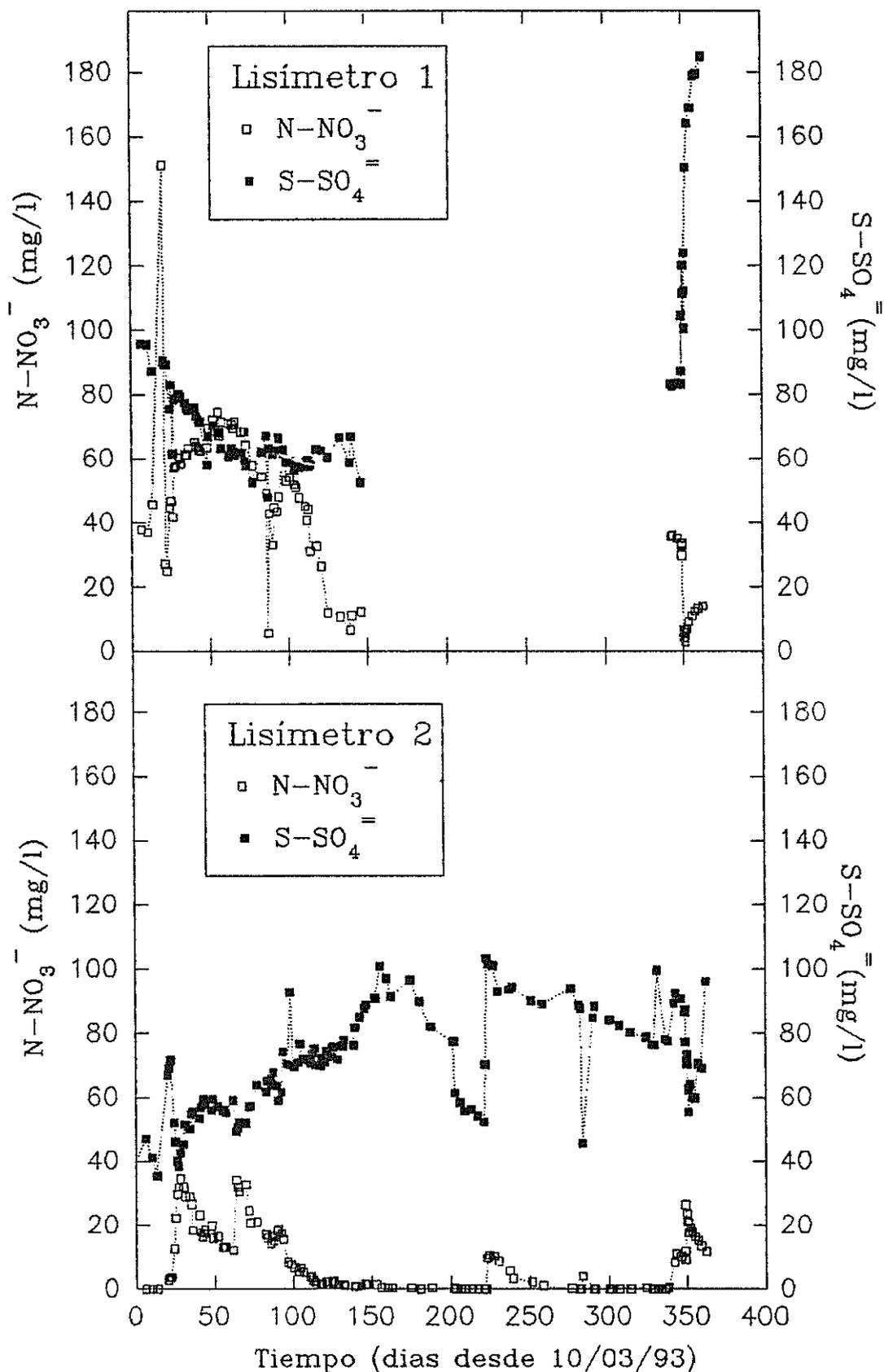


Figura IV.11. Concentración de nitrato y sulfato en el agua de drenaje de los lisímetros 1 y 2.

cantidad por lo que queda remanente en el suelo y se lava en gran cantidad con las primeras lluvias.

Es muy interesante comparar la evolución que siguen los iones cloruros y sulfatos (Figura 12). Se trata de dos iones que han sido aportados a partir del agua de riego y lluvia y que como podemos observar en ambos lisímetros siguen una evolución muy similar. A pesar de su menor movilidad el ión sulfato es lavado del suelo siguiendo la misma dinámica que el Cloruro.

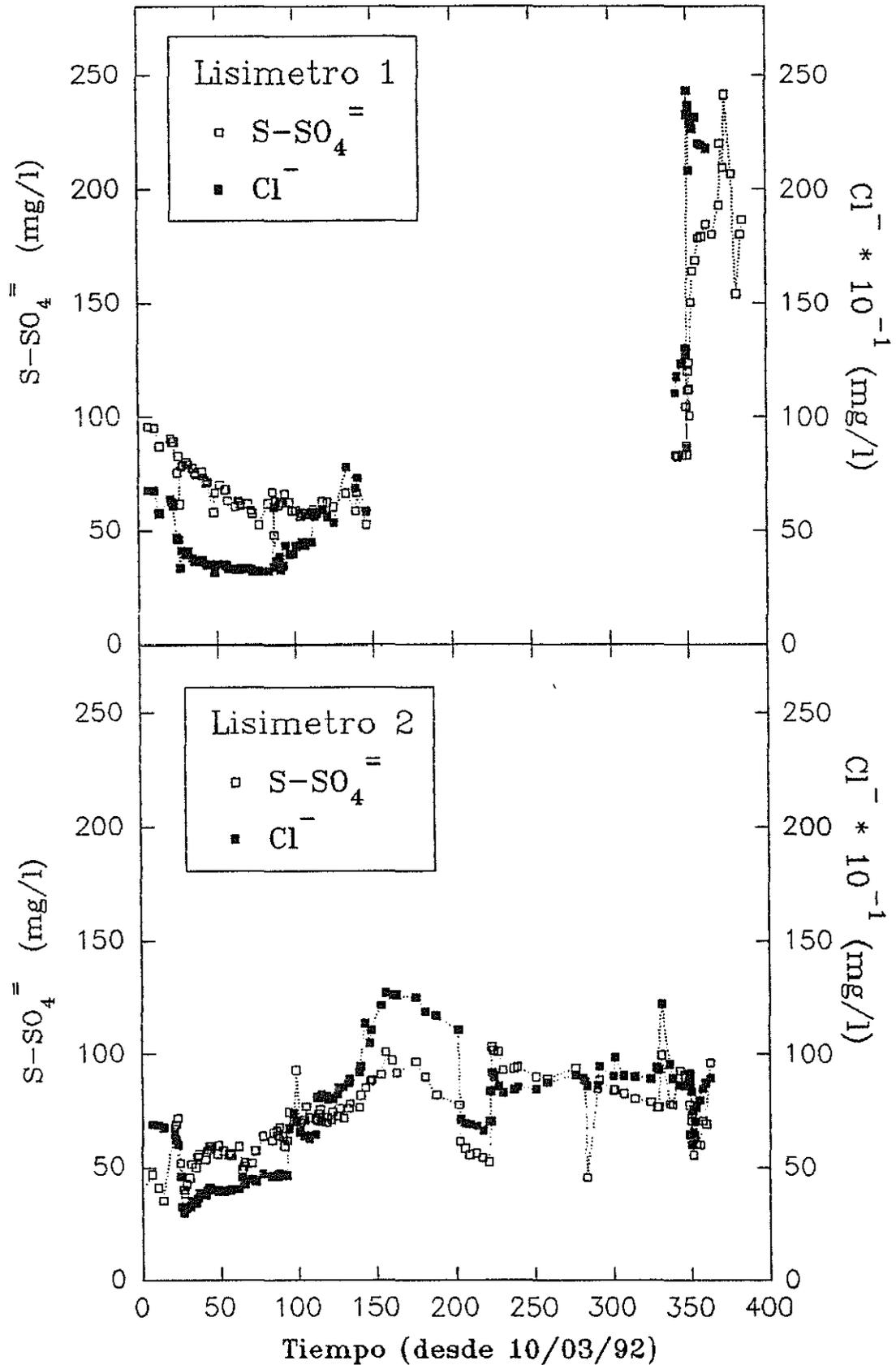


FIGURA IV.12. Sulfato y Cloruro en el agua de drenaje de L1 y L2.

## V. CONCLUSIONES

- 1.- Los lisímetros drenaron mayores volúmenes de agua cuando mayor fue el aporte que recibieron de la misma, la excepción la constituye L1 al inicio de la estación lluviosa. La causa fue su mayor fertilización que originó que durante el período de cultivo las plantas estuvieran mejor nutridas y asimilaran más agua dejando el suelo más seco.
- 2.- La cantidad de sales drenadas (C.E.) es muy similar en ambos lisímetros hasta el comienzo de las lluvias. En el período lluvioso drena agua más concentrada en sales el lisímetro L1.
- 3.- El nitrato que drenó L1 es superior al que drenó L2. Las pérdidas de este ión ocurrieron fundamentalmente en el período de cultivo. Este comportamiento, que es diferente al descrito en la bibliografía se debe a que las lluvias fueron anormalmente bajas y no se distribuyeron uniformemente.
- 4.- El cloruro drenado fue inferior al aportado con el agua de riego y lluvia. Ello supone un enriquecimiento de cloruro en suelo que podría ocasionar serios problemas de salinización.
- 5.- El 70% del sulfato añadido a los lisímetros en el agua de riego y lluvias es drenado. Esto supone un enriquecimiento del suelo en sulfato.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- ADDISCOTT, T.M.; WHITMORE, A.P. & POWLSON, D.S. (1991).  
Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB  
International, Wallingford, U.K.
- A.H.M.A. (1986). Antonissen del Instituto Hasen Beroeps-  
Onderwijs, West- Brabant, Laboratorium school, Breda.
- BRADY, N.C. (1984). The nature and properties of soils.  
Macmillan Publishing Company, New York. Collier  
Macmillan Publishers, London. Ninth Edition.
- BERGSTROM, L. (1987). Nitrate leaching and drainage from  
annual and perennial corps in tile-drained plots and  
lysimeters. J. Environ. Qual., 16(1), 11-18.
- BERGSTRON, L. AND JOHANSSON, R., (1991). Leaching of  
nitrate from monolith lysimeyers of different types  
of agricultural soils. J. Environ. Qual., 20(4), 801-  
807.

- CABRERA, F.; REYES, A.; FERNANDEZ-BOY, E.; CAYUELA, J.A.; MURILLO, J.M. y MORENO, F. (1992). Losses of nitrate on a sandy loam soil under crop. Lysimeter experiment. Abstracts International Symposium of Irrigation of Horticultural Crops, 11. Aguadulce Roquetas de Mar (Almería).
- DOWDELL, R.J.; WEBSTER, C.P.; HILL, D. & MERCER, E.R. (1984). A lysimeter study of the fate of fertilizer nitrogen in spring barley crops grown on shallow soil overlying chalk: crop uptake and leaching losses. *Journal of Soil Science*, 35, 169-181.
- DUYNISVELD, W.H.M.; STREBEL, O. AND BOTTCHEER, (1988). Are nitrate leaching from arable land and nitrate pollution of groundwater avoidable. *Ecological Bulletins* 39; 125.
- FINCK, A. (1985): *Fertilizantes y fertilización*. Reverté, S.A.
- GJERDE, D.J. Y FRITZ, J.S., (1987). *Ion Chromatography*. 2nd ed. Alfred Huthig Verlag. Heidelberg Basel New York.
- HONEYCUTT, C.W.; POTARO, L.J. AND HALTEMAN, W.A.; (1991) Predicting nitrate formation from soil, fertilizer, crop residue, and sludge with thermal units. *Journal of Environmental Quality*, 20 (4), 850-856.
- ITGE, (1989). (Instituto Tecnológico Geominero de España) *Contaminación de las aguas subterráneas. La problemática de los nitratos y su incidencia en España*.

- KEENEY, D.R. (1983). Nitrogen Management for maximum efficiency and minimum pollution. En: Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy*, 22. pp.605-641. Editado por Frank J. Stevenson. ASA, CSSA, SSSA.
- MUDARRA, J.L., (1988). Reconocimiento de los suelos de la Comarca del Aljarafe (Sevilla). Publicaciones del CSIC.
- OWENS, L.B. (1990). Nitrate-Nitrogen concentrations in percolate from lysimeters planted to a legume-grass mixture. *Journal of Environmental Quality*, 19, 131-135.
- RAMOS, C. (1992). La lixiviación de los nitratos en los suelos agrícolas. I Jornadas de evaluación del impacto ambiental en agricultura. E.U.I.T.A. cortijo del Cuarto (Sevilla).
- ROSSI, N.; CIAVATTA, C.; VITTORI ANTISARI, L.; (1991). Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage. *Water, Air and Soil Pollution*, 60; 1-10.
- SOIL SURVEY STAFF (1975): Soil Taxonomy. *Agric Handbook* n°36, U.S.D.A. Government Printing office Washington.
- THORNWHITE, C. W., (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogral. Rev.*, 38:55-94.