

ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS DE SUELOS Y  
AGUAS POR RIEGO DE PLATANERA EN CANARIAS

*R. MUÑOZ CARPENA, A.R. SOCORRO, G. GONZÁLEZ y N. PÉREZ*

Instituto Canario de Investigaciones Agraria- ICIA

RESUMEN

La intensidad del cultivo de platanera y de otros productos hortícolas, junto con el crecimiento de la población, han traído consigo la degradación de los acuíferos costeros de las Islas Canarias. Se presenta un estudio de contaminación por nitratos en una plantación de platanera sobre suelo arcilloso en el Norte de Tenerife con el objetivo de obtener información sobre el funcionamiento hidrológico del sistema conducente a la mejora de su gestión para la reducción del impacto potencial del riego de platanera sobre el medio ambiente. El seguimiento de los datos de campo en el tiempo confirmó la contaminación por nitratos del suelo en la zona experimentales, hasta la profundidad útil de 0.6 m, y de su transporte al acuífero donde se encuentran niveles altos de contaminación ( $>50$  mg/l  $N-NO_3$ ). El balance hidrológico realizado muestra que la mayor lixiviación se produce durante los meses de mayor demanda de riego o tras periodos largos de lluvia, alcanzando valores de 200 mm/año de agua que suponen el 20% de lluvia+riego aplicada en la zona. Debido a las elevadas concentraciones de nitratos en la solución del suelo por exceso de abonado, el lixiviado transporta hasta 140 Kg/Ha-año de  $N-NO_3$ , más del 25% del total del nitrógeno aplicado como fertilizante al cultivo. Los estudios hidrogeológicos realizados en la zona muestran que en su camino al acuífero, el lixiviado sufre un proceso de dilución con el flujo

subterráneo de la falda de las montañas. Dicha dilución se estimó en una proporción del 25% de lixiviado y 75% de agua de circulación subterránea. Esto significa que la concentración de nitrato se diluye hasta 40-50 mg/l N-NO<sub>3</sub>. La reducción de las dosis de riego y abonado nitrogenado, y el aumento de la frecuencia de aplicación reduciría el impacto sobre el acuífero.

#### ABSTRACT

Banana and other horticultural produce cultivation, as well as the population increase, has led to coastal aquifer degradation in the Canary Islands. A detailed field study to track nitrate degradation and transport through the banana plantation soil into the aquifer is presented. The main objective of the study is to understand and quantify the hydrological behavior of the system to improve the water management schemes being used so as to minimize environmental impact. Monitoring of the soil solution in the effective soil profile (0-60 cm), showed very high nitrate concentrations (50-120 mg/l N-NO<sub>3</sub>) throughout the experimental period. The soil water balance shows that most of the drainage (over 20% of the total irrigation+rainfall) is produced during the crop highest water demand period, due to excessive irrigation, and during the short rainy season when no irrigation is applied. The high water fluxes and nitrate concentration at the bottom of the soil profile produce a yearly loss of over 140 kg N/ha- year (over 25% of the total N applied). The hydrogeological study shows that when water leaves the soil profile, it is likely to quickly percolate along the preferential paths through basaltic layers below and it is intercepted (diluted) by lateral flow from the mountain side, in a ratio of 25% irrigation drainage plus 75% interflow, before it reaches the aquifer. The monitoring of spring water confirms that the nitrate lixiviates are diluted to about 40 mg/l before reaching the aquifer after mixing with the lateral flow. Smaller and more frequent applications of both N and water doses would help to reduce the environmental impact of the system

#### KEYWORDS

Contaminant, hydrology, nitrates, fertigation, environment, water, soil, pollution, bananas

#### 1. INTRODUCCIÓN

Aunque la platanera representa sólo el 2% del producto interior bruto de las Islas Canarias, su cultivo tiene una enorme importancia social, económica y cultural para un importante sector de la población. Debido a las características climáticas y fisiográficas de las islas, el cultivo de platanera depende del

riego durante la casi totalidad de su ciclo anual para cubrir déficits hídricos de hasta 130 mm/mes. La aplicación de las técnicas de fertirrigación y riego localizado ha supuesto una profunda transformación del cultivo, posibilitando su expansión frente a recursos hídricos cada vez más escasos, costosos y de calidad decreciente. La intensidad del cultivo de platanera y de otros productos hortícolas al aire libre y bajo invernadero (tomate, plantas ornamentales, flor cortada) y el crecimiento de la población, han traído consigo una degradación de los acuíferos costeros, primero por sobreexplotación y consecuente salinización, y segundo por aparición de contaminantes agrícolas (nitratos y pesticidas).

Por tratarse de islas, es de especial interés el conocimiento del origen y cantidad de los recursos hídricos y de la importancia relativa del riego frente a otros usos del agua. El balance hidrológico global se resume en la Tabla 1. En ella se observa como la evapotranspiración (Ev) constituye el principal destino del agua precipitada (P), siguiéndole la infiltración (I), y la poca importancia relativa de las aguas superficiales (Es). Ello es debido a la naturaleza volcánica del terreno, al tratarse de materiales fracturados de gran permeabilidad. Esto apunta a la gran importancia que tradicionalmente han tenido los recursos subterráneos (pozos y galerías), con un 95% del total de los recursos explotados, frente a los superficiales.

*Tabla 1.*  
*Componentes del ciclo hidrológico en las islas mayores y el archipiélago*

Factor	Gran Canaria			Tenerife			Islas Canarias		
	Hm <sup>3</sup> /año	mm/año	%	Hm <sup>3</sup> /año	mm/año	%	Hm <sup>3</sup> /año	mm/año	%
P	466	300	100	865	425	100	2535	507	100
Ev	304	195	65	606	298	70	1665	333	66
I	87	56	19	239	117	28	590	118	23
Es	73	47	16	20	10	2	280	56	11

Fuente: Planes Hidrológicos Insulares (1993, 1995) y Consejería de Obras Públicas, 1987

Dentro de las islas, la pluviosidad de una comarca depende de su orientación y altura. Son más húmedas las regiones abiertas al Norte, y más secas las zonas costeras que las de medianía o de cumbre. En estas zonas costeras secas y cálidas es donde se localiza preferentemente el cultivo de platanera en las islas. La caracterización agroclimática de Tenerife (Hernández Abreu, 1977) muestra la gran variabilidad climática existente en la isla.

Los consumos de agua frente a los recursos disponibles son crecientes, superando incluso las recargas en algunas islas. Ello ha obligado a la incorporación de recursos no naturales (desalación y reutilización) para compensar el déficit, tendencia que se acentúa en los Planes Hidrológicos Insulares, PHI,

(Dirección General de Aguas - Gobierno de Canarias y Cabildo de Tenerife, 1993; Consejo de Aguas de Gran Canaria, 1995).

Las estadísticas de uso del agua por sectores de actividad muestran como la agricultura, con el 58-80% del total consumido, es el principal usuario de los recursos hídricos. De entre los cultivos, la platanera consume más del 60% del total del agua agrícola disponible en Canarias (SYSCONSULT-AICASA, 1987). La escasez de dichos recursos obliga a un planteamiento de eficiencia en el uso del agua y conservación de la misma que ha sido una constante preocupación en las islas, como lo atestigua la creciente implantación de los sistemas de riego localizado.

La gestión de un recurso escaso como el agua en las islas está amenazada por la contaminación producida por la actividad no sólo agraria, sino humana en general. En su última edición los PHI, como documentos centrales en la política y gestión del agua en Canarias, recogen el objetivo de la mejora y garantía de la calidad del agua. En estos estudios se documenta la degradación de los acuíferos costeros por sobreexplotación así como por exceso de nitratos en las aguas de las zonas agrícolas intensivas. Es importante señalar que en un medio limitado como el de las islas, un acuífero contaminado es un acuífero perdido, lo que impone la utilización alternativa de otros recursos no naturales (desalación y reutilización) de mayor coste económico.

En el PHI de Tenerife se mencionan expresamente tres mecanismos como responsables de la contaminación de las aguas de la isla:

- (a) actividad volcánica;
- (b) penetración subterránea (intrusión) de agua marina causada por sobreexplotación de los acuíferos costeros;
- (c) recarga de sustancias vertidas por la actividad humana.

Como consecuencia, la calidad de las aguas empleadas varía según su procedencia: galerías y pozos. Las primeras se caracterizan por ser bicarbonatadas sódicas y tener un  $\text{pH} > 8$  llegando a alcanzar en algunos casos extremos concentraciones de hasta 2000 mg/l  $\text{HCO}_3$  y 500 mg/l Na. En general presentan un alto contenido en sílice ( $\text{SiO}_2$ ), entre 50-110 mg/l, causado por su largo tiempo de residencia en el suelo (aguas fósiles), y en ocasiones contienen también elevadas concentraciones de fluoruro (hasta 9 mg/l). Las aguas de pozo son en general cloruradas sódicas con pH neutro y con concentraciones de hasta 2000 mg/l de cloruros 1250 mg/l de sodio, y  $\text{CE}_{25} > 5$  ds/m.

Los vertidos al subsuelo de aguas residuales domésticas sin depurar y la percolación de aguas de riego de cultivos intensivos como la platanera o el tomate, son las principales causas de la presencia de nitratos en los acuíferos. Las zonas afectadas coinciden con las agrícolas donde se detecta intrusión marina, más las correspondientes a concentraciones de poblaciones rurales, representadas en el mapa de isolíneas por una mayor densidad de curvas (Figura 1, PHI, 1993). Los niveles medios en los principales valles agrícolas

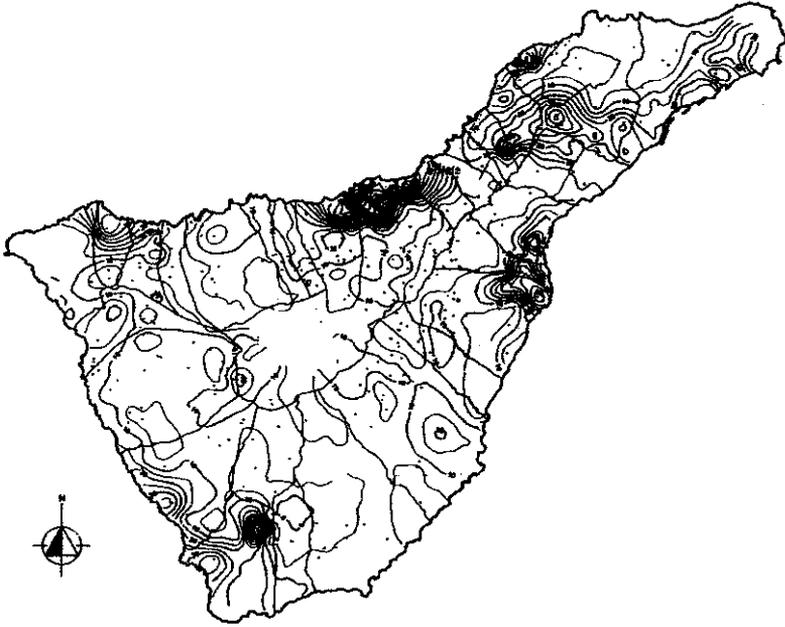


Fig. 1. Isolíneas de concentración de nitratos del acuífero en Tenerife.

oscilan entre 9-11 mg/l N-NO<sub>3</sub>, alcanzándose en algún caso concentraciones de hasta 25 mg/l N-NO<sub>3</sub>. El PHI señala que son los abonos agrícolas, más que las aguas fecales, los principales aportes de N-NO<sub>3</sub> a las aguas subterráneas.

Las conclusiones generales del estudio es que a corto y medio plazo las aguas de Tenerife seguirán empeorando cualitativamente debido a que:

- el vulcanismo es un proceso permanente
- no hay un recurso alternativo a corto plazo para sustituir a la sobreexplotación del acuífero costero aunque se prevee que aumente progresivamente el uso de recursos no naturales
- la percolación por nitratos se reducirá con medidas de control de vertidos, depuradoras y control en el uso de fertilizante, pero los niveles existentes permanecerán durante mucho tiempo debido a la lenta recarga del acuífero.

Este panorama es aplicable al resto de las islas donde se cultiva la platanera aunque con alguna matización en lo relativo a los niveles de

salinidad, más bajo en la isla más lluviosa (La Palma), que sin embargo presenta importantes niveles de contaminación por nitratos (Consejería de Obras Publicas, 1987).

En este trabajo se presenta un estudio sobre la contaminación de aguas y suelos por efecto de los fertilizantes nitrogenados aplicados en un sistema de fertirriego. El objetivo fue obtener información sobre el funcionamiento hidrológico del sistema conducente a la mejora de su gestión para la reducción del impacto potencial del riego de platanera sobre el medio ambiente. Estos estudios se están complementando actualmente con la calibración de un modelo numérico que pueda servir como herramienta en el estudio de escenarios alternativos de riego y fertilización.

## 2. Metodología

### 2.1. Elección de la zona de estudio

La zona escogida fue Valle de Guerra, situada en la zona Norte de Tenerife, la mayor de las islas (2057 Km<sup>2</sup>). El valle tiene una precipitación media de 380 mm/año registrada en la estación micrometeorológica instalada en la propia parcela, a 100 m sobre el nivel del mar (Muñoz Carpena et al, 1996a). La temperatura media anual es de 22.4°C. La evapotranspiración potencial media (Penman-Monteith) calculada en la zona es 1000 mm/año (Figura 2). Los cultivos principales de la zona son la platanera, las plantas ornamentales (tanto al aire libre como en cultivo protegido) y los cultivos hortícolas (invernadero). El valle está limitado por el macizo de Anaga al Sureste y por acantilados de 50 m hacia el océano Atlántico por el Norte.

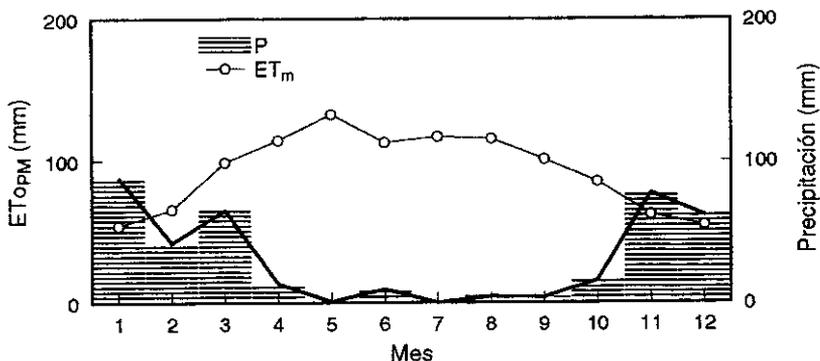


Fig. 2. Datos de precipitación y evapotranspiración recogidos en la zona.

Se seleccionó una parcela de platanera de 4800 m<sup>2</sup> que se consideraba representativa en la zona (riego, aplicaciones fitosanitarios y prácticas culturales). La parcela se sitúa dentro de una finca de 42 Ha. de platanera (Las Cuevas) perteneciente a la compañía agrícola CATESA. La finca limita al Norte con acantilados basálticos donde afloran numerosos manantiales, uno de ellos usado en el estudio. La platanera se fertiliriega con un sistema cuyas características se describen en la Tabla 2, y que en la actualidad representa al 13% de la superficie total de platanera en la isla de Tenerife.

*Tabla 2.*  
*Características del sistema de riego por aspersión*

Distribución	Aplicación	Dosis en verano (m <sup>3</sup> /Ha)	Dotación anual media (m <sup>3</sup> /Ha-año)	Eficiencia (%)1	Sup. total (%)2
Red de tubería PVC enterrada	Difusor de 800 l/h a 1 m altura, pluviometría 40-80 mm/h	500 cada 7 días	14.000	50	13.24

Como aportes generales de fertilizantes se utilizan 250-300 N, 80-100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 350-400 K<sub>2</sub>O y 80-150 CaO gramos/planta y año, aplicados en su mayoría como fertiliriego. La densidad de plantación en la zona Norte de la isla es de alrededor de 1800 plantas/Ha, alcanzándose las 2000 en la zona Sur de la isla (más cálida) e incrementándose en 20-30% con los sistemas de riego localizado, nuevos cultivares y cultivo protegido.

## 2.2. Hidrogeología de la zona

Esta zona constituye una plataforma lávica en la que afloran materiales basálticos cuaternarios pertenecientes a la Serie III (coladas, escorias y piroclastos), que cubren a los Basaltos de la Serie I, que afloran en el cercano Macizo de Anaga y afloran justamente en la costa, debajo de los materiales más modernos. El contacto entre ambas series está marcado por la existencia de un almagra, muy impermeable, que condiciona la existencia de numerosas fuentes o manantiales en la costa (Poncela, 1994).

El flujo del agua en el acuífero se canaliza por los materiales de la Serie III, mientras que la Serie I constituye el basamento impermeable. La zona no saturada tiene un espesor que supera los 70 m en general y presenta dos partes: el suelo superficial, de 0.6 m de espesor y los materiales basálticos fracturados situados debajo (Poncela, 1994). Los manantiales situados en la costa representan los colectores del acuífero, existiendo otros manantiales y rezumes en el escarpe costero que se producen debido a heterogeneidades en la zona no saturada (Fig. 3).

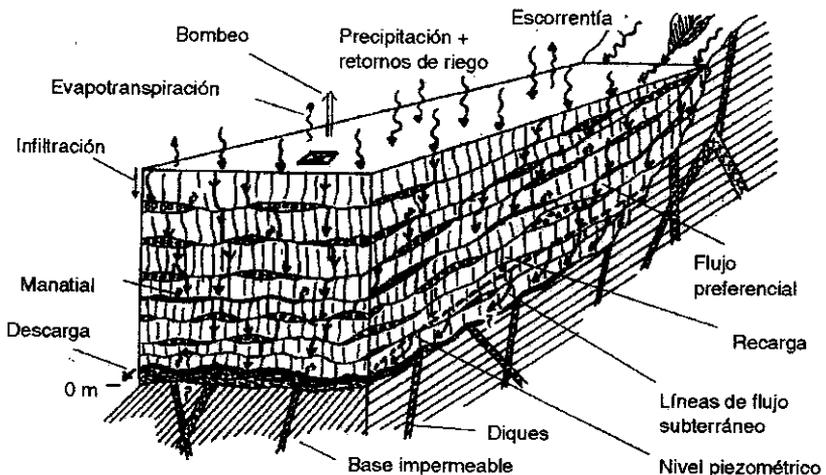


Fig. 3. Modelo conceptual del acuífero de Valle de Guerra.

Existen en la zona algunos pozos, situados a cotas superiores a los 200 m, aunque la mayor parte del agua de riego procede de galerías situadas fuera de la zona de estudio. De manera especial, se ha seguido la química de dos manantiales costeros: el Manantial Jurado, situado en la línea de la parcela experimental y el Manantial Baja Izquierda, situado más hacia el oeste.

En general, el agua subterránea local es de tipo clorurada sódica, con elevadas tasas de nitratos (por encima de 50 mg/l N-NO<sub>3</sub> en algunas ocasiones), apuntando a la existencia clara de retornos de riego. Las aguas de las galerías son bicarbonatadas sódicas, mientras que las de los nacientes pertenecen a ambos grupos.

A partir de la caracterización hidrogeoquímica y el estudio isotópico realizados (Poncela, 1994), se puede deducir que el agua del Manantial Jurado constituye una muestra compleja entre aguas de diferentes galerías y agua del acuífero, equivalente al agua de los pozos de la zona. El Manantial Jurado se caracteriza por una mezcla del 75-80% del acuífero y un 20-25% de las galerías del Norte (lixiviados o retornos de riego). En el caso del Manantial Baja Izquierda, el porcentaje de retornos de riego sería menor.

### 2.3. Caracterización de los suelos

Debido al paisaje de ladera y la ausencia de suelo agrícola en las partes bajas de la isla, el método tradicional es el cultivo en terrazas de poco espesor (50-70 cm), llamadas "sorribas", sobre la roca basáltica fracturada. La principal

característica de estas sorribas es que su suelo no es de origen local, sino que en la mayoría de los casos se ha transportado desde zonas altas de la isla donde las condiciones de humedad y temperatura permiten la formación de suelos de textura fina.

En Junio de 1994 se excavaron 7 calicatas en las parcelas para hacer un estudio de las características del perfil del suelo (Soil Survey Staff, 1978) y tomar muestras de suelo para la determinación de las propiedades químicas, físicas e hidráulicas siguiendo métodos estándar (Klute, 1986). Las Tablas 3 y 4 resumen las propiedades del suelo y la Figura 5 muestra la localización de los puntos de muestreo.

El suelo de la parcela de ensayo es de tipo arcilloso, con caracteres ándicos. Estudios de difracción de rayos-X mostraron una mineralogía con materiales amorfos y arcillas 1:1 con carga dependiente de pH (haloisita) y 2:1 nontronita.

Tabla 3  
Propiedades físicas de los suelos de las parcelas experimentales

Prof. (cm)	$K_s$ (cm/h)	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	P (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Parámetros de van Genuchten			Textura (USDA) <sup>1</sup>
					$\alpha$	n	$\alpha_s$	
15	13.0 ±3.77	2.51±0.19	1.09±0.06	0.55±0.02	0.28±0.04	1.38±0.05	0.15±0.03	Ac
30	8.38±2.08	2.49±0.06	1.18±0.06	0.52±0.03	0.22±0.04	1.41±0.05	0.15±0.03	Ac
60	7.65±2.18	2.34±0.20	1.09±0.10	0.49±0.03	0.19±0.04	1.29±0.05	0.11±0.03	Ac-F

Ac= Arcilla; Ar=Arena; F= Franco

Las curvas características del suelo se obtuvieron sobre muestra inalterada utilizando un sistema de células tipo Tempe (Klute, 1986). Los valores experimentales obtenidos para las curvas se ajustaron a la ecuación de van Genuchten (van Genuchten, 1980) usada en modelos de transporte de contaminantes (Fig. 4). Los altos valores de arcilla en los horizontes más superficiales se traducen en una mayor capacidad de retención. La contrastación de estos resultados con los altos valores de conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) medida sobre muestra inalterada para estos suelos, indica la existencia de una importante agregación natural conferida por sus propiedades ándicas y de flujo preferencial alrededor de raíces y material grueso.

Los valores de pH y  $CE_{25}$  varían poco a lo largo del perfil (cerca de pH 7 y 1.5 dS/m respectivamente). La materia orgánica es elevada en superficie, debido a los abundantes residuos que deja el cultivo, y decrece con la profundidad. El suelo presenta altas concentraciones de nitratos (>60 ppm  $NO_3$ ), típico de la horticultura intensiva de la zona.

Paralelamente determinaron las constantes de adsorción para amonio mediante estudios tipo "batch" (Muñoz Carpena et al, 1996b).

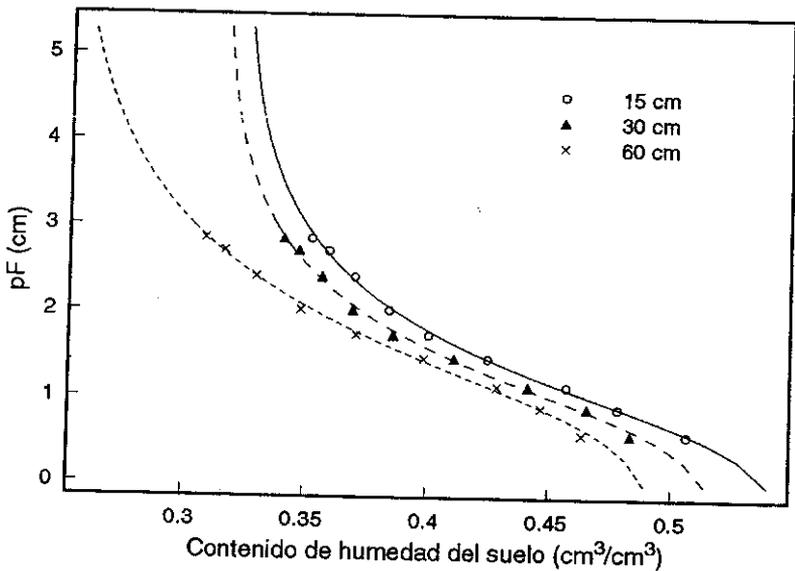


Fig. 4. Curvas de succión para los suelos de las parcelas experimentales.

#### 2.4. Diseño experimental

Se preparó un dispositivo experimental destinado a la obtención de muestras de suelo y solución del suelo en la zona no saturada, muestreo de manantiales para seguimiento del acuífero, monitorización de las características hidrológicas (balance de agua) y registro de prácticas culturales (Fig. 5).

El protocolo de muestreo de agua y suelo de la parcela incluye los siguientes tipos de muestras: i) suelo a tres profundidades (15, 30 y 60 cm) en seis puntos de cada parcela experimental; ii) solución del suelo tomada por medio de cápsulas de succión (Litaor, 1988; Muñoz Carpena et al., 1995) en puntos cercanos a los de toma de muestras de suelo; iii) manantiales. Para el estudio de nitrógeno se analizaron un total de 1725 muestras durante los años 1995-1996 repartidas en unas 50 fechas de muestreo.

Las aplicaciones de fertilizantes fueron hechas por CATESA siguiendo su calendario habitual de tratamiento, ya que interesaba evaluar el impacto de dichas prácticas sobre el suelo y agua.

El acuífero de las zonas de estudio fue muestreado a través de manantiales. Las muestras se recogieron en botellas de 1 litro e inmediatamente se refrigeraron en campo (5°C) para luego ser llevadas a laboratorio. Las botellas de muestreo eran de cristal color ámbar y el tapón con cobertura interior de teflón.

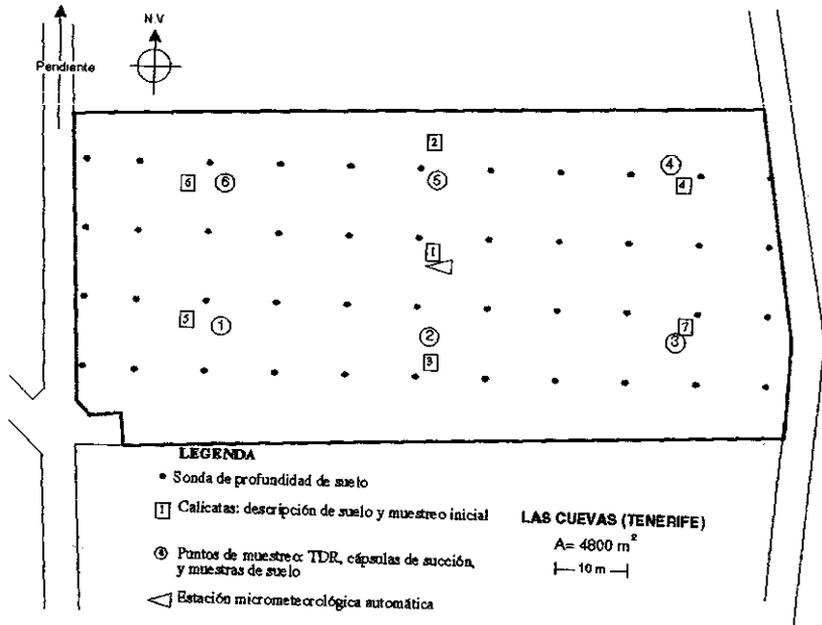


Fig. 5. Montaje experimental de la parcela de ensayo.

En la parcela se instaló una estación micrometeorológica (Muñoz Carpena et al, 1996a) para estimar la evapotranspiración del cultivo basada en datos climatológicos (humedad relativa, radiación solar, temperatura del aire, temperatura del suelo, velocidad del viento y pluviometría). Se midió el contenido de humedad mediante un sistema tipo TDR (Time Domain Reflectometry) con el objeto de registrar los cambios diarios. Los sensores de TDR se emplazaron junto a los lisímetros de succión a las mismas tres profundidades (15, 30, 60 cm.) en seis "estaciones" o puntos del campo (Fig. 6). Los puntos de muestreo de suelo se distribuyeron en la periferia de las estaciones de muestreo, tomando muestras a lo largo del experimento de manera espiral con centro en la estación, y marcando los puntos de muestreo mediante banderillas para no repetir el punto en muestreos posteriores. En el interior de las 6 estaciones de muestreo se localizaron pluviómetros para la recogida de muestras agua de lluvia y riego que sirvieron para completar el balance de agua y nutrientes (entradas) en la parcela.

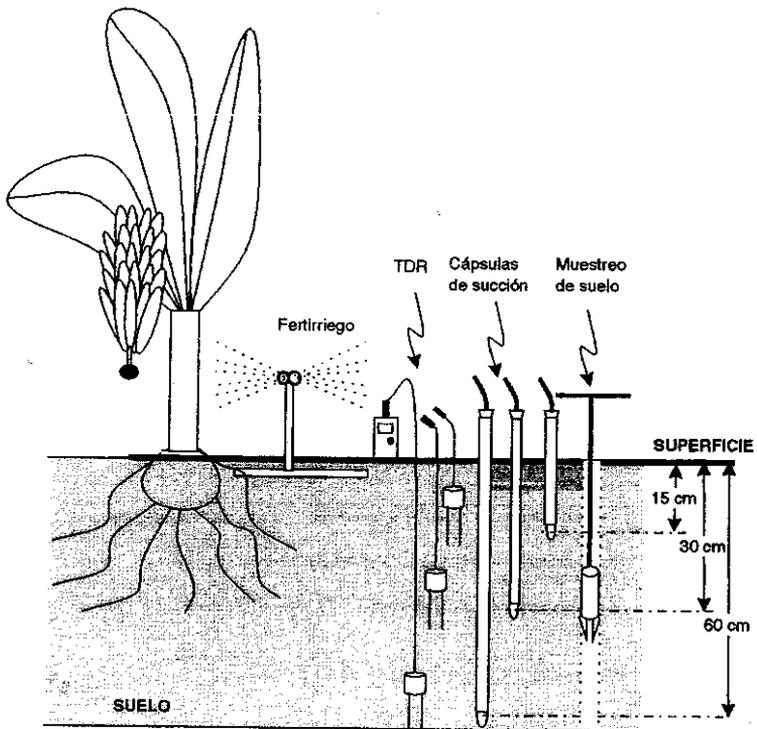


Fig. 6. Detalle de los sistemas de muestreo utilizados en la parcela.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos de humedad del suelo y registros de lluvia y riego se elaboró el balance de humedad presentado en la Figura 7 para un año completo de cultivo (del 20/9/95 al 20/9/96). Los datos presentados son media de los 6 sensores TDR a las profundidades de 15, 30 y 60 cm, obteniéndose coeficientes de variabilidad entre sensores de 21,2, 16,6 y 18,3 %, respectivamente. Durante el periodo final del año 1995 y principio de 1996 (días julianos 318-437) se recogieron 293 mm de lluvia que corresponden al aumento de la humedad media del perfil observado en la Figura 7. La humedad media disminuye hasta el mes de Mayo en el que se alcanza la evapotranspiración máxima del cultivo (Fig. 1) y aumenta a partir de ese momento al disminuir la evapotranspiración.

El modelo de van Genuchten (1980) permite calcular la succión equivalente,  $\psi$ , y la conductividad insaturada,  $K_u(\psi)$ , partiendo de datos de humedad del suelo y los parámetros determinados experimentalmente (Tabla 3). En la Figura 7 se muestra la variación de los valores de succión del suelo estimados durante el periodo experimental.

Conocidos  $\psi$  y  $K_u(\psi)$  es posible calcular el drenaje o lixiviación como flujo unitario de agua,  $q$ , en la sección inferior del suelo (30-60 cm) por aplicación de la ecuación de Darçy (Chow et al., 1987),

$$q_{30 \rightarrow 60} = -K_u(\psi) \frac{H_{30} - H_{60}}{30}$$

donde, H es el potencial hidráulico,  $H = \psi + z$ , y z la profundidad de cada punto. Los resultados de este cálculo obtenidos para los datos de la Figura 7 muestran un drenaje para el suelo de la parcela de 200 mm/año, lo que supone el 20% de lluvia+riego aplicada en la zona. Este drenaje no se produce de manera uniforme a lo largo del año sino tras periodos largos de lluvia o de riego frecuente durante los meses de mayor demanda.

Los contenidos de nitratos en la solución del suelo y su evolución en el tiempo (Fig. 8a) confirmaron la contaminación del suelo en las zonas experimentales hasta la profundidad útil de 0.6 m, y de su transporte hacia manantiales y acuífero. Esto se corresponde con los valores determinados en los pozos de la zona donde se encuentran niveles altos de contaminación, superiores a 50 mg/l N-NO<sub>3</sub> (Poncela, 1994). Las elevadas concentraciones de nitratos en la solución del suelo están producidas por exceso de abonado.

Combinando los valores de flujo determinados anteriormente con las concentraciones de la solución del suelo a 60 cm obtenemos el lixiviado de nitratos del suelo (Fig. 8b). Las mayores pérdidas de nitrógeno corresponden a los periodos mencionados anteriormente, alcanzando un valor anual de 140 Kg/Ha-año de N-NO<sub>3</sub>, superiores al 28% del total del nitrógeno aplicado como fertilizante al cultivo.

El estudio hidrogeológico realizado en la zona muestra que en su camino al acuífero, el nitrato lixiviado sufre un proceso de dilución con el flujo subterráneo de la falda de las montañas, hasta los niveles de 40-50 mg/l N-NO<sub>3</sub> encontrados en las aguas de manantial (Fig. 8a). El agua recogida en el manantial representa en realidad los retornos de toda la zona además de la circulación del agua subterránea. Por lo tanto no existe una correlación directa entre las muestras recogidas en la zona no saturada y el contenido en pesticidas del agua del acuífero. Un hecho que confirma esta hipótesis es la detección de un producto no usado en la finca (el herbicida metribuzina), pero aplicado en otras fincas de la zona situadas a mayor altura en el valle.

La reducción de las dosis de riego y abonado nitrogenado, y el aumento de la frecuencia de aplicación reduciría el impacto sobre el acuífero.

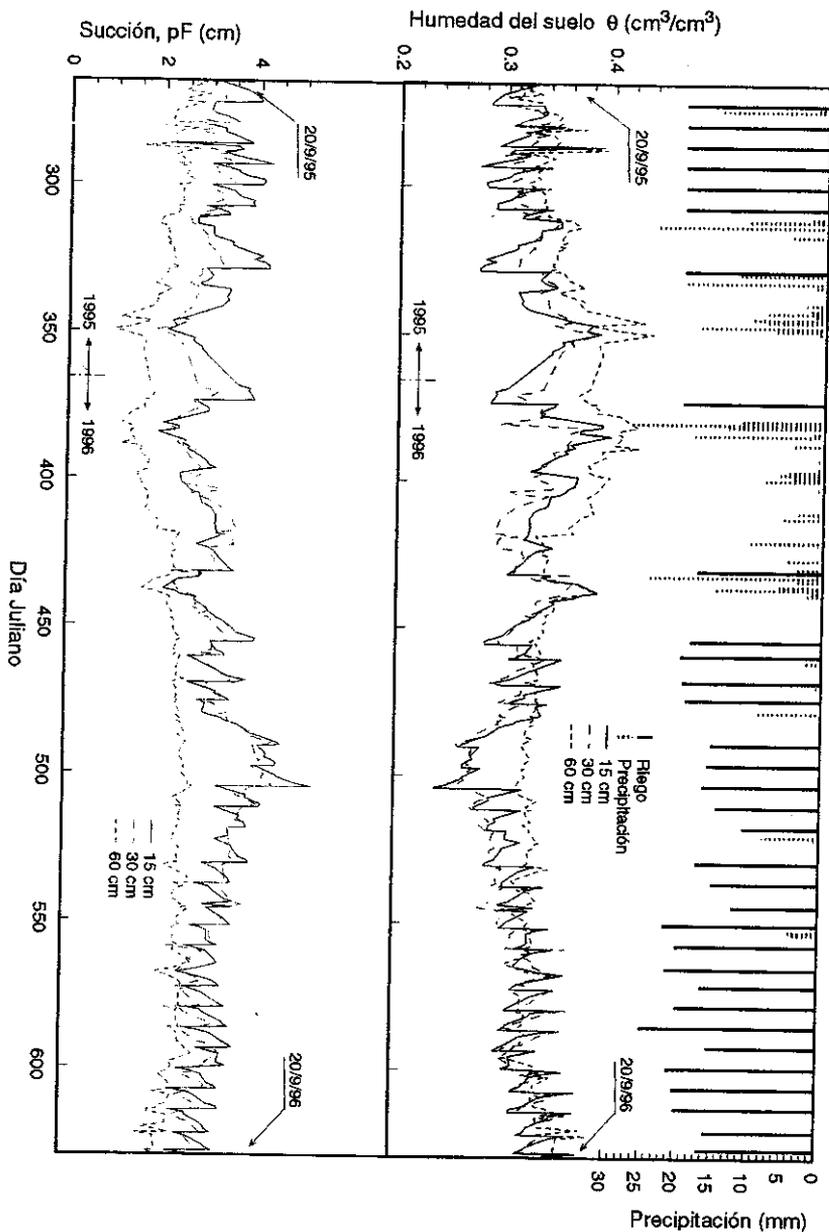


Fig. 7. Balance hídrico del suelo y lixiviación de nitratos en la parcela experimental

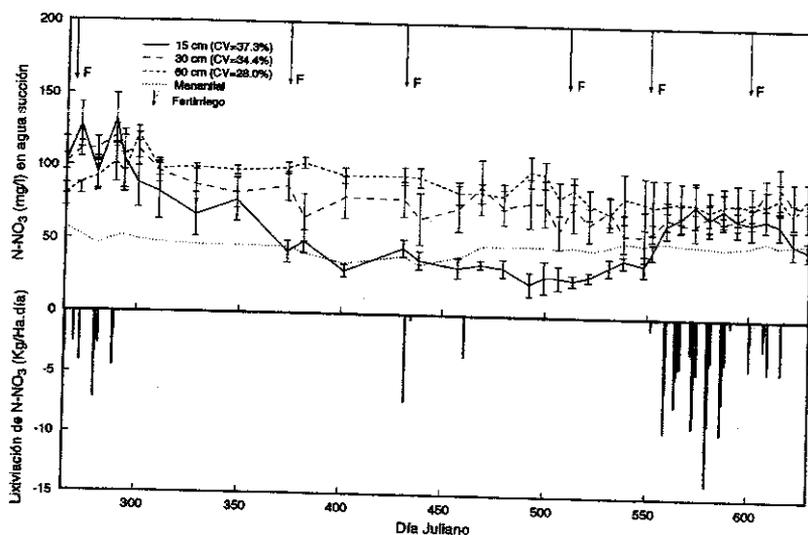


Fig. 8. Evolución del contenido de nitratos en la solución del suelo a distintas profundidades y lixiviación hacia el acuífero.

#### 4. CONCLUSIONES

La platanera en Canarias se cultiva en su totalidad con riego durante la mayor parte del año. El cultivo es un gran consumidor de los recursos de agua insulares. A la escasez de estos recursos hay que añadir la salinización resultante por sobreexplotación de los acuíferos y la intensidad de la horticultura existente, por lo que cantidad y calidad del agua son el mayor factor limitante a la extensión del cultivo.

Los estudios realizados sobre el funcionamiento hidrológico de una zona de platanera en la parte Norte de la isla de Tenerife indican que los importantes niveles de lixiviados producidos en la zona, están asociados al exceso de agua y nutrientes aplicados al cultivo así como a periodos de lluvia intensa en la parte final y principio del año. Estos valores de lixiviados pueden ser superiores al 25% del total del nitrógeno aplicado al cultivo.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo ofrecido por el personal al servicio de las siguientes entidades: Dirección General de Aguas y Servicio de Protección de los Vegetales (Gobierno de Canarias), Servicio de Extensión

Agraria (Cabildo de Tenerife), y CATESA. Los estudios han sido financiados por la Unión Europea (Proyecto EV5V-CT-93-0322) y el Plan Nacional de I+D Agrario de España (Proyecto SC95-059).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- CHOW, V.T., D.R. MAIDMENT, y L.W. MAYS. 1987. Applied Hydrology. McGraw Hill:New York.
- Consejería de Agricultura y Pesca. 1995. Resumen de datos estadísticos agrícolas y ganaderos. Gobierno de Canarias: Santa Cruz.
- Gobierno de Canarias. 1987. El Agua en Canarias. Gobierno de Canarias (Consejería de Obras Públicas)- Ministerio de Obras Públicas: Santa Cruz.
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. 1992. Plan Hidrológico de Gran Canaria - PHI. Cabildo Insular de Gran Canaria: Las Palmas.
- Consejo Insular de Aguas. 1995. Las Aguas del 2000- Plan Hidrológico Insular de Gran Canaria. Cabildo Insular de Gran Canaria: Las Palmas.
- Dirección General de Aguas y Servicio de Planificación Hidráulica. 1993. PHI- Plan Hidrológico Insular de Tenerife. Cabildo de Tenerife: Santa Cruz.
- HERNÁNDEZ ABREU, 1977. Estudio agroclimática de la Isla de Tenerife. An. INIA. Ser. General 5:113-181.
- KLUTE, A. (ed). 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd. Ed. Agronomy monograph no.9. Madison:ASA-SSSA.
- LITAOR, M.I. 1988. Review of soil samplers. Water. Resour. Res. 24(5):727-733.
- MUÑOZ CARPENA, R., A.R. SOCORRO MONZÓN, J. Beltrán Arandes, G. González Tamargo, N. Pérez Pérez. 1995. Evaluación de métodos de muestreo de la zona no saturada para algunos contaminantes agrícolas. En: Avances en la Investigación de la Zona No Saturada. p. 49-61. Scio. Pub. Gobierno Vasco: Vitoria.
- MUÑOZ CARPENA, R., M.C. CABRERA, F. HERNÁNDEZ, A.R. SOCORRO. 1996b. Development of Analytical and Sampling Methods for Priority Pesticides and Relevant Transformation Products in Aquifers. Final EU Project Report EV5V-CT93-0322. ICIA: (sin publicar).
- MUÑOZ CARPENA, R., D. FERNÁNDEZ GALVÁN, G. GONZÁLEZ TAMARGO y P. HARRIS. 1996a. Diseño y evaluación de una estación micrometeorológica de bajo coste para el cálculo de la evapotranspiración de referencia. Riegos y Drenajes XXI, 88:17-25.
- PONCELA, R. 1994. Estudio Hidrogeológico de la zona de Valle de Guerra (Tenerife. España) con énfasis en la Hidrogeología e hidrogeoquímica en el entorno de la Finca "Catesa-Las Cuevas" y zonas adyacentes (sin publicar).
- Soil Survey Staff. 1978. Keys to Soil Taxonomy. US Dept. of Agr:Washington.
- SYSCONSULT-AICASA. 1987. Estudio de los Consumos y Necesidades Hídricas Agrarias en las Islas Canarias. Plan Hidrológico del archipiélago Canario. 3 tomos (sin publicar).
- VAN GENUCHTEN, M.T.1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. SSSA Proc, 44:892-898.