



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**CONVENIO ITGE-ETSIMM
(1989-92)**

**“DESARROLLO Y ADAPTACION
DE TECNICAS INFORMATICAS Y
DE SIMULACION NUMERICA
APLICADAS A LAS AGUAS
SUBTERRANEAS”**

ANEXO 5 AL INFORME FINAL

**“PAQUETE INTEGRADO PARA
OBTENCION DE PARAMETROS
EN MEDIO SATURADO Y NO
SATURADO MEDIANTE
TRAZADORES: ISOTEVA.”**



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

37065



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas

Informe:

Rev:

Fecha:

					/ /
--	--	--	--	--	-----

LABORATORIO DE SIMULACION NUMERICA Y METODOS INFORMATICOS

ANEXO 5
Programa ISOTEVA



DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA
Y MÉTODOS INFORMÁTICOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INFORME SOBRE LA
ESTIMACION DE LA
EVAPOTRANSPIRACION EN
SUELOS
NO SATURADOS, MEDIANTE LA
INTERPRETACION DE PERFILES
DE ISOTOPOS.

A. ALVAREZ
F.J. ELORZA

Madrid, Diciembre 1.991

**INFORME SOBRE LA ESTIMACION DE LA
EVAPOTRANSPIRACION EN SUELOS NO SATURADOS
MEDIANTE LA INTERPRETACION DE PERFILES
DE ISOTOPOS**

A. ALVAREZ

F.J.ELORZA

E.T.S.Ingenieros de Minas

MADRID, DICIEMBRE DE 1991

INDICE

0.	PARAMETROS Y VARIABLES UTILIZADAS	2
1º.	BASES TEORICAS DE LA METODOLOGIA	4
2º.	DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DESARROLLADA	8
3º.	APLICACION DE METODOS DE ESTIMACION DE PARAMETROS DE ECUACIONES NO LINEALES	19
4º.	APLICACION AL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA	23
5º.	CONCLUSIONES	62
6º.	BIBLIOGRAFIA	64
ANEXO 1.	LISTADO DEL PROGRAMA TRO1.FOR	65
ANEXO 2.	DATOS DE ENTRADA DEL EJEMPLO SC3	82
ANEXO 3.	RESULTADOS DEL EJEMPLO SC3	84
ANEXO 4.	FICHERO DE RESULTADOS DEL EJEMPLO BARNES	90
ANEXO 5.	FICHERO DE RESULTADOS DE PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA I DUNAS, DEL MES DE JUNIO 89	94
ANEXO 6.	FICHERO DE RESULTADOS DE LA PARTE SUPERIOR DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA I DUNAS, DEL MES DE JUNIO 89	99
ANEXO 7.	FICHERO DE RESULTADOS DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA I DUNAS DEL MES DE ENERO 90	104
ANEXO 8.	FICHERO DE RESULTADOS DE LA PARTE SUPERIOR DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA I DUNAS, DEL MES DE ENERO 90	108

0. PARAMETROS Y VARIABLES UTILIZADAS

a_i	Intersección con el eje de ordenadas de la recta isotópica en la región de transporte de la fase vapor
b_i	Pendiente de la recta isotópica en la región de transporte en la fase vapor
D_i^l, D_i^{l*}	Coefficiente de difusión en la fase líquida del isótopo i
D^v, D^{v*}	Coefficiente de difusión en la fase vapor
$h, h_a, h_j, h_o, h_{ef}, h_g$	Humedades relativas
N, N_{sat}	Concentración del vapor de agua
p	Porosidad
z	Profundidad
\bar{z}	Profundidad de penetración
\hat{z}_i	Profundidad de decrecimiento para el isótopo i
α_i^*	Factor de fraccionamiento isotópico del isótopo i
$\delta_i, \delta_i^s, \delta_i^{res}, \delta_i^a, \delta_i^{ef}$	Valores isotópicos del isótopo i
η_i	Exceso en el ratio de difusión
θ	Contenido en agua volumétrico
ρ	Densidad del agua líquida
τ, τ'	Tortuosidad
R	Ratio isotópico en el agua líquida
R^{res}	Ratio isotópico en el agua de alimentación

R^0	Ratio isotópico en el agua en la cota $z = 0$
R^*	Ratio isotópico en el agua estandar
z_{ij}	Relación de difusión en la fase líquida para el isótopo i
δ^0	Valor de delta en la cota $z = 0$
ϵ_i^*	Coefficiente de enriquecimiento isotópico del isótopo i
E	Tasa de evaporación

1. BASES TEORICAS DE LA METODOLOGIA

El objetivo principal de esta técnica consiste en la estimación de la evapotranspiración tanto en suelos saturados como en suelos no saturados, a partir de la interpretación de los perfiles de dos isótopos estables del agua: oxígeno-18 y deuterio.

El comportamiento isotópico del agua, mientras transcurre la evaporación, fue analizado por Craig y Gordon (1965), mediante la aplicación de la ley de Fick de la difusión, al movimiento de los isótopos estables, en la fase líquida y la fase vapor, y en la interfase aire/agua. Posteriormente Barnes y Allison (1983), comprobaron que la temperatura del aire, la humedad relativa y la composición isotópica del agua de la atmósfera tienen una marcada influencia en la concentración isotópica del agua en el subsuelo.

Zimmermann et al. (1967), observaron que el enriquecimiento del deuterio en el agua contenida en una columna de suelo saturada, decrecía exponencialmente con la profundidad, siendo este decrecimiento proporcional a la evaporación. Esto se observó también en suelos no saturados, de forma que, bajo el frente de evaporación, los perfiles isotópicos tenían una forma similar a la de los suelos saturados.

1.1. Evaporación en suelos saturados

La forma exponencial observada en los perfiles isotópicos, puede ser explicada como la resultante del equilibrio entre los flujos difusivos y convectivos:

$$D^{I*} \frac{dR}{dz} = E (R - R^{res})$$

Donde D^{I*} es la difusividad efectiva del isótopo en el agua líquida, E es la evaporación, R^{res} es el ratio isotópico del agua de alimentación del perfil y R es el ratio isotópico en el agua líquida.

La solución de esta ecuación diferencial es:

$$R = R^{res} + (R^0 - R^{res}) \exp(-z / z_1) \quad (1)$$

donde:

$$z_1 = \frac{D^{I*}}{E}$$

siendo D^{I*} constante, lo que sólo ocurrirá si la porosidad es homogénea con la profundidad.

Midiendo las concentraciones isotópicas como desviaciones relativas con respecto al contenido isotópico medio del agua del mar (SMOW), multiplicadas por 1000, la ecuación (1), quedaría de la forma:

$$\delta = \delta^{res} + (\delta^0 - \delta^{res}) \exp(-z / z_1)$$

donde δ está definido por :

$$\delta = (R / R^* - 1) \times 1000 \text{ (o/oo)}$$

1.2. Evaporación en suelos no saturados

Si el nivel piezométrico desciende se formará en la parte superior del terreno una zona no saturada, en la que tendrán lugar tanto el transporte en la fase líquida como en la fase vapor. Como primera aproximación, en un sistema isotérmico, se considera que la zona en la que se producen ambos transportes a la vez es muy pequeña, por lo que el modelo consistirá en una capa de suelo en la que sólo existe transporte en vapor, sobre una capa no saturada, en la que sólo hay transporte en líquido. Esta simplificación puede ser válida para materiales permeables como arenas, pero puede no ser admisible para las arcillas.

1.2.1. Región de transporte en fase vapor

A partir de la ley de Fick, en estado estacionario, la humedad relativa por encima del frente de evaporación del suelo, variará linealmente con la profundidad. Esto se deduce de que siendo N la concentración de vapor de agua en fase gaseosa contenida en el suelo y E la evaporación (constante) en el equilibrio, se tiene:

$$D^{v*} (dN/dz) = \rho E$$

siendo (Barnes, Allison (1983)): $D^{v*} = \tau' D^v (p - \theta)$

La humedad relativa h , se puede definir como:

$$h = N / N_{sat}$$

siendo N_{sat} la concentración de vapor de agua en saturación a una determinada temperatura. La humedad relativa en el suelo, a una determinada profundidad es:

$$h = h_a + z / \bar{z} \quad (2)$$

donde \bar{z} es la profundidad de penetración y viene dada por:

$$\bar{z} = N_{sat} \cdot D^{v*} / \rho \cdot E$$

Inmediatamente encima del frente de evaporación, la humedad relativa h_{ef} será muy cercana a la unidad, mientras que si esta región del suelo, la de transporte de vapor, es lo suficientemente potente, la humedad relativa en la superficie del suelo h_s será igual a la humedad relativa del aire atmosférico h_a , por lo tanto, la profundidad del frente de evaporación vendrá dada por:

$$z_{ef} = (h_{ef} - h_s) \bar{z} \cong (1 - h_a) \bar{z} \quad (3)$$

En esta zona el perfil isotópico cumplirá la relación (para el isótopo i):

$$\delta_i = \alpha_i^{*-1} \left[\delta_i^a + \epsilon_i^* + \left(\eta_i (1 + \delta_i^{res}) + (\delta_i^{res} - \delta_i^a) \right) \cdot (z / (z + h_a \bar{z})) \right]$$

Si δ_i^a es conocido, dibujando $\left(\delta_i - (\delta_i^a + \epsilon_i^*) / \alpha_i^* \right)^{-1}$ en función de z^{-1} , nos dará una recta, con término independiente.

$$a_i = \alpha_i^* \left(\eta_i (1 + \delta_i^{res}) + (\delta_i^{res} - \delta_i^a) \right)^{-1} \quad 5$$

y cuya pendiente será :

$$b_i = h_a \bar{z} \cdot a_i \quad (4)$$

A partir de \bar{z}^{-1} , se podrá hacer una estimación de la evaporación E, debido a su proporcionalidad.

1.2.2. Región de transporte en fase líquida

Si el contenido en agua varía con la profundidad, la relación de equilibrio entre los transportes convectivos y dispersivos, quedará:

$$(\delta_i - \delta_i^{res}) = (\delta_i^{ef} - \delta_i^{res}) \cdot \exp. (- f(z) / \hat{z}_i) \quad (5)$$

desde $f(z)$ es una función de la profundidad, que tiene en cuenta el efecto de la variación de contenido en agua en el suelo y su influencia en la difusión isotópica :

$$f(z) = \bar{\theta} \int_{z_{ef}}^z dz' / \theta$$

Si se dibuja $\ln((\delta_i - \delta_i^{res}) / (\delta_i^{ef} - \delta_i^{res}))$ en función de $f(z)$, se obtendrá una recta, cuya pendiente será $-1 / \hat{z}_i$, a partir de la cual, se podrá obtener una estimación de la evaporación por la fórmula:

$$\hat{z}_i = D_i^{l*} / E \quad (6)$$

1.2.3. Combinación

Combinando las dos regiones, se obtendrá la forma general de los perfiles isotópicos. Los valores δ aumentarán rápidamente desde la superficie hasta alcanzar un máximo al final de la región de transporte en vapor decreciendo exponencialmente a partir de este punto, hasta alcanzar un valor constante a grandes profundidades. La posición del máximo índice indica la profundidad en el perfil a partir de la cual se produce el movimiento en fase líquida. La anchura de este pico nos indicará la extensión de la región en la que tiene lugar tanto el movimiento en líquido, como en vapor. Cuanto más ancha sea esta región, menos agudo será el máximo, y menor será este.

En el caso de que el perfil de humedades relativas presente todos sus valores cercanos a la unidad, no aparecerá ningún máximo en el perfil, creciendo este desde el valor alcanzado en la superficie hasta δ_i^{res} .

1.3. Estimación de la evaporación

En función de los anteriores comentarios, en un caso general será posible hacer tres estimaciones independientes de la evaporación.

1º) A partir de la relación lineal entre $[\delta_i - (\delta_i^a + \epsilon_i^*) / \alpha_i^*]^{-1}$ en función de z^{-1} para la región de transporte de vapor. A partir de las ecuaciones (2) y (4), se obtendrá una estimación de E.

2º) El segundo método consiste en dibujar la recta $\ln \left(\frac{\delta_i - \delta_i^{res}}{\delta_i^{ef} - \delta_i^{res}} \right)$ en función de $f(z)$, obteniéndose una estimación de E por (6).

3º) El tercer método consiste en estimar E a partir de la posición del frente de evaporación, según la ecuación (3). Para esto es necesario tomar un gran número de muestras en la zona en la que aparece el máximo de perfil isotópico.

Para perfiles isotérmicos y estáticos, el segundo método será el más preciso, sin embargo en situaciones complicadas donde no se puede hablar de equilibrio, y donde tenga lugar la transpiración, pierde validez.

La estimación a partir de la profundidad del frente de evaporación es más robusta, ya que esta no se ve afectada por la transpiración.

El primer método presenta los inconvenientes de que la zona de transporte de vapor es relativamente estrecha, y el contenido de agua es muy bajo, lo que dificulta las medidas en esta zona.

1.4. Tiempo característico para el desarrollo de un perfil isotópico

El tiempo característico para el desarrollo de un perfil isotópico viene dado por la expresión:

$$\tau = D^* / E^2$$

Se puede determinar a partir de la evaporación de un suelo saturado o no saturado, en ausencia de difusión de vapor y en régimen permanente, (Barnes y Allison, 1983).

La forma del perfil isotópico reflejará (Barnes 1984) las condiciones de suelo y atmosféricas durante un periodo de tiempo, que será función de la evaporación. Para evaporaciones bajas, este tiempo puede ser muy largo, pero para evaporaciones del orden de 10 mmd^{-1} , el perfil sólo será válido para un par de días.

Esto implica que la hipótesis de régimen permanente no puede ser aplicada si las condiciones no son razonablemente constantes durante el periodo en estudio, en particular, la infiltración proveniente de precipitaciones durante este periodo invalidará esta hipótesis.

Si se considera exclusivamente la zona de transporte en vapor, se puede definir un tiempo característico, que suele ser notablemente más corto que el necesario para aplicar el régimen permanente al perfil completo (Fontes et al., 1986).

En el caso de régimen variable, Barnes y Walker (1988) demostraron que para un suelo hipotético el tiempo característico para régimen transitorio es uno o dos órdenes de magnitud menor que el correspondiente al régimen permanente.

2. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DESARROLLADA

Para la aplicación de esta técnica, se ha desarrollado un programa en lenguaje FORTRAN, en sistema operativo VMS, que ha sido utilizado en miniordenadores VAX8300, pero que podrá ser adaptado fácilmente a microordenadores.

2.1. Descripción del programa

Las operaciones que realiza este programa son las siguientes:

2.1.1. Determinación del contenido en oxígeno-18 y deuterio del agua de alimentación

A partir de los datos de δ_{18} y δ_2 del perfil, se hallará la recta de regresión de la forma :

$$\delta_2 = a \cdot \delta_{18} + b$$

Si se tienen datos del agua meteórica, se hallará la recta de regresión análoga, si no se tomará la expresión universal : $\delta_2 = 8 \cdot \delta_{18} + 10$ (Kaczala, 1986).

A continuación se halla el punto de intersección de ambas rectas, que nos dará el contenido en oxígeno-18, y deuterio del agua de alimentación: δ_{18}^{res} y δ_2^{res} .

2.1.2. Cálculo de la evaporación

2.1.2.1. Región de transporte en fase vapor

En primer lugar, se hallará la regresión lineal entre los valores de $[\delta_i - (\delta_i^a + \epsilon_i^*) / \alpha_i^*]^{-1}$ y (z^{-1}) , a partir de la pendiente, y según se ha visto en el epígrafe 1.2.1. se obtendrá una situación de la evaporación. Esta operación se realizará para cada perfil isotópico.

En segundo lugar, en esta región la evaporación se hallará en cada punto del perfil correspondiente a la fase vapor, a partir de la expresión:

$$E = \frac{(h - h_a) \cdot N_{sat} \cdot \tau \cdot D^v \cdot (p - \theta)}{\rho \cdot z} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

En el caso en el que no se tengan valores de h a lo largo del perfil, esta expresión se puede aplicar únicamente en el punto correspondiente al frente de evaporación (z_{ef}):

$$E = \frac{(1 - h_a) \cdot N_{sat} \cdot \tau \cdot D^v \cdot (p - \theta)}{\rho \cdot z_{ef}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

Se consideran condiciones isotérmicas, aplicando la temperatura media anual, por lo que el resultado será la tasa de evaporación media anual que corresponda a las condiciones del perfil analizado.

2.1.2.2. Zona de transporte en fase líquida

2.1.2.2.1. Zona saturada

En esta zona se aplica la relación:

$$\delta_i - \delta_i^{res} = (\delta_i^s - \delta_i^{res}) \exp(-z/z_{1i})$$

Donde δ_i^s es el valor isotópico en el nivel piezométrico.

La evaporación será igual a :

$$E = \frac{p \cdot \tau \cdot D_i^l}{z_{1i}}$$

La evaporación se calcula en m / s y se pasa posteriormente a mm / a.

2.2.2.2. Zona no saturada

Se halla la siguiente relación (Kaczala, 1986):

$$\ln \left[\frac{\delta_i - \delta_i^{res}}{\delta_i^{ef} - \delta_i^{res}} \right] = \frac{-1}{\hat{z}_i} \cdot f(z)$$

donde δ_i^{ef} es el valor delta del isótopo i en el punto del perfil correspondiente al frente de evaporación. En ella :

$$f(z) = \bar{\theta} \cdot \int_{z_e}^z \frac{dz}{\frac{\theta + N_{sat} \cdot D_i^v \cdot (p - \theta)}{\rho \cdot D_i^l}}$$

Si esta relación es lineal, a partir de la pendiente \hat{z}_i , obtendríamos el valor de la evaporación:

$$E = \frac{\hat{z}_i}{\theta \tau D_i^l}$$

2.1.3. Ecuaciones de los perfiles de los isótopos

Una vez calculada la evaporación podrán calcularse y dibujarse los perfiles isotópicos teóricos correspondientes a la misma, pudiendo compararse con los perfiles reales.

2.1.3.1. Zona de transporte en fase vapor

En este caso, los valores δ_i del perfil se hallarán a partir de la expresión (Barnes y Allison, 1983) :

$$\delta_i = \alpha_i^{* - 1} \cdot [\delta_i^a + \epsilon_i^* + \{\eta_i \cdot (1 + \delta_i^{res}) + (\delta_i^{res} - \delta_i^a)\} \cdot \{z / (z + h_a \cdot \bar{z})\}]$$

donde:

$$\bar{z} = \frac{N_{sat} \cdot D^v \cdot \rho \cdot E}{\rho \cdot E}$$

2.1.3.2. Zona de transporte en fase líquida

2.1.3.2.1. Zona no saturada

En este caso los valores delta de los perfiles, se obtendrán a partir de la ecuación (Kaczala, 1986) :

$$\delta_i = \delta_i^{res} + (\delta_i^{ef} - \delta_i^{res}) \cdot \exp(-f(z) / \hat{z}_i)$$

NOTA: Conviene recordar que para todas estas expresiones se ha considerado aceptable la hipótesis isoterma.

2.1.3.2.2. Zona saturada

En este caso, los valores de los perfiles isotópicos vendrán dados por la expresión:

$$\delta_i = \delta_i^{res} + (\delta_i^s - \delta_i^{res}) \exp(-z / z_{1i})$$

NOTA: Al final el programa calcula un valor de la varianza del error cometido en todos los perfiles, lo que nos da una idea de la aproximación conseguida con esta metodología.

2.1.4. Cálculo de los tiempos característicos

El programa realiza el cálculo del tiempo característico en cada una de las tres zonas principales del perfil, la zona de transporte de vapor, la zona no saturada, con transporte de líquido y la zona saturada. A su vez lo calcula para cada perfil isotópico. Para ello utiliza la relación:

$$t = D^* / E^2 \text{ (segundos)}$$

El programa hace la conversión de este tiempo a días.

2.2. Salidas gráficas

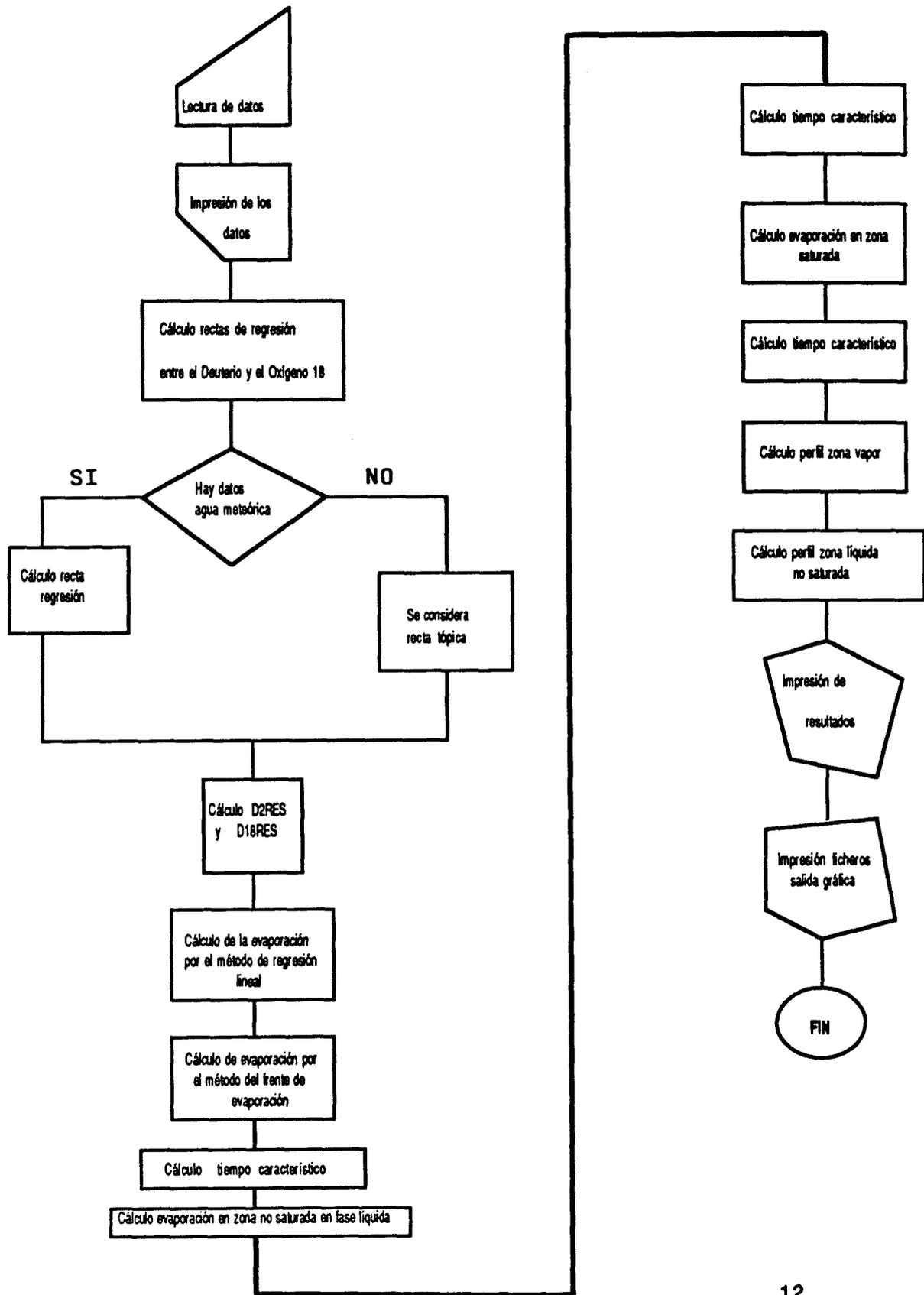
El programa prepara unas salidas de datos para que sean utilizadas directamente por el programa CODEBK. FOR realizado con paquete gráfico DISSPLA.

Estos programas gráficos representan los perfiles isotópicos medidos en el campo y los perfiles calculados por el programa, pudiéndose comparar y comprobar el grado de aproximación conseguido con el programa.

2.3. Obtención de perfiles definidos por el usuario

El programa muestra al final en pantalla los valores de evaporación según los perfiles en la fase líquida no saturada, y los valores isotópicos del agua de alimentación, y da también la opción de variarlos y hallar nuevos perfiles con los valores escogidos por el usuario, con esto se pueden probar de forma "manual" nuevas aproximaciones a los perfiles isotópicos.

2.4. Organigrama



2.5. Manual del usuario

El programa informático desarrollado se llama TR01, y su listado se adjunta en el ANEXO 1.

Para ejecutar este programa se deberá confeccionar previamente un fichero de datos, cuya extensión será . DAT. En este fichero de datos se introduce primero, el número de puntos de los que constan los perfiles, y a continuación, se escriben los datos correspondientes a estos perfiles, en forma de columnas. La primera columna serán las distintas profundidades a las que se han tomado las muestras, la segunda será el perfil del contenido en agua líquida en el suelo, la tercera será el perfil de humedades relativas en el suelo, la cuarta y la quinta se referirán a los contenidos en deuterio y oxígeno-18 del agua, expresados en ‰ con respecto al SMOW. La siguiente columna es el perfil de temperaturas a las que se han tomado las muestras, y la última es el perfil de porosidades.

A continuación se especifican los parámetros que son, el frente de evaporación que dividirá el perfil en las zonas de transporte en la fase vapor, y de transporte en la fase líquida, nivel piezométrico, para el caso en el que se considere también la zona saturada, temperatura media del aire, tortuosidad del suelo, densidad del agua, humedad relativa del aire, contenidos isotópicos del mismo, exponente del exceso del ratio de difusión, que reflejará las condiciones atmosféricas, en lo que a vientos se refiere, y por último, se darán los datos isotópicos del agua de lluvia, en caso de que los hubiere; si no es así, se tomará la recta de regresión universal entre el deuterio y el oxígeno-18. En caso de que se conociesen, también existe la posibilidad de introducir directamente los contenidos isotópicos del agua de alimentación.

Una vez leídos los datos, pasa al cálculo de la evaporación según los tres métodos descritos anteriormente para el perfil de deuterio y el perfil de oxígeno-18. En primer lugar da el resultado de la evaporación en la zona de transporte en la fase vapor, para el deuterio y para el oxígeno-18, con los consiguientes coeficientes de regresión, que nos darán una idea sobre la bondad del ajuste.

Después se hace el cálculo de la evaporación a partir del frente de evaporación y el tiempo característico calculado a partir de este resultado.

Después se procederá al cálculo de la evaporación en la zona de transporte en la fase líquida para los dos perfiles. En primer lugar dará una tabla con los valores calculados en cada punto. Después halla la recta de regresión que explicamos en anteriores epígrafes, a partir de la cual se obtiene el valor de la evaporación. El coeficiente de regresión de esta nos servirá para tener una idea sobre la precisión de los resultados de evaporación obtenidos. A continuación se calcula de nuevo el tiempo característico del perfil, de acuerdo con los nuevos datos obtenidos.

Si existieran datos dentro de la zona saturada, se seguiría el mismo proceso que en el caso de zona no saturada con transporte líquido. Por último, a partir de los resultados obtenidos del programa, se hallan los perfiles del deuterio y el oxígeno-18 que corresponderían, tanto para la zona de transporte en la fase vapor, como para la zona de transporte en la fase líquida.

Al final de estos perfiles se dan medidas estadísticas sobre el ajuste de los mismos con los datos de entrada al programa.

El programa también confecciona unos ficheros en los que se almacenan los datos de los perfiles calculados y medidos del deuterio y del oxígeno-18, preparados para ser utilizados por programas gráficos que los permitan representar.

2.6. Verificación del programa

Para comprobar el correcto funcionamiento del programa, éste fue aplicado a distintos ejemplos presentados en la bibliografía.

2.6.1. Ejemplo SC3 (Kaczala, 1986)

En el ANEXO 2 se encuentran los datos de entrada de este ejemplo, y en el ANEXO 3 los resultados obtenidos, a continuación se hace un somero comentario de los mismos.

En primer lugar en el listado aparecen de nuevo los datos de entrada al programa .

Los datos correspondientes a la fase vapor son muy irregulares e incompletos, por lo que los resultados que se obtienen según esta técnica son cualitativamente malos.

En cambio los datos correspondientes al frente de evaporación y a la zona de transporte en líquido son mejores y por lo tanto los resultados obtenidos se ajustan bien a los obtenidos por Kaczala en su Tesis, esto también se observa a partir de los coeficientes de regresión de las correspondientes rectas.

A continuación se presentan las gráficas de los perfiles isotópicos y en ellos se comprueba cómo el ajuste que se obtiene por debajo del frente de evaporación es bueno, mientras que el que se obtiene en la zona de transporte de la fase vapor es peor, por los problemas que ya antes se indicaron.

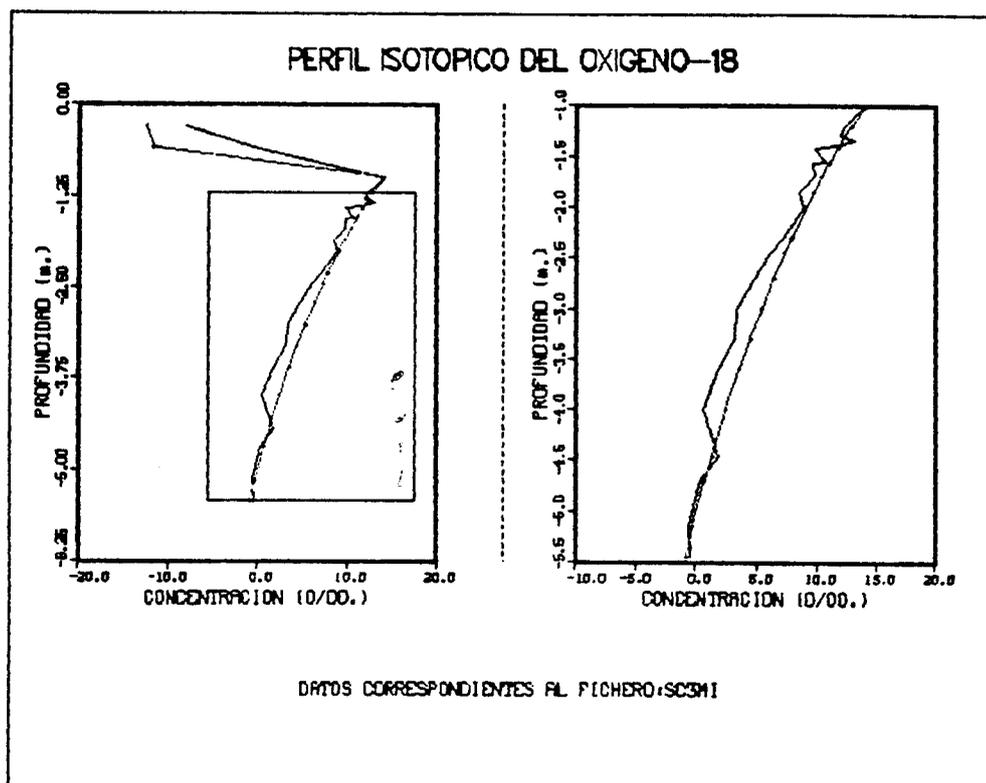
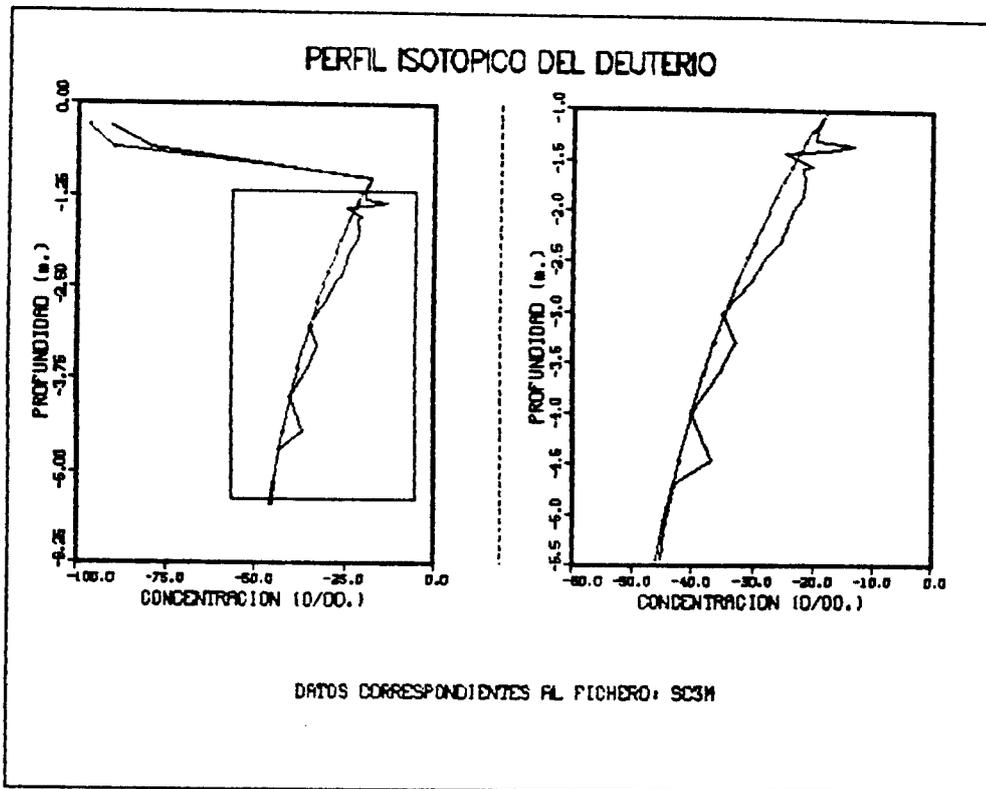


Fig. 1. Perfiles experimental (verde) y calculado (rojo) del deuterio y del oxígeno-18 correspondientes al ejemplo SC3.

2.6.2. Ejemplo de Barnes (Barnes y Allison, 1983)

El fichero de resultados de este ejemplo se adjunta en el ANEXO 4. En este caso se carecía de datos de oxígeno-18, por lo que todos los resultados obtenidos a partir de este perfil carecen de valor. En la figura siguiente, se observa el buen ajuste obtenido en el perfil del deuterio. También se puede comprobar que los resultados de evaporación obtenidos son aceptables a pesar de no disponer de valores de perfiles de humedad relativa, temperatura y porosidad y haber trabajado con valores aconsejados por la experiencia.

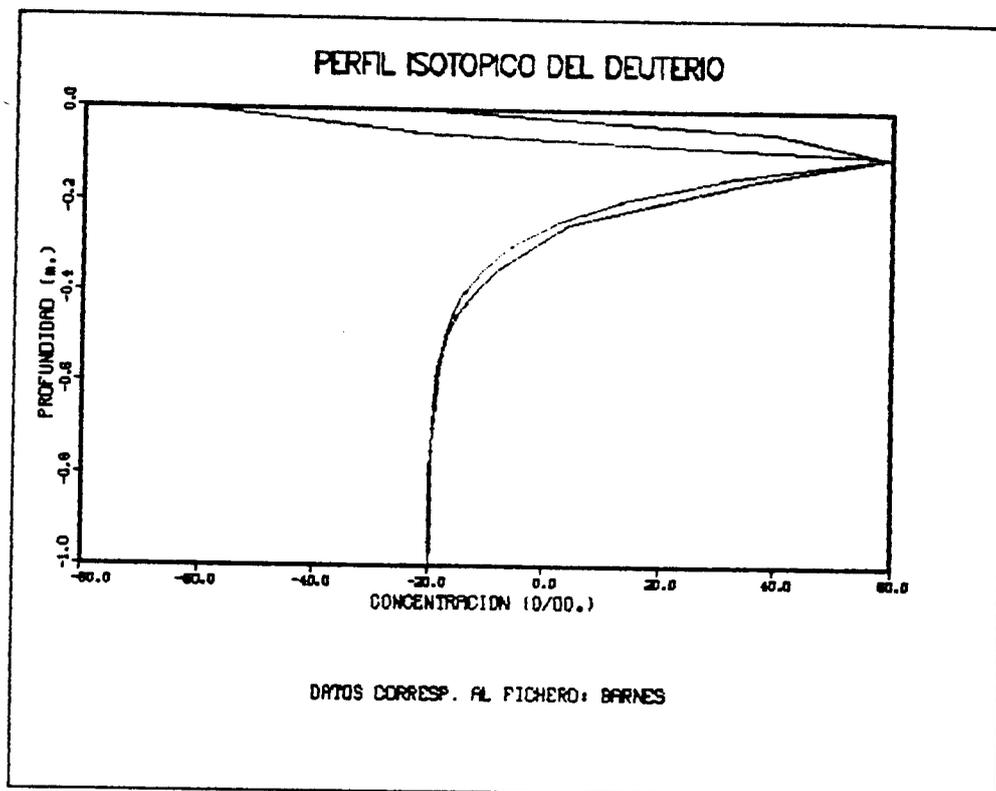


Fig. 2. Perfil isotópico del deuterio, experimental (rojo) y calculado (verde), correspondientes al ejemplo BARNES

2.6.3. Consideraciones sobre las verificaciones

Los resultados obtenidos en los cálculos de evaporación y perfiles isotópicos, a partir del programa desarrollado, se pueden considerar aceptables en los dos casos en los que se ha aplicado, si bien, hay que reseñar, que ningún ejemplo encontrado en la bibliografía, contenía todos los datos necesarios para completar la entrada al programa, por lo que en todos los casos, se han tenido que estimar los valores de algunos datos, de aquí, las divergencias, en cualquier caso pequeñas, observables entre los resultados del programa desarrollado y los resultados ofrecidos en la bibliografía.

Se deben señalar ciertas características en los resultados del programa . Entre las estimaciones de la evapotranspiración determinadas a partir de los tres métodos descritos en anteriores apartados , es el correspondiente al método basado en el perfil isotópico de la zona de transporte de vapor el que da resultados más dispares. Esto es debido principalmente a la mala calidad de los datos en esta zona. Según los otros dos métodos, los resultados son más parecidos, si bien el método del perfil isotópico de la zona de transporte líquido da los resultados más fiables , ya que el número de datos que se tiene en esa zona es mayor.

En cuanto a los distintos perfiles del deuterio, y el oxígeno-18, se observa que el primero, se ajusta más al modelo de curva exponencial. Esto se pone de manifiesto al comparar los perfiles calculados por el programa y los medidos en el campo. Se puede ver que se ajusta mejor el perfil del deuterio, que el del oxígeno.

3. APLICACION DE METODOS DE ESTIMACION DE PARAMETROS DE ECUACIONES NO LINEALES

3.1. Introducción

A partir de las consideraciones comentadas anteriormente, se decidió analizar los perfiles isotópicos mediante técnicas numéricas de determinación de parámetros, las cuales permiten obtener aproximaciones al perfil isotópico, a partir de una ecuación general, lográndose los parámetros de la misma que proporcionan una mejor aproximación al perfil. Entre estas técnicas hay que destacar las basadas en el ajuste por mínimos cuadrados no lineales. En este caso se trata de convertir nuestro problema de ajuste de curvas, en un problema de minimizar una función cuadrática. Esta función será de la forma:

$$f(\bar{B}) = \sum_{i=1}^m \Gamma_i^2(\bar{B}) = \Gamma^T \Gamma \quad (1)$$

Siendo Γ los residuos, es decir, la diferencia entre el valor de la función calculado y el valor medido, es decir:

$$\Gamma(i, \bar{B}) = z(y(i,2), y(i,3), \dots, \bar{B}) - y(i,1)$$

donde z es la función calculada, $y(i, j)$ son los j datos que corresponden al punto i , y \bar{B} es el vector de parámetros que definen la función. Vemos que $\Gamma(i, \bar{B})$ es función del punto i del perfil, y del conjunto de parámetros \bar{B} que hayamos escogido para definir nuestra función.

Entonces nuestro problema consistirá en hallar un conjunto de parámetros B que minimice la función (1). Las principales ventajas que tienen los métodos de mínimos cuadrados con respecto a otros métodos es que la función objetivo $f(\bar{B})$ es continua, y son continuas sus dos primeras derivadas con respecto a los residuos. Es el método más comunmente usado y del que se encuentran más referencias bibliográficas. Para ello habrá que resolver la ecuación:

$$g_j(\bar{B}) = 0 = 2 \sum_{i=1}^m J_{ij} \Gamma_i(\bar{B}) \quad \forall j = 1, \dots, n^\circ \text{ de parámetros}$$

Donde la matriz J ($m \times n$) es el jacobiano formado por las derivadas parciales del residuo $\Gamma_i(\bar{B})$ con respecto a los parámetros $B(j)$.

Para resolver esta ecuación se aplica el método de Newton. Este método se utiliza para la resolución de un conjunto de ecuaciones no lineales de la forma:

$$\bar{g}(\bar{B}) = \bar{0} \quad (2)$$

en el que las incógnitas serán el conjunto de parámetros \bar{B} . Si se considera el conjunto de ecuaciones $\bar{g}(\bar{B})$ como el gradiente de una función $f(\bar{B})$, entonces las ecuaciones (2) representan las condiciones necesarias de primer orden para un mínimo, o para un máximo local. Habrá entonces que determinar las segundas derivadas de $f(\bar{B})$, o lo que es lo mismo, las derivadas de $\bar{g}(\bar{B})$ con respecto a los parámetros \bar{B} , es decir el Hessiano H , para hallar el mínimo de $f(\bar{B})$.

A partir de H, el método de Newton resuelve el siguiente sistema de ecuaciones:

$$H \cdot \bar{t} = -g(\bar{x})$$

y determina \bar{t} , que será la dirección de búsqueda para hallar el siguiente conjunto de parámetros:

$$\bar{x}^i = \bar{x} + \bar{t}$$

con el que realiza la siguiente iteración. Por lo tanto, para aplicar el método de Newton, necesitaremos el Hessiano H, cuyos elementos H_{kj} vendrán dados por la derivada de $g_j(\bar{B})$ con respecto a B_k :

$$H_{kj} = 2 \sum_{i=1}^m (J_{ij} J_{ik} + \Gamma_i(\bar{B}) Q_{ijk}) \quad (3)$$

Donde Q_{ijk} es la derivada parcial de J_{ij} con respecto a B_k , o lo que es lo mismo, la segunda derivada parcial de $\Gamma_i(\bar{B})$ con respecto a B_j y B_k . El segundo término de la ecuación (3) se puede despreciar ya que se trata de segundas derivadas multiplicadas por residuos, por lo que su valor será en general muy pequeño por lo que la ecuación (3) se aproximara por:

$$H \cong J^T J = H'$$

Por lo tanto, la ecuación de Newton quedaría de la forma:

$$J^T J \bar{t} = -J^T \bar{\Gamma}$$

donde \bar{t} es la dirección de búsqueda de nuestro conjunto de parámetros. Hay que hacer notar, que para que exista una solución satisfactoria, la matriz $H' = J^T \cdot J$, que es la aproximación del Hessiano, calculada con nuestro método de aproximación, ha de ser definida positiva, es decir, que las columnas del Jacobiano, deben ser linealmente independientes.

De entre los distintos métodos de mínimos cuadrados, se ha escogido como principal técnica, el método de Marquardt, con la variante de Nash (1987), por haber demostrado ser un método muy eficaz en un rango muy amplio de problemas no lineales de mínimos cuadrados. Este método presenta buenos resultados en funciones con valores de parámetros muy dispares, y si se trata de problemas con parámetros dentro de un mismo rango de valores y con una buena aproximación inicial, este método se ha mostrado como muy eficaz.

También hemos utilizado para nuestro problema, otro tipo de métodos numéricos de optimización. Estos métodos son: Hooke and Jeeves, Polítopo Nelder-Mead, método del gradiente conjugado, método de Newton truncado, método de métrica variable.

3.2. Aplicación a las ecuaciones del transporte de isótopos

La función original de nuestro problema para el deuterio es: (fórmula (5) apartado 1.2.2.)

$$\delta_2 = \delta_2^{res} + (\delta_2^{ef} - \delta_2^{res}) \cdot \exp \frac{-f(z) \cdot E}{\tau \cdot D_2^l \cdot \theta}$$

haciendo:

$$y = \delta_2$$

$$B_1 = \delta_2^{\text{res}}$$

$$B_2 = \delta_2^{\text{ef}}$$

$$B_3 = E$$

$$z = f(z)$$

$$\tau = 0'67$$

$$D_2^l = 12'8$$

$$\theta = 0'43$$

y esta función la transformamos en:

$$y = B_1 + 10 \cdot (B_2 - B_1) \exp \frac{-z \cdot B_3}{0'67 \cdot 12'8 \cdot 0'43}$$

donde B_1 , B_2 y B_3 serán el conjunto de parámetros a estimar, a partir de los valores que toma la variable z_i en los puntos y_i .

3.3. Verificación de los programas de ajuste

Se analizaron los distintos algoritmos de optimización, a partir de los resultados que se obtuvieron al aplicar las técnicas isotópicas, en el ejemplo práctico SC3, descrito en el epígrafe 2.

Los rangos de variación de los parámetros, aconsejados por otro tipo de información de que se dispone, son los siguientes:

$$B_1 \in (-6, -5)$$

$$B_2 \in (-2, -1)$$

$$B_3 \in (.5, 5)$$

Se han aplicado todos los métodos de optimización con dos conjuntos de parámetros iniciales al ejemplo SC3 (ver apartado 2.6.1.). Un primer conjunto con valores muy ajustados a los reales y un segundo conjunto con valores alejados de los verdaderos. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Método		Parámetros Iniciales					
		HJ	NM	CG	TN	VM	MRT
B (1)	- 5.89	- 5.674	- 5.673	- 5.860	- 5.8	- 5.795	- 5.64
B (2)	- 1.77	- 1.712	- 1.712	- 1.731	- 1.77	- 1.725	- 1.71
B (3)	. 45	. 299	. 299	. 276	. 45	. 283	. 303
B (1)	- 5	- 5.567	- 5.	- 5.53	- 5.14	- 5.45	- 5.65
B (2)	- 1	- 1.70	- 1.	- 1.695	- 1.62	- 1.663	- 1.71
B (3)	2	. 313	. 560	. 396	. 396	. 332	. 302

Tabla 1: Resultados de los distintos métodos de optimización.

En la mayoría de los métodos se necesita un gran número de iteraciones hasta llegar a la convergencia. El que menos tiempo utiliza es el método de Nelder-Mead (NM), si bien, los resultados que da son los peores. Los mejores métodos en cuanto a aproximación a los parámetros, son los métodos de Newton truncado (TN) y el de Marquardt (MRT). El método de Newton es el mejor en el caso de que los valores iniciales de los parámetros sean buenos, sin embargo, en caso de que estos valores iniciales sean malos, no da resultados satisfactorios, siendo el método de Marquardt el mejor en este caso.

4. APLICACION AL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA.

4.1. Introducción

El objetivo del desarrollo de esta técnica es el estudio de su posible aplicación práctica a la determinación de la evapotranspiración en el sistema acuífero Almonte-Marismas, nº 27 del mapa de síntesis de sistemas acuíferos del Instituto Tecnológico Geominero de España. En este acuífero se localiza el Parque Nacional de Doñana.

Los datos que se han utilizado provienen de un estudio más amplio que está desarrollando la Dirección de Aguas Subterráneas del ITGE.

En este estudio se han instalado cuatro parcelas experimentales en la zona, a saber : Dunas, Rocina, Eucaliptal y Cultivo, cuya localización se da en la figura 3..

En cada una de las parcelas se han tomado muestras del agua del suelo a distintas profundidades (a intervalos de 5 y 10 cm.), determinándose en ellos el O-18 y el H-2. Paralelamente y con la misma periodicidad se han muestreado las precipitaciones en las estaciones marcadas así como las aguas subterráneas.

Además de estas muestras periódicas se han realizado regularmente perfiles destructivos en época seca y húmeda, para muestreo del agua del suelo.

En cada parcela se tomaron además medidas tensiométricas, de humedad relativa, y de niveles piezométricos, mediante la realización de dos sondeos a diferentes profundidades en cada parcela. A partir de datos meteorológicos e isotópicos del agua de lluvia, tomados en las estaciones meteorológicas de Almonte, Cabezudos, El Rocío, Mazagón, Sevilla (Fig.4), se hallaron las rectas de regresión entre el oxígeno-18 y el deuterio contenidos en el agua meteórica (figs., 5,6 y 7), así como en la prueba de evaporación en dominio libre que se realizó en Borde Marisma (fig. 8). Las rectas con asteriscos corresponden a la relación universal entre el O-18 y el H-2 .

A partir de todo ello se han dibujado los distintos perfiles isotópicos correspondientes a la zona saturada y no saturada. Se ha observado que los perfiles correspondientes al oxígeno-18 son más regulares que los correspondientes al deuterio (figs. 9 a 25) . En estas figuras se ha optado por escoger las mismas escalas vertical y horizontal para todas con el fin de que se puedan comparar mejor los perfiles de distintas fechas y los de distintas parcelas. Estos valores corresponden a los análisis destructivos de isótopos, y se han dibujado para distintas épocas del año.

Los perfiles isotópicos sólo muestran tener la forma exponencial en las temporadas de estío, en las que ha transcurrido un largo período de tiempo sin lluvias. Esto se puede comprobar a partir de la evolución de los niveles piezométricos en las distintas parcelas. El nivel piezométrico es poco profundo y está muy relacionado con la precipitación, por lo que subidas de nivel piezométrico corresponden a lluvias, con un lapso de tiempo muy corto. Esto se observa en las figuras 26 y 27 en las que se representan niveles piezométricos obtenidos con dos sondeos de distinta profundidad en cada parcela, siendo los sondeos II más profundos que los sondeos I.

Los perfiles correspondientes a los meses de julio, son los que presentan el típico perfil isotópico descrito en anteriores epígrafes. Debido a esto, la técnica aquí descrita parece ser sólo aplicable a la interpretación de perfiles isotópicos correspondientes a fechas entre Junio y Septiembre, ya que en cualquier otra época del año, la existencia de precipitaciones frecuentes anula totalmente la forma general del perfil isotópico.

No se tienen datos de perfiles de temperatura ni perfiles de porosidad que como se ha visto, son factores de gran importancia a la hora de estimar la evapotranspiración.

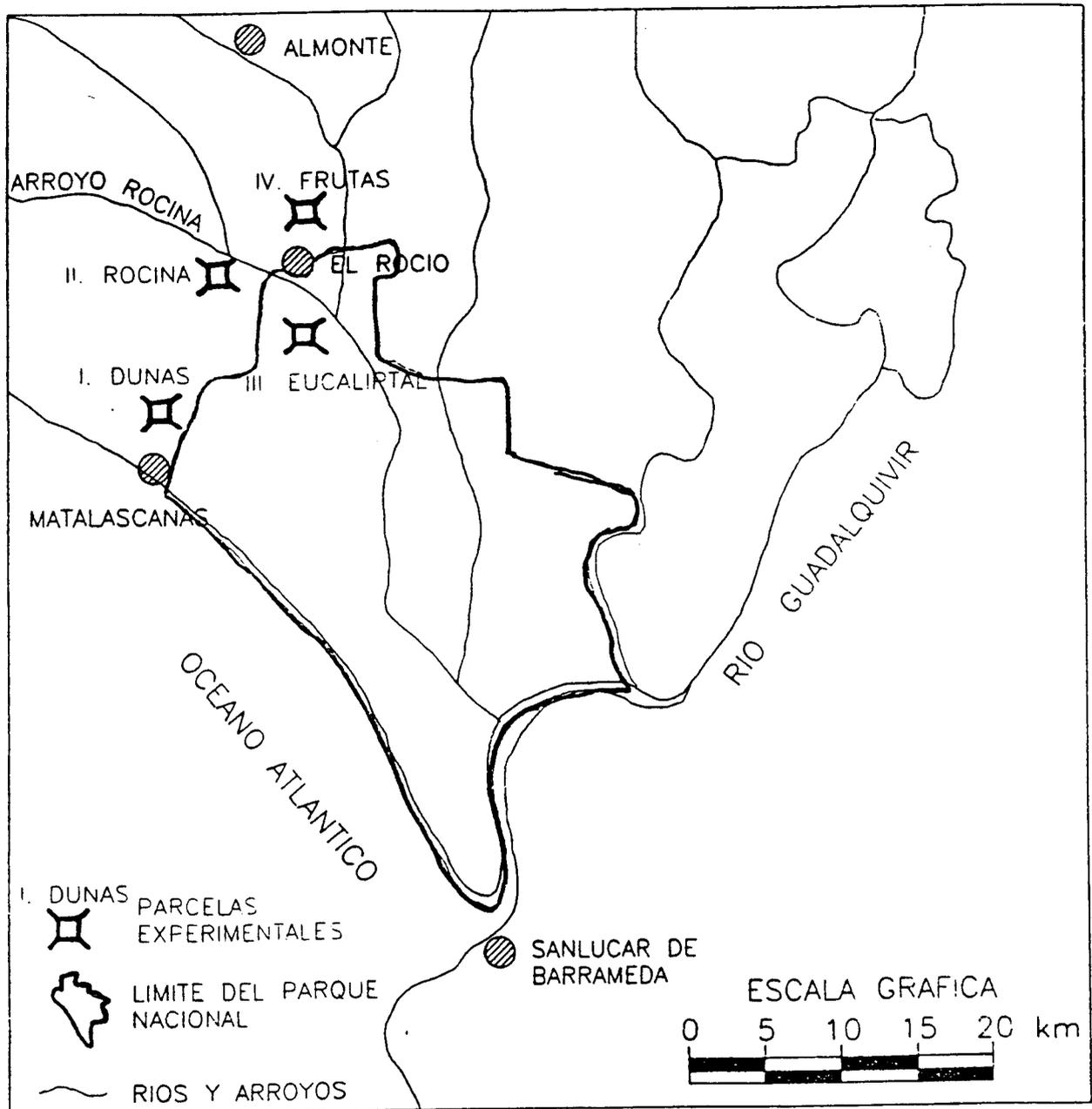


Fig. 3. Situación de las cuatro parcelas experimentales estudiadas

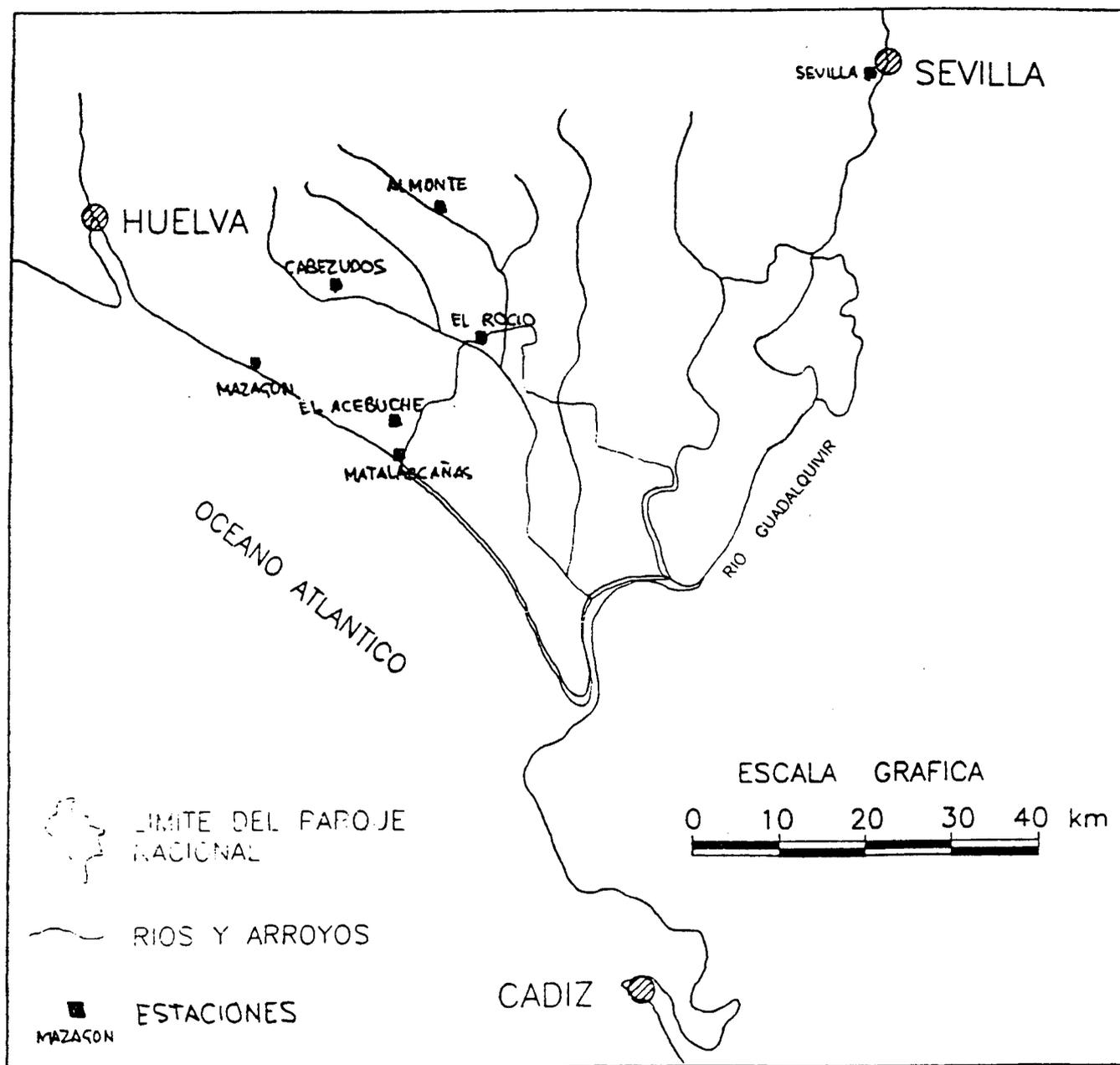


Fig. 4. Localización geográfica de las estaciones meteorológicas consideradas en el estudio

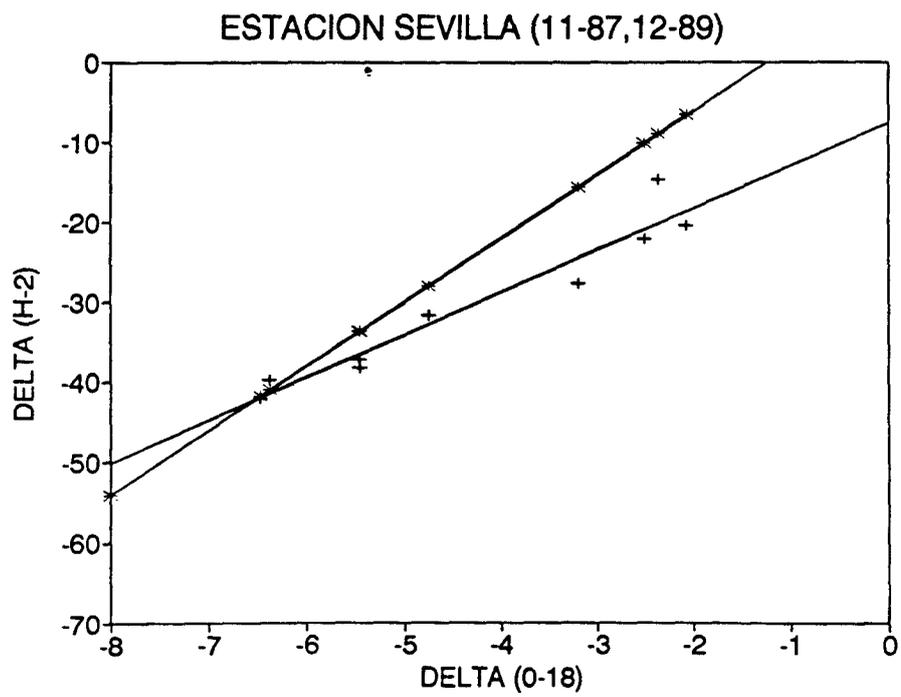
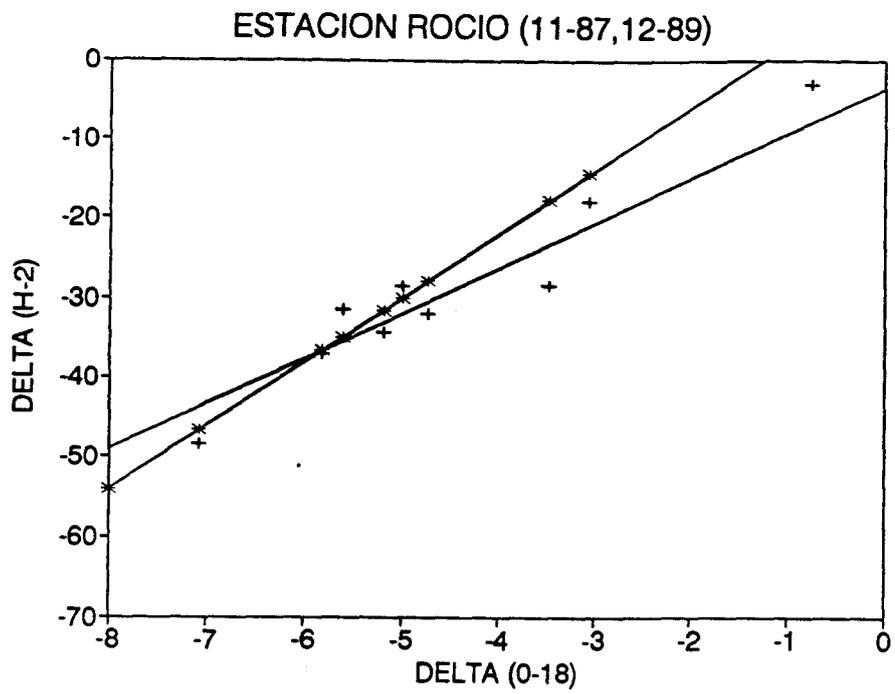


Fig. 5. Rectas de regresión entre $\delta O - 18$ y δD del agua meteórica y recta universal

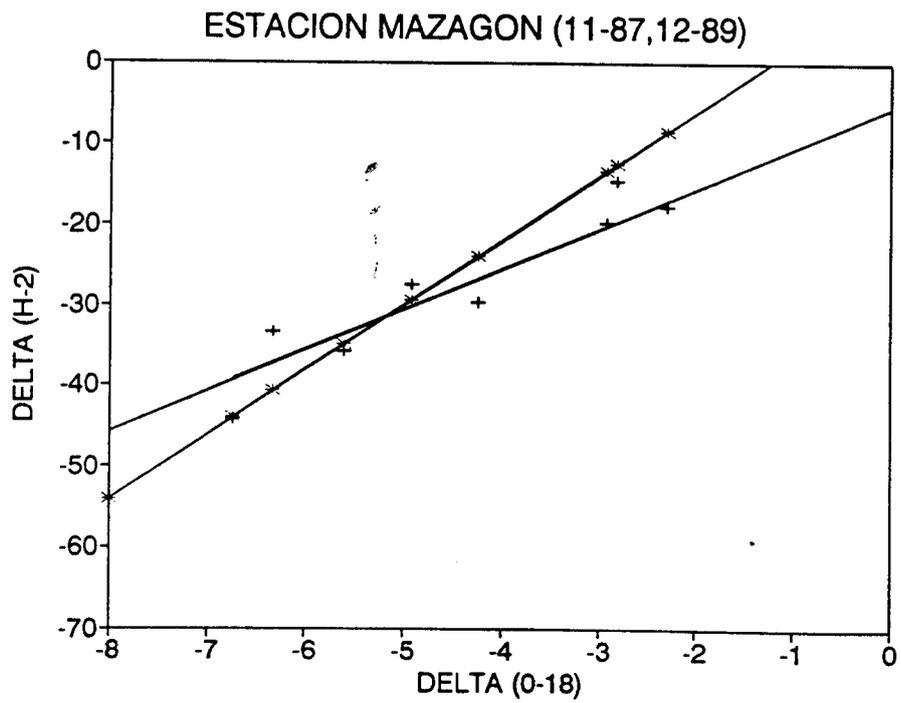
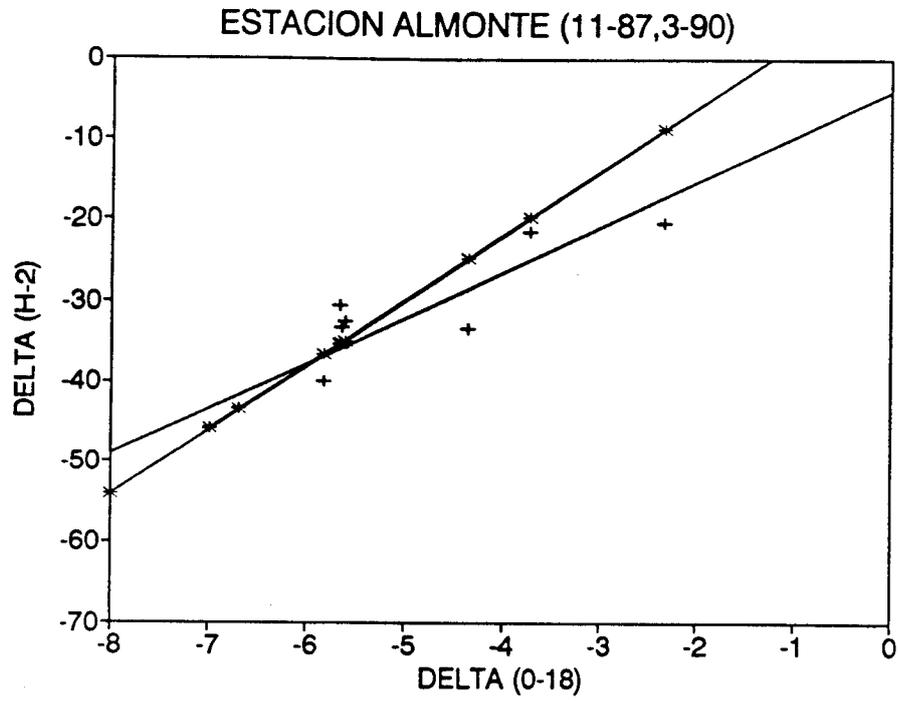


Fig. 6. Rectas de regresión entre $\delta O - 18$ y δD del agua meteórica y recta universal

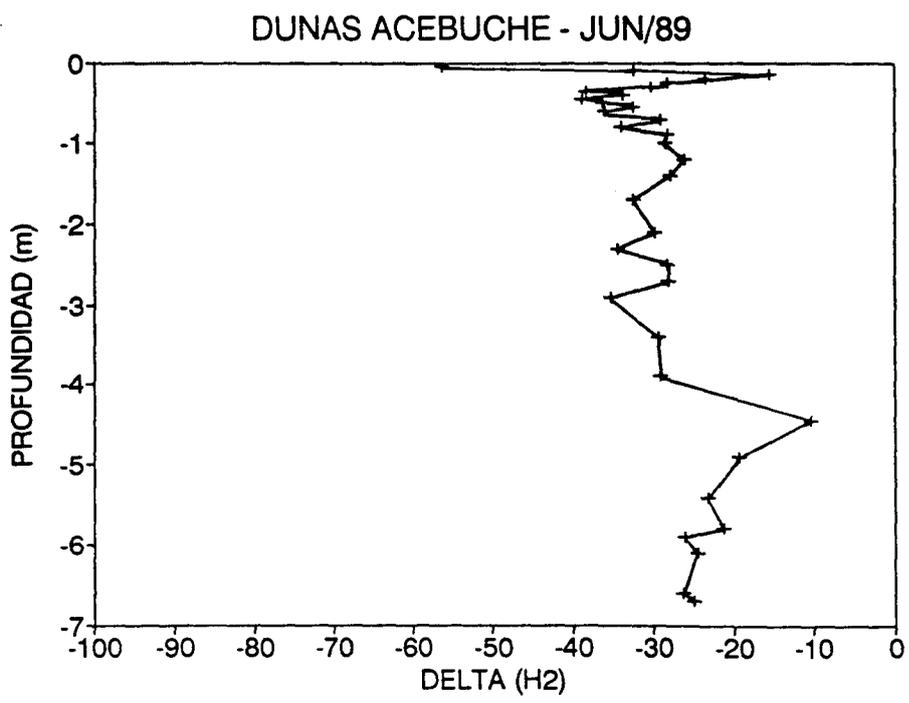
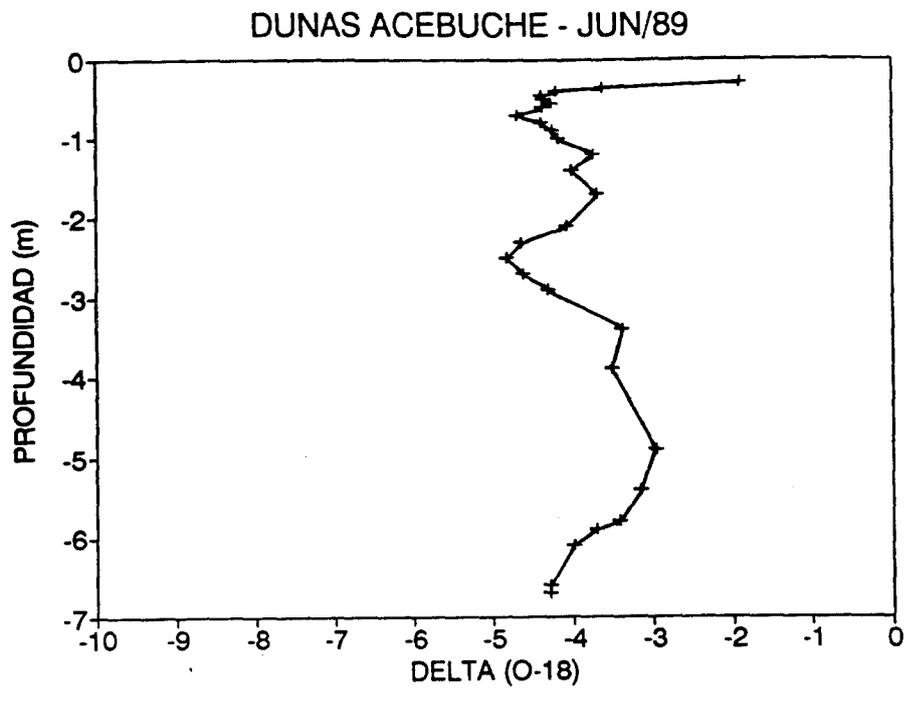


Fig. 10. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Dunas. Junio - 89.

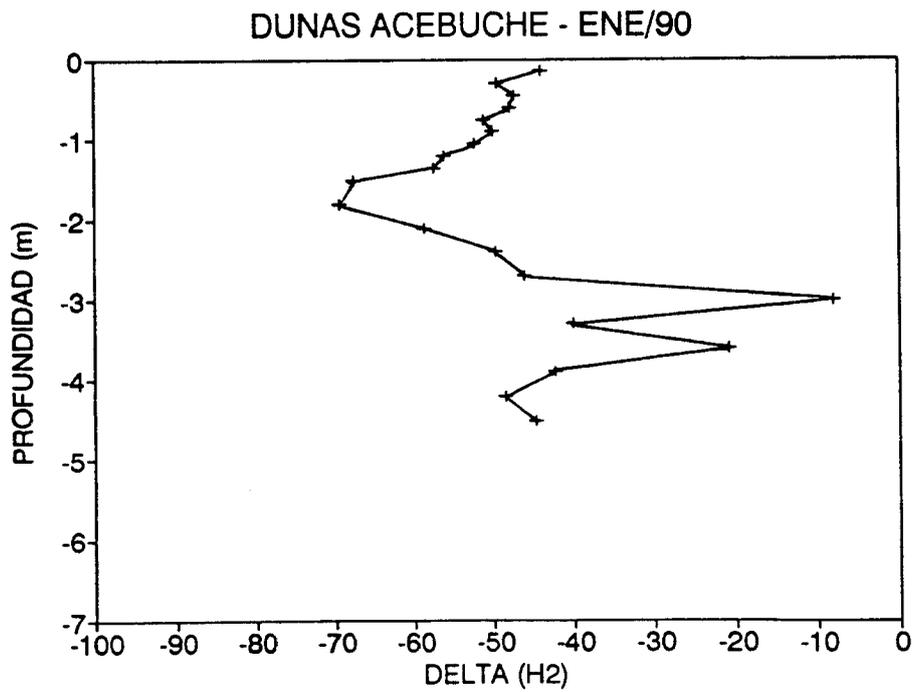
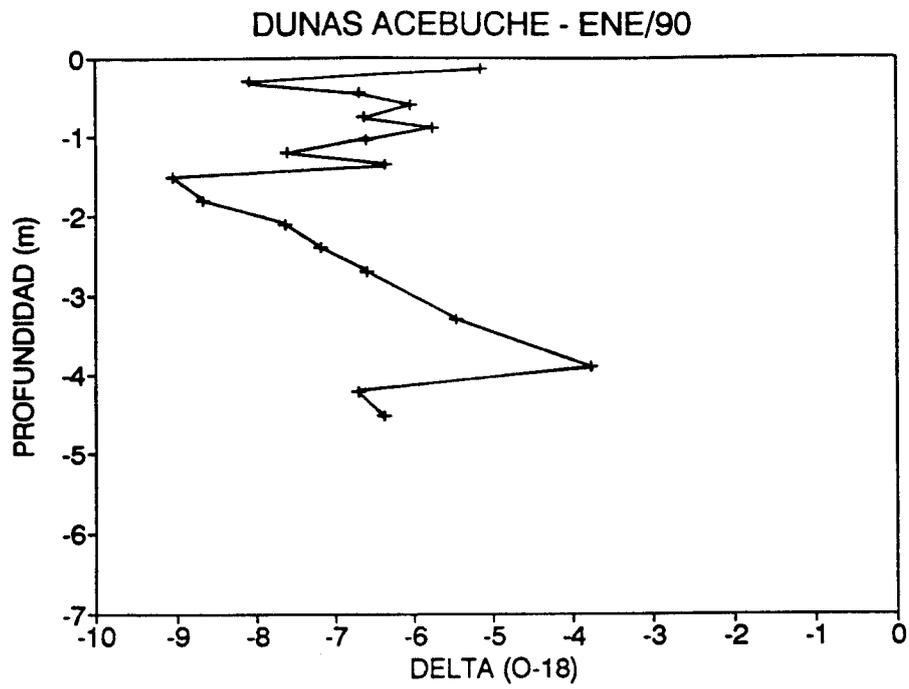


Fig. 11. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Dunas. Enero - 90.

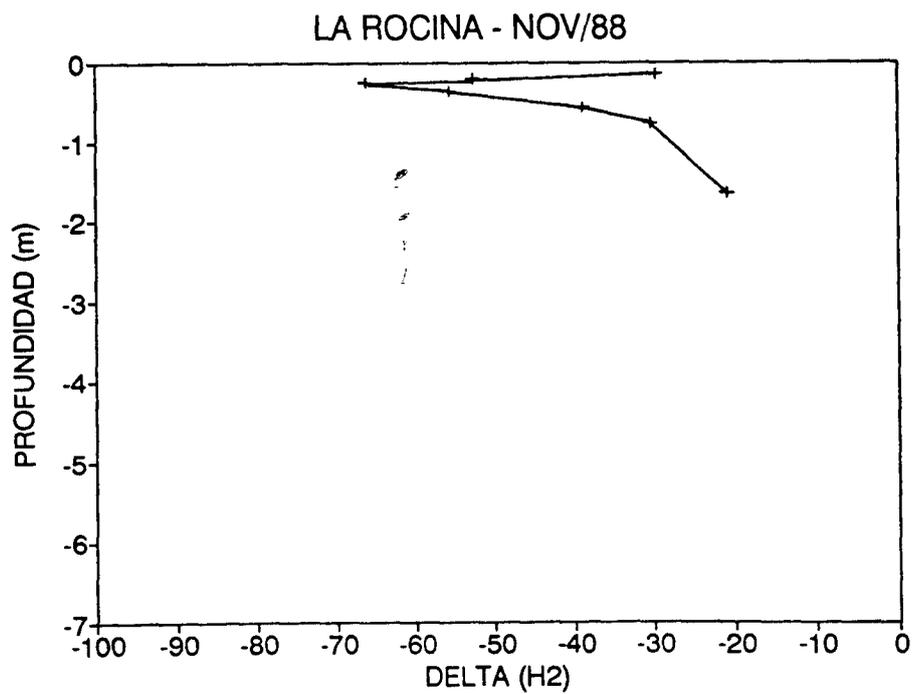
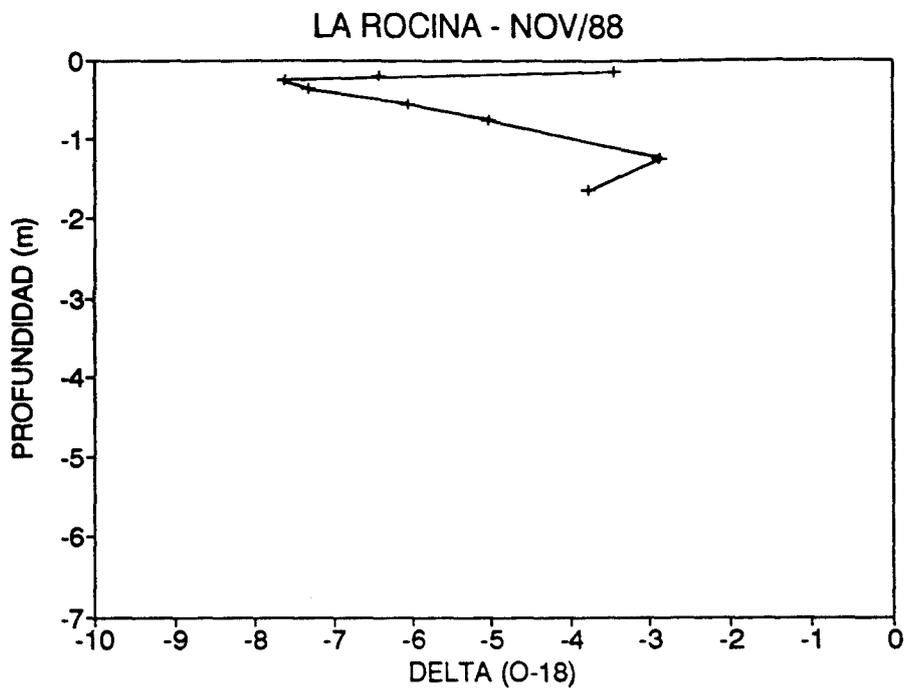


Fig. 12. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela de La Rocina. Noviembre - 88

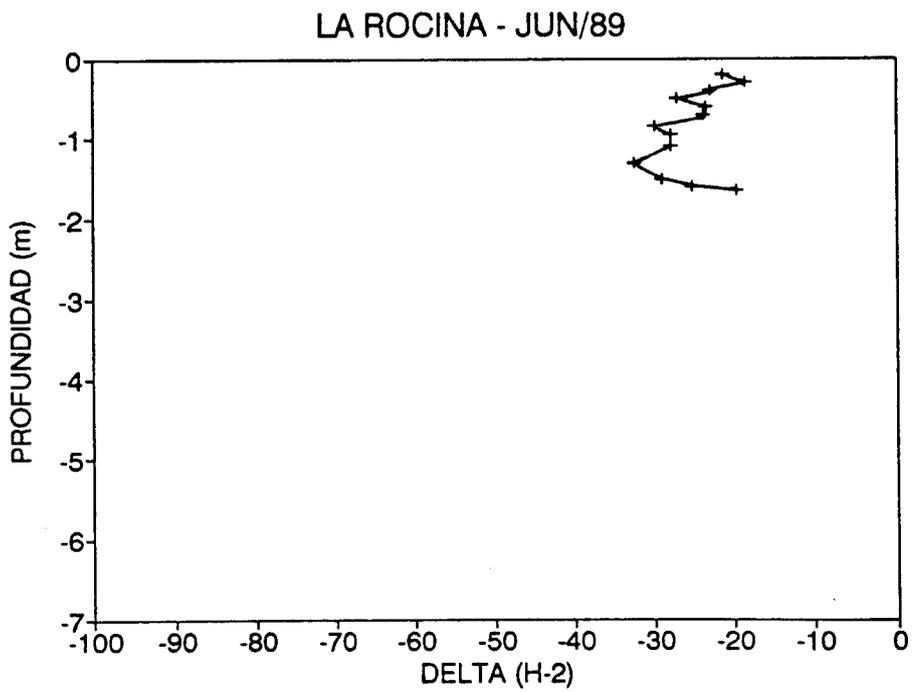
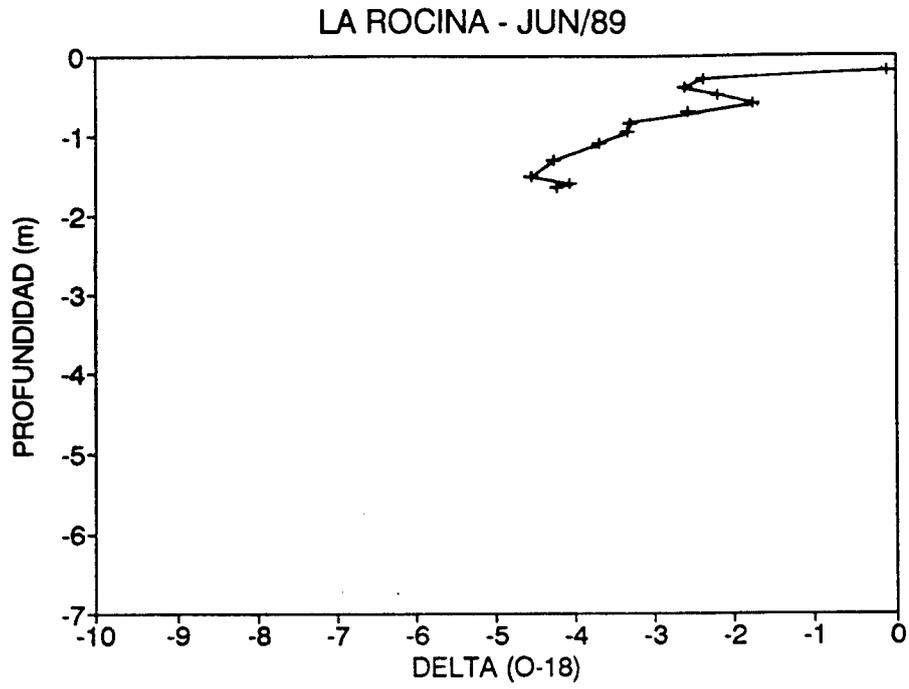


Fig. 13. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela de La Rocina. Junio -89.

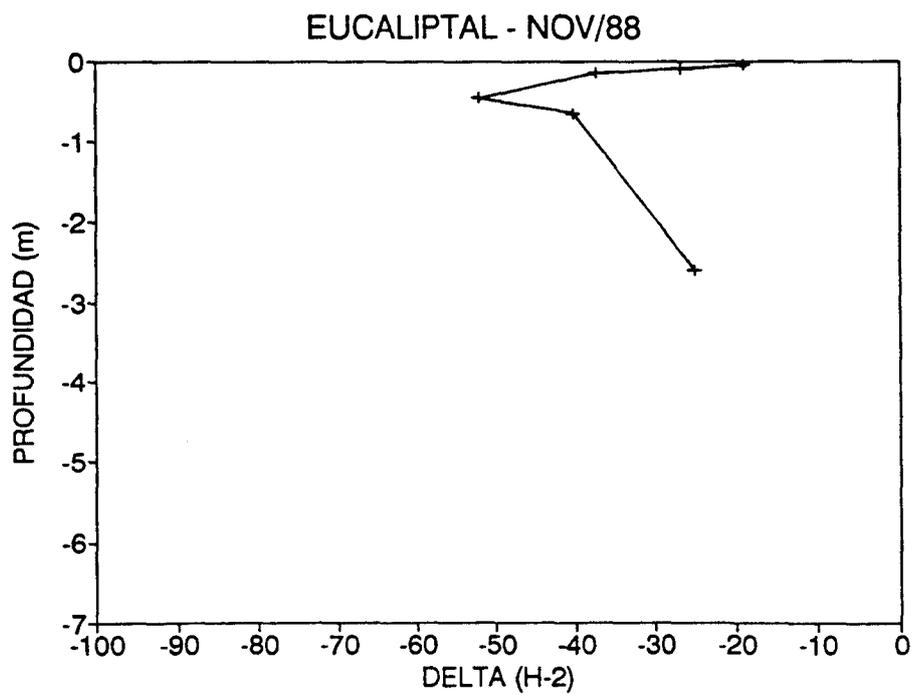
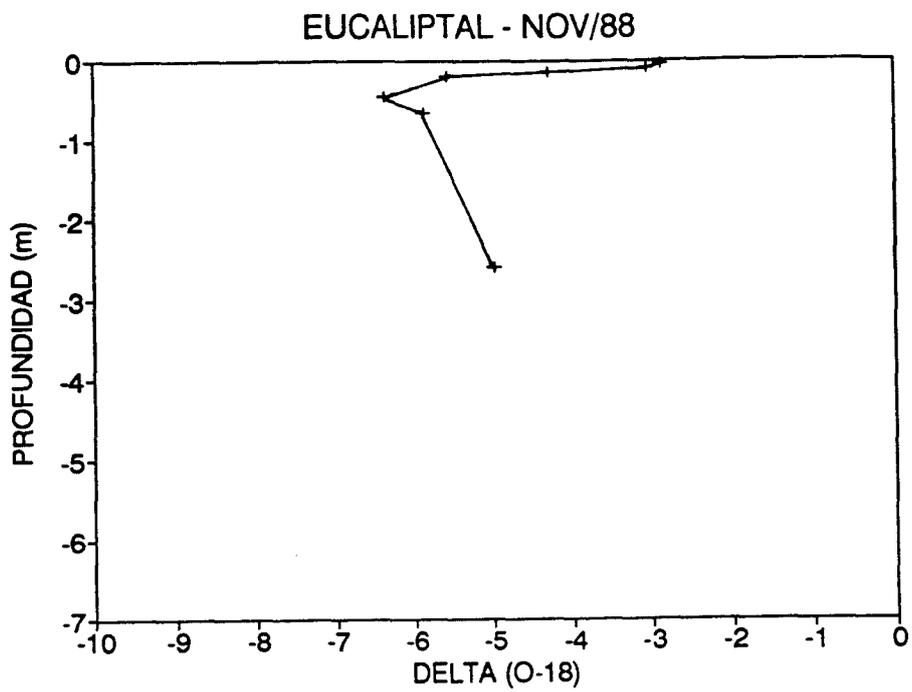


Fig. 14. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Eucalyptal. Noviembre - 88

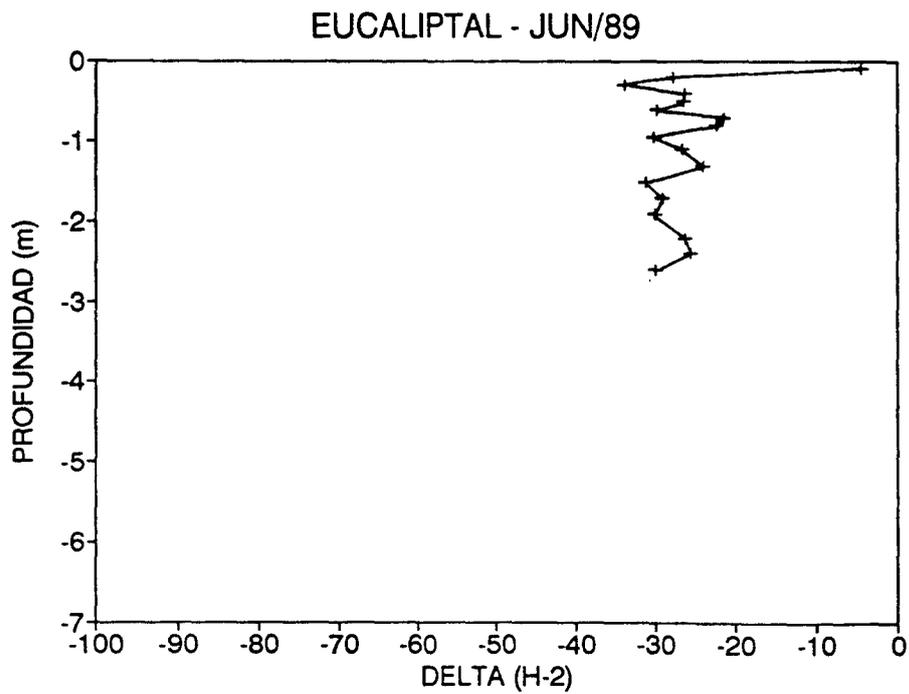
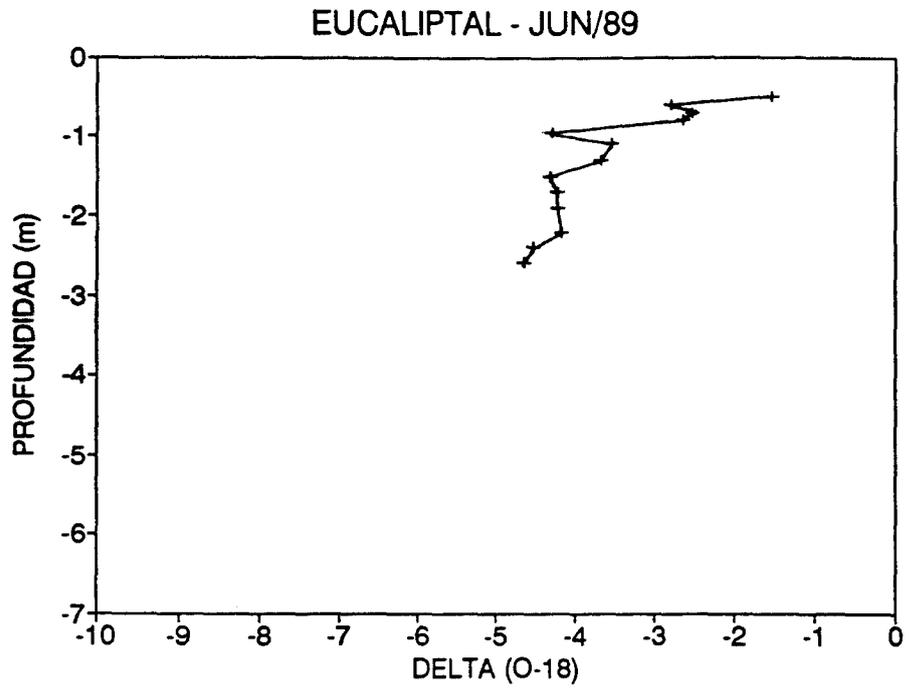


Fig. 15. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Eucaliptal. Junio - 89.

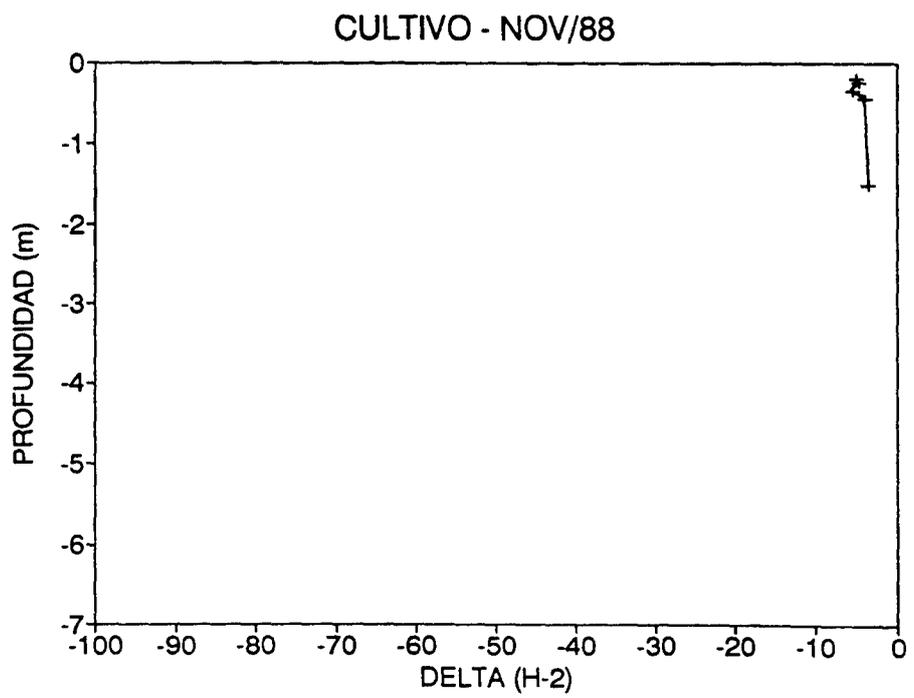
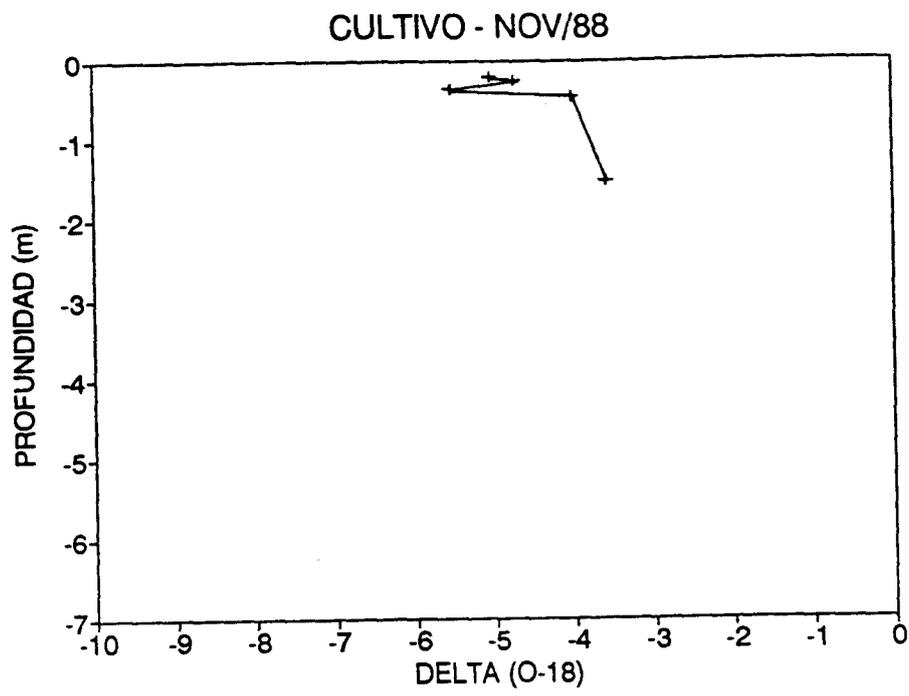


Fig. 16. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Cultivo. Noviembre - 88.

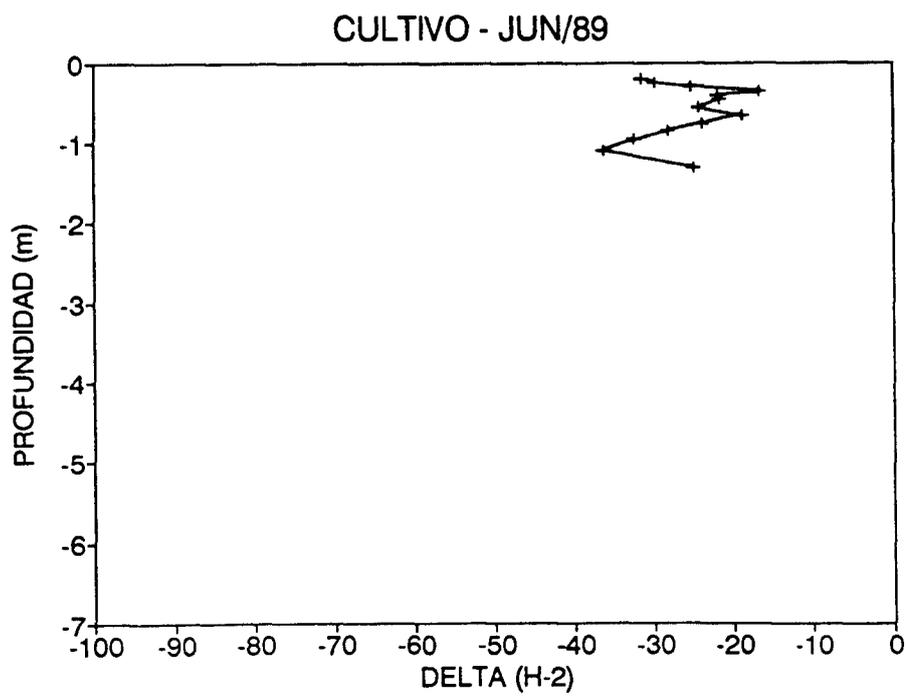
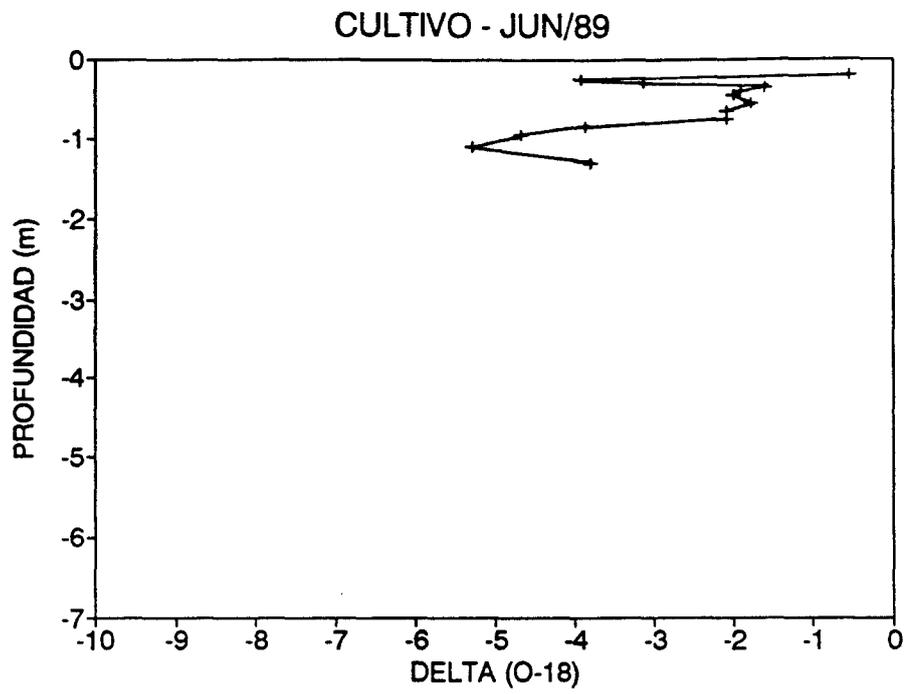


Fig. 17. Perfiles isotópicos destructivos en la parcela Cultivo. Junio - 89.

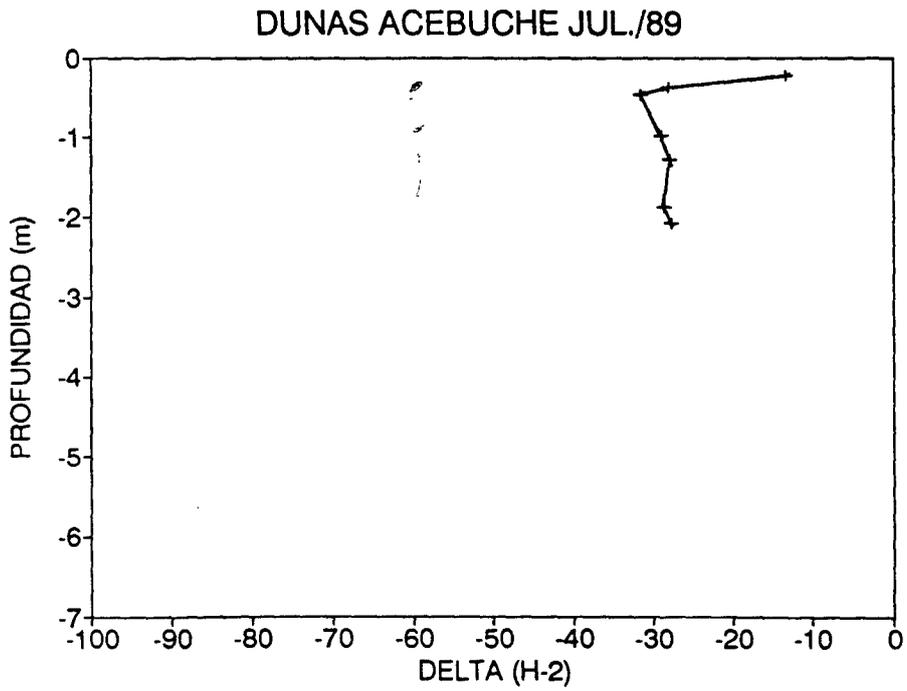
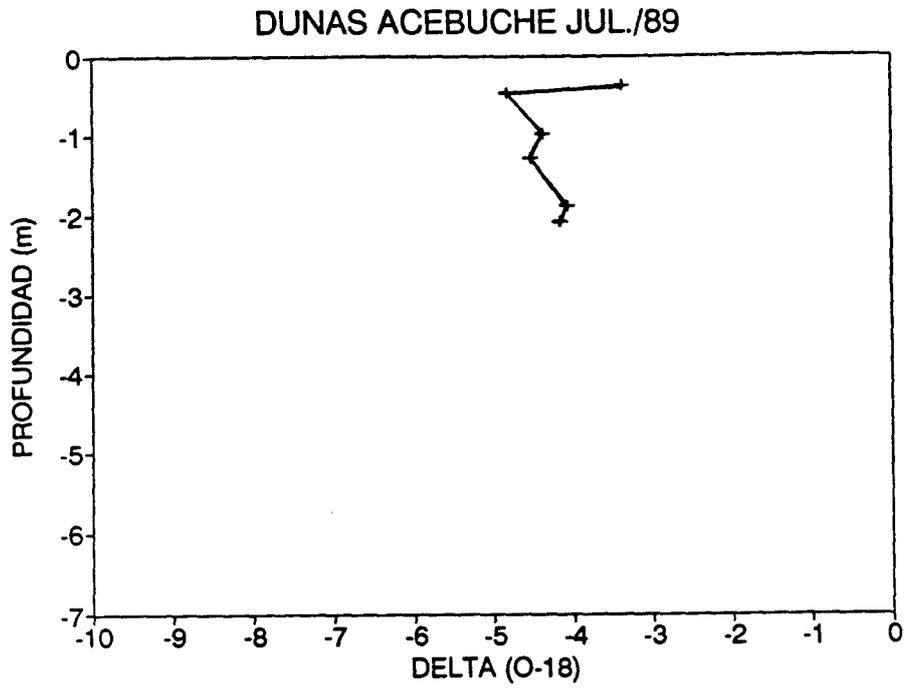


Fig. 18. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela Dunas. Julio - 89.

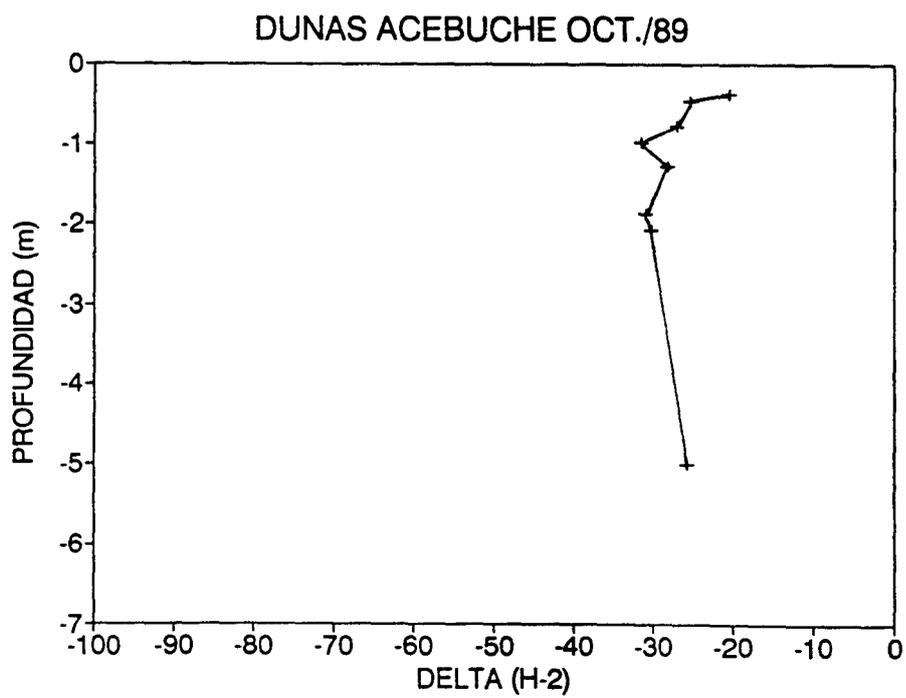
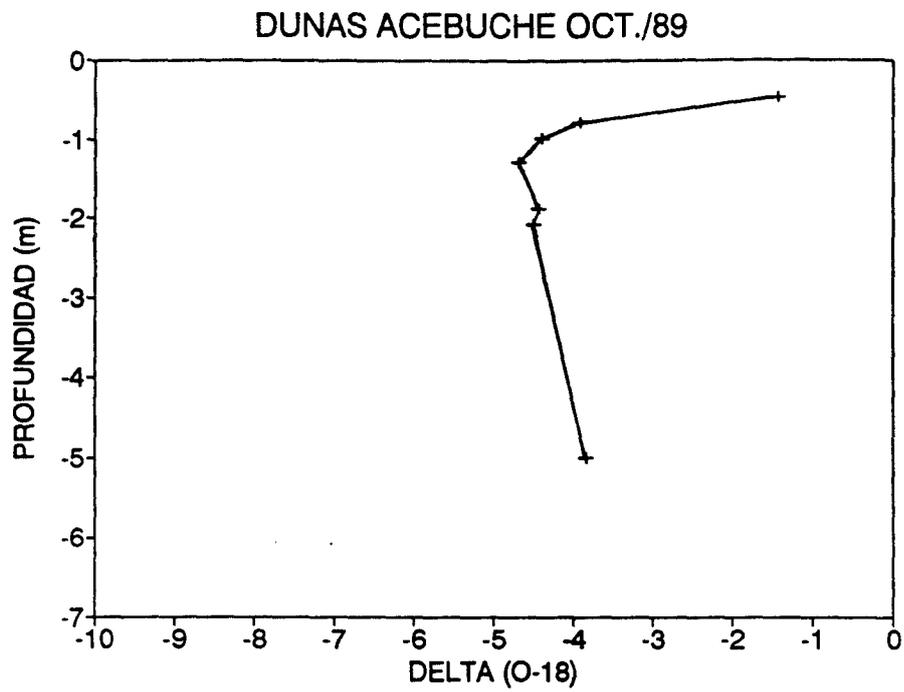


Fig. 19. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela Dunas. Octubre - 89.

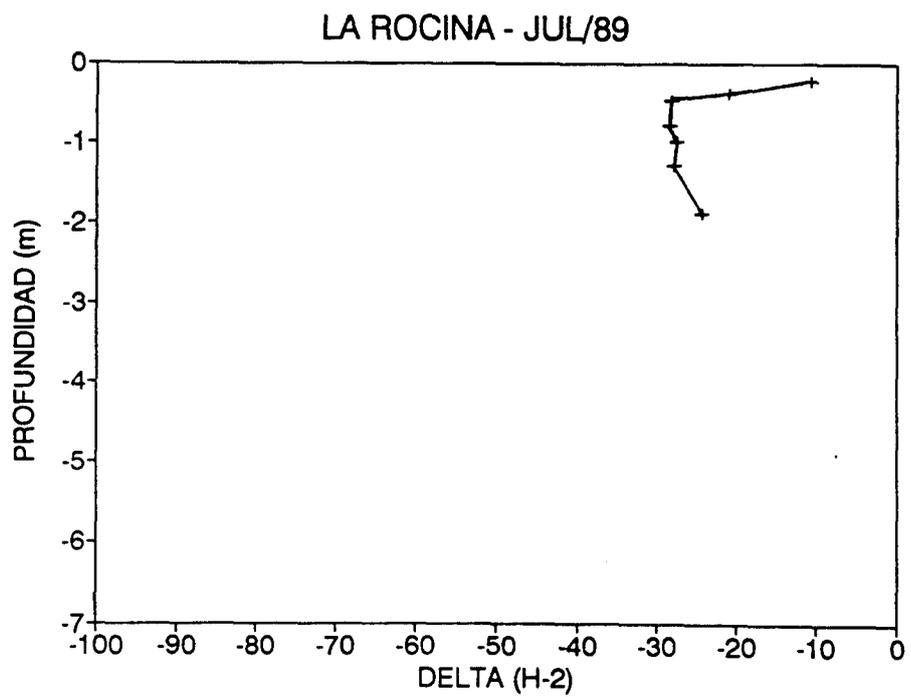
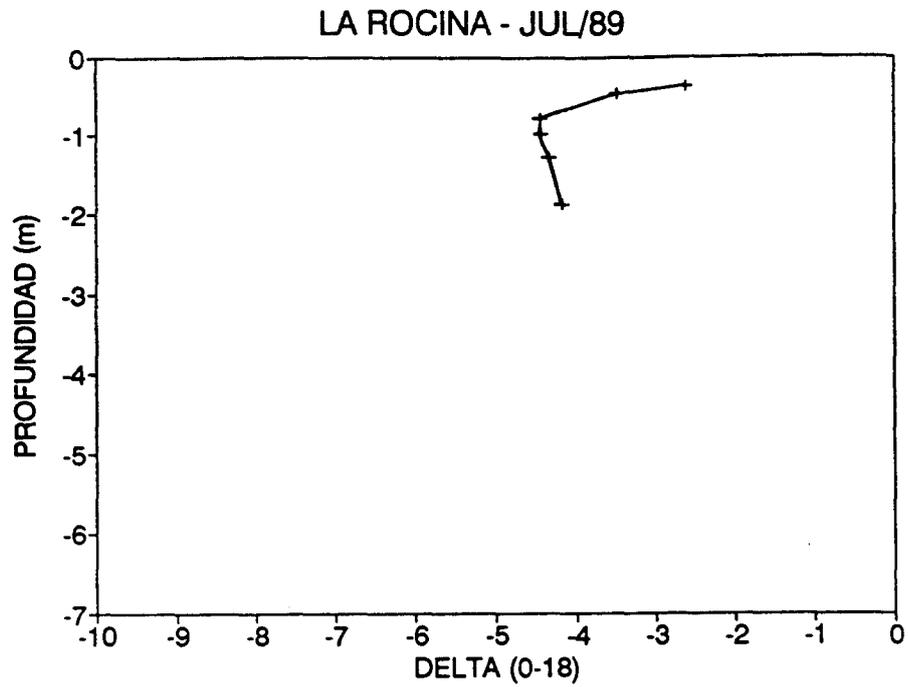


Fig. 20. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela La Rocina. Julio - 89.

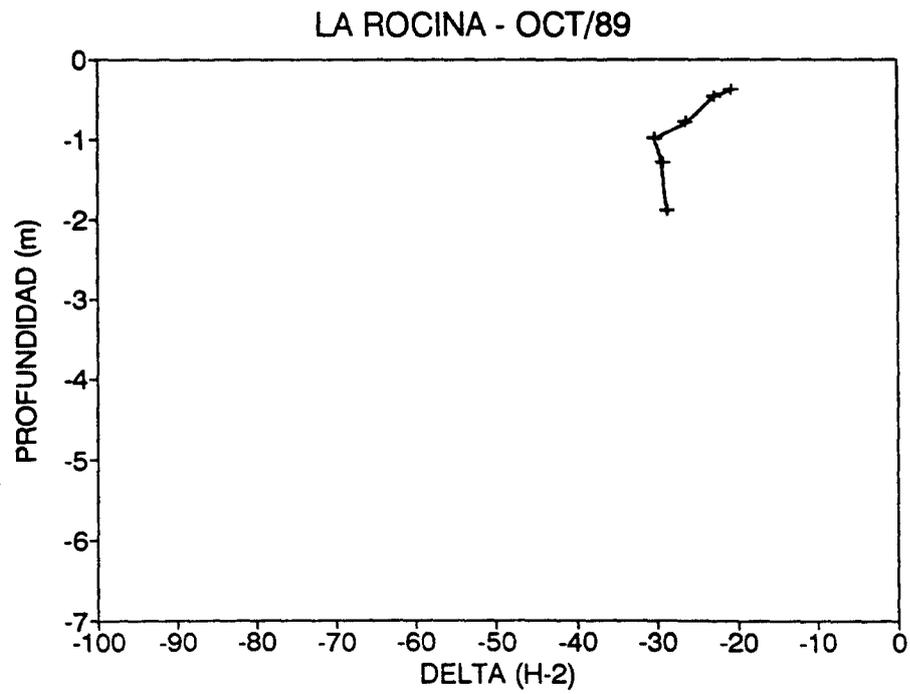
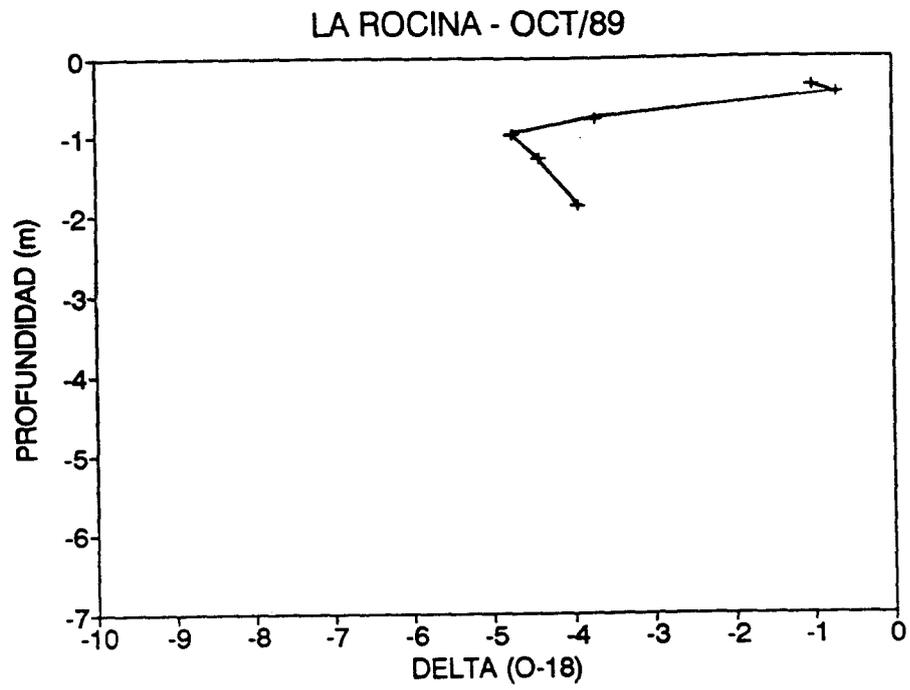


Fig. 21. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela La Rocina. Octubre - 89.

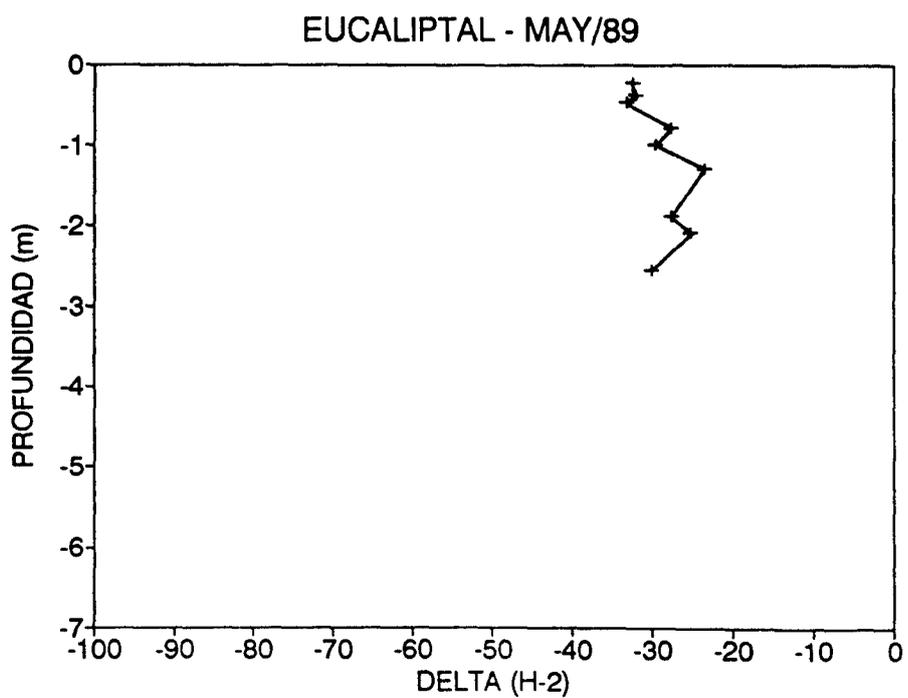
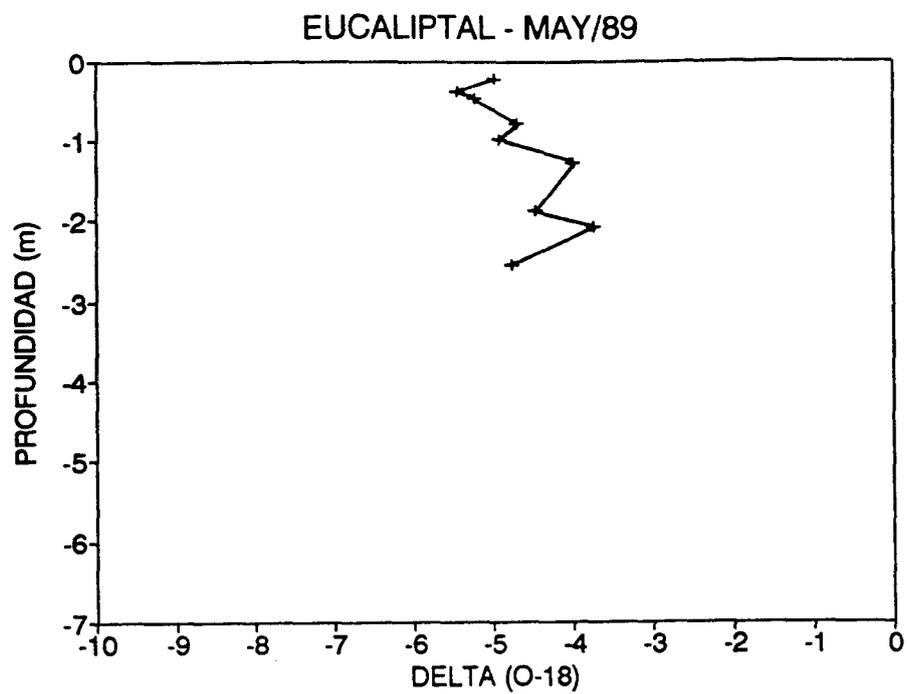


Fig. 22. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela Eucaliptal. Mayo - 89.

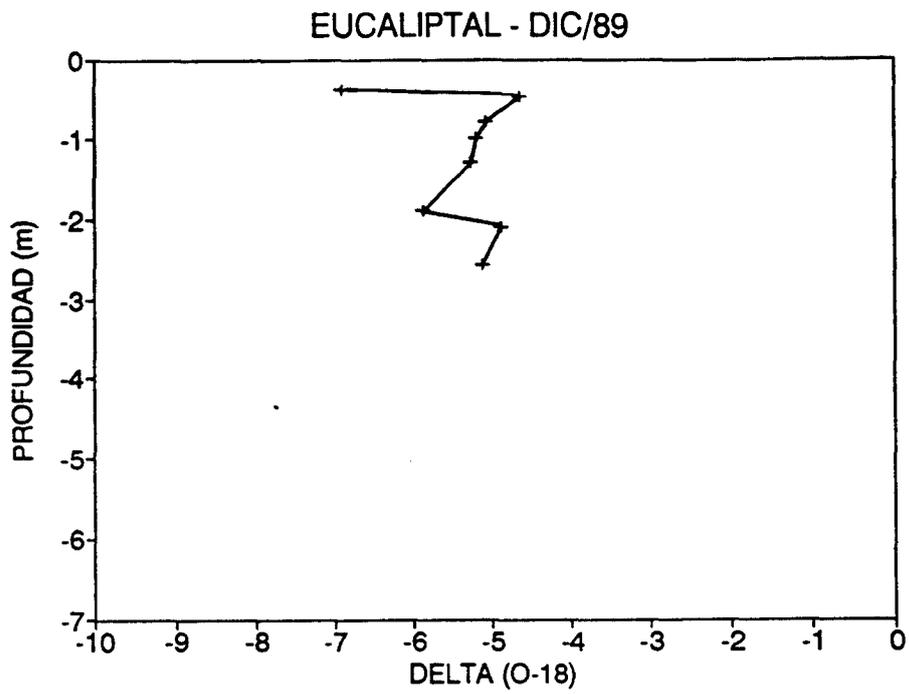


Fig. 23. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela Eucaliptal.
Diciembre - 89.

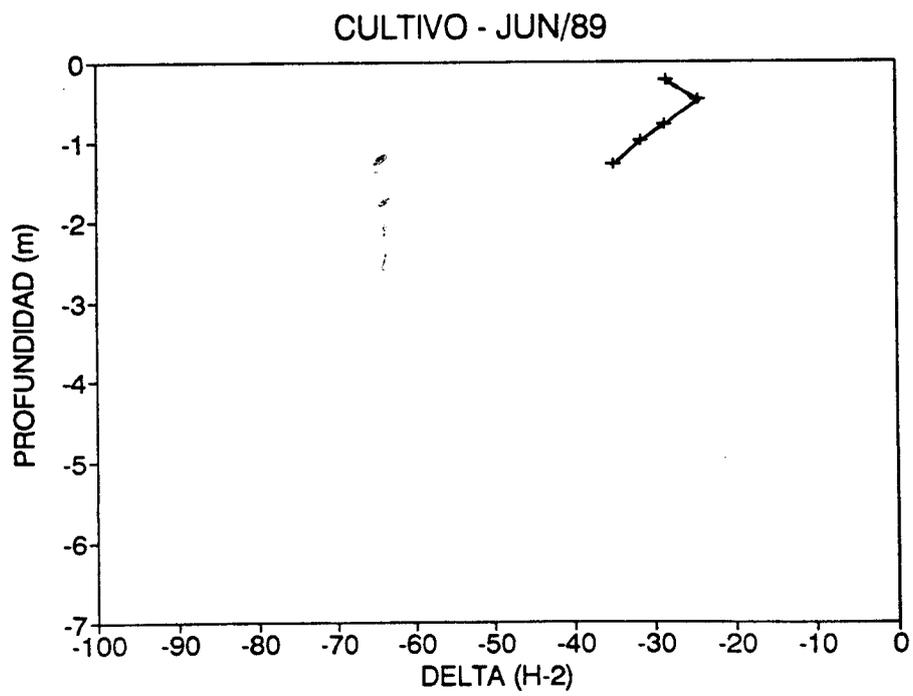
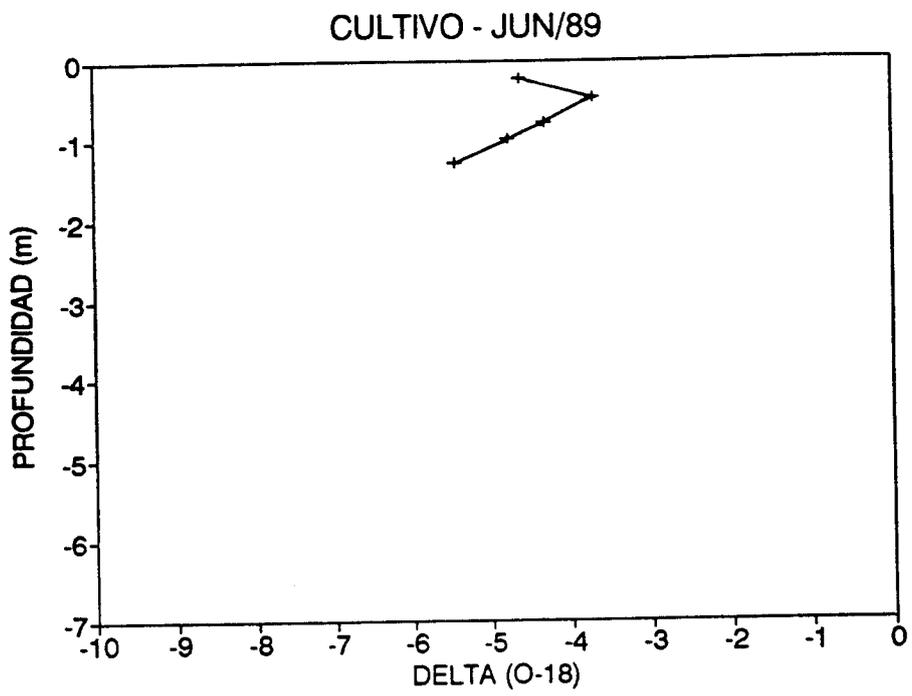


Fig. 24. Perfiles isotópicos de los lisímetros de succión de la parcela Cultivo. Junio - 89.

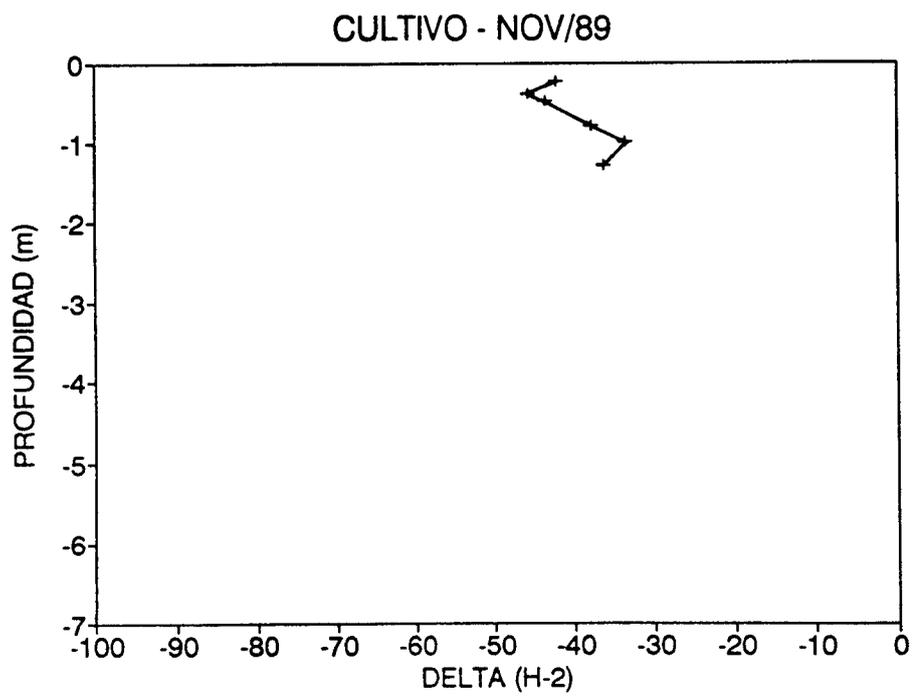
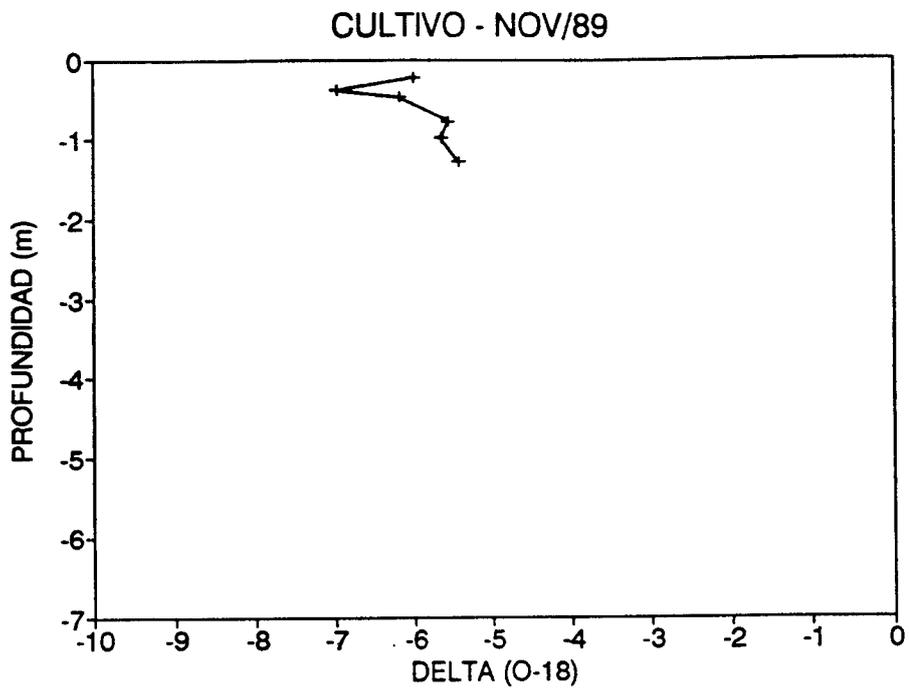


Fig. 25. Perfiles isotópicos procedentes de los lisímetros de succión de la parcela Cultivo. Noviembre - 89.

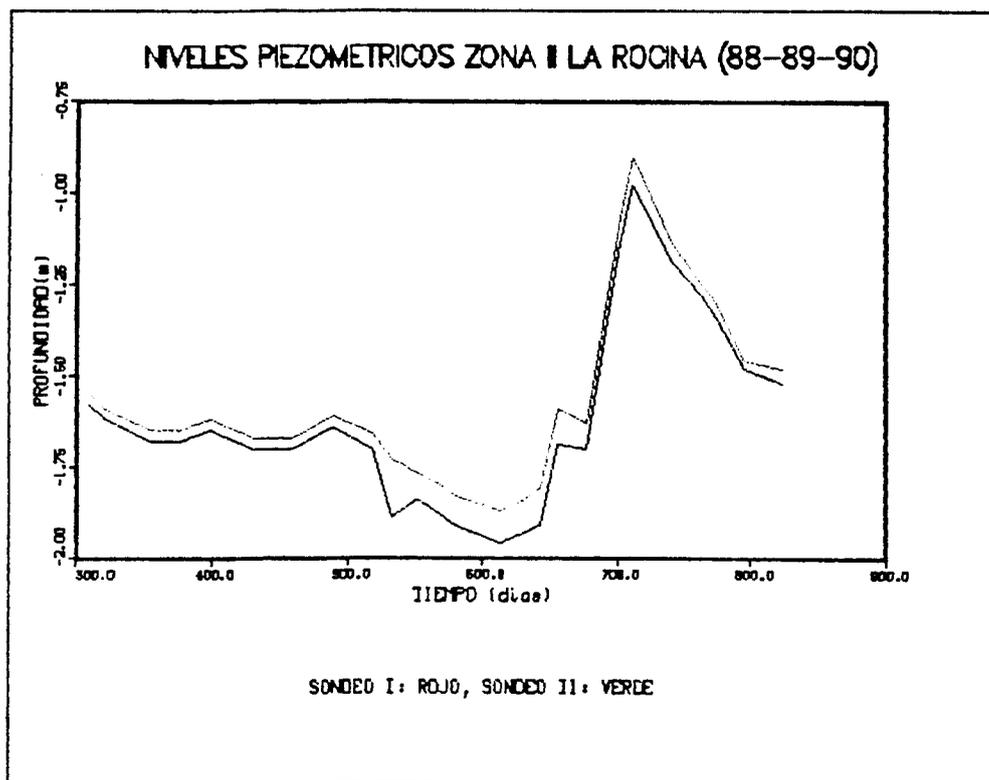
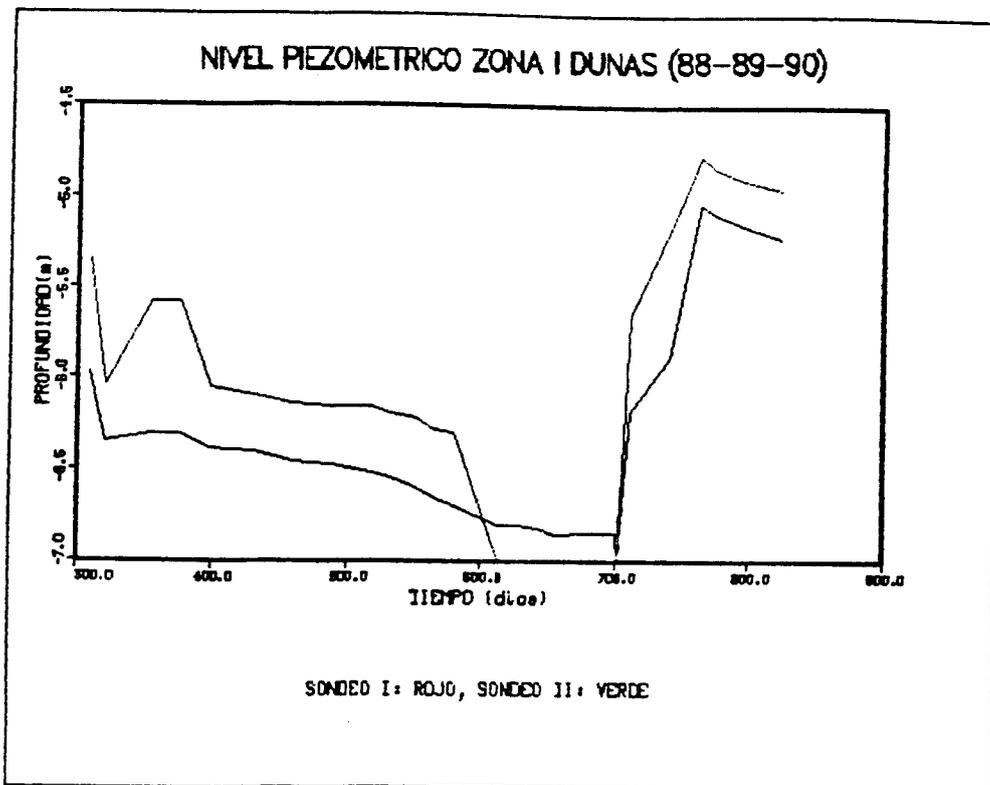


Fig. 26. Evolución de los niveles piezométricos en las distintas parcelas, desde 4 - 11 - 88 (día 309) , hasta el 3 - 4 - 90 (día 824).

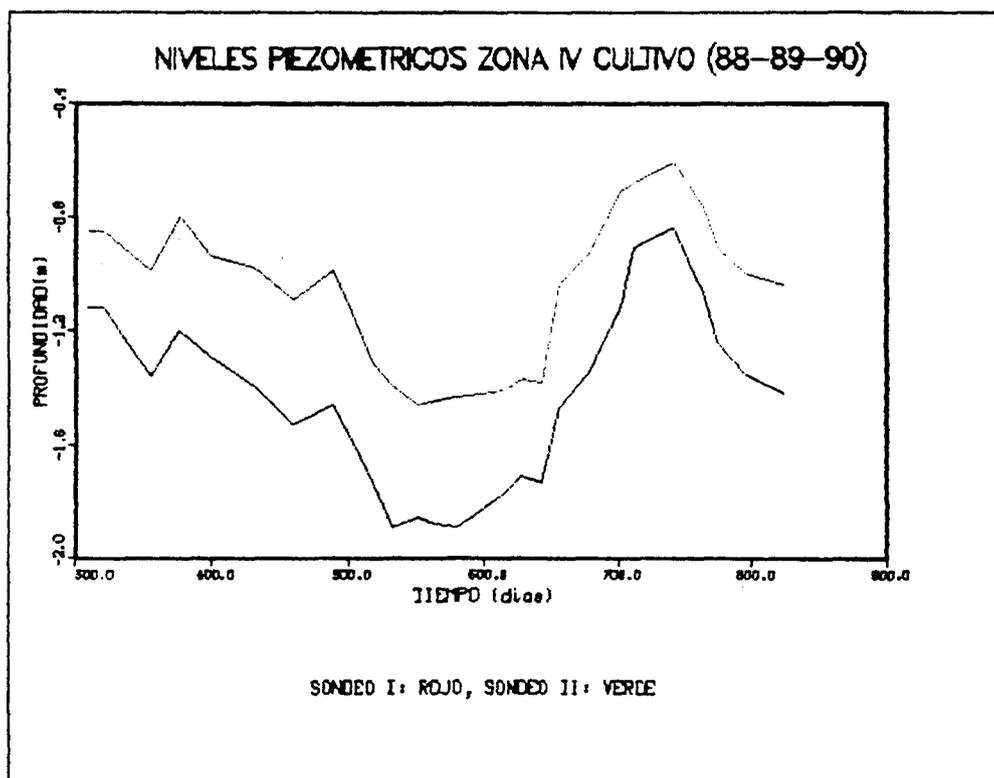
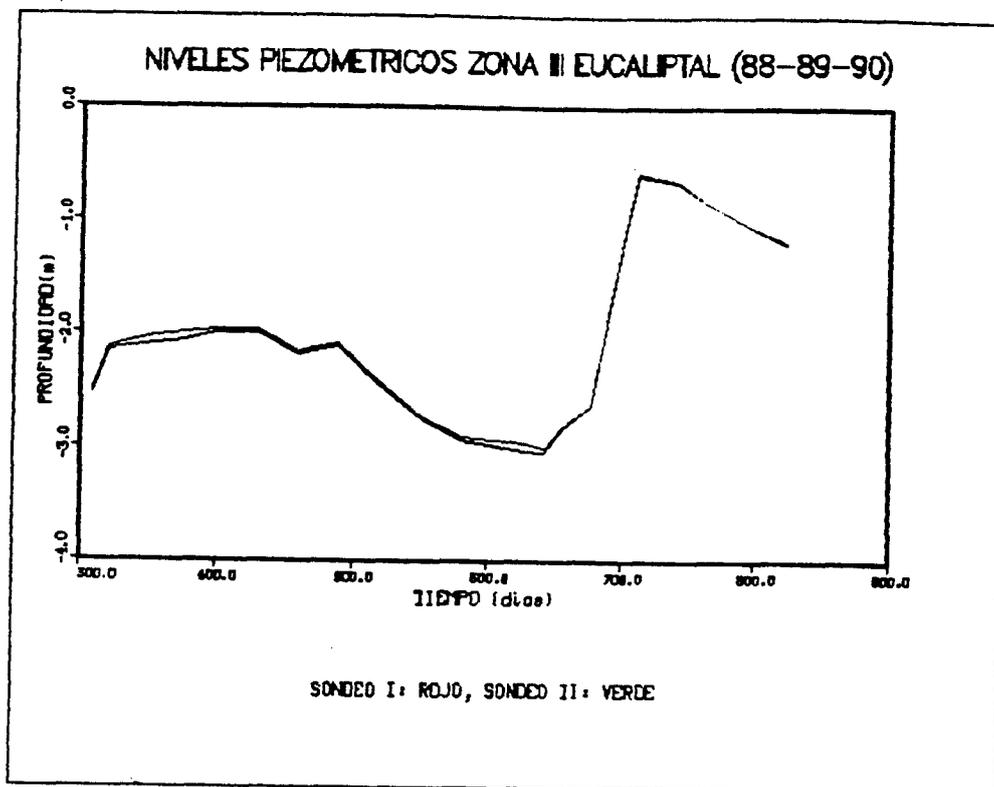


Fig. 27. Evolución de los niveles piezométricos en las distintas parcelas, desde 4 - 11 - 88 (día 309) , hasta el 3 - 4 - 90 (día 824).

4.2. Resultados de la Aplicación del programa TR01. a los datos del Parque de Doñana.

Se ha hecho correr el programa con los distintos datos isotópicos correspondientes a las parcelas experimentales situadas en el Parque de Doñana tanto con los perfiles destructivos, como con los perfiles obtenidos mediante los lisímetros de succión.

Se presentan primero los resultados correspondientes a los perfiles destructivos de la parcela I-Dunas, en las fechas de Junio - 89 y Enero - 90. que son los que resultan inicialmente más coherentes con la técnica desarrollada.

En la figura 28 se han dibujado los perfiles reales (verde) y calculados (rojo) del deuterio y del oxígeno-18 para el mes de Junio de 1989. En primer lugar se observa que el ajuste obtenido es malo, debido a la irregularidad que presentan los datos isotópicos, además se puede ver que los perfiles no presentan la forma exponencial sobre la que se basa esta técnica. Esto queda de manifiesto en el fichero de resultados obtenidos, y que se adjunta en el ANEXO 5. En la tabla 2 se puede apreciar cómo el coeficiente de regresión que se obtiene para la zona de transporte líquido, tanto del deuterio (r_2) como del oxígeno-18 (r_3) son muy bajos. Por esto, los valores de evaporación obtenidos con esta zona no son buenos.

En cambio, el valor obtenido E_1 a partir de la posición del frente de evaporación ya es más lógico, lo que confirma lo que se había comentado en el apartado correspondiente a la teoría sobre la mayor robustez de este método. Se ha considerado que el frente de evaporación está muy cercano a la superficie. Al observar los perfiles isotópicos se observa como a unos cuatro metros de profundidad aparece un máximo muy pronunciado, por lo que se volvió a correr el programa con únicamente la parte superior del perfil esperando mejorar los resultados, pero como se observa en la figura ..., esto no fue así. Sólo se mejoró la aproximación en el perfil del oxígeno 18. Los resultados de este caso se adjuntan en el ANEXO 6.

A continuación se trabajó con los datos isotópicos correspondientes a Enero - 90 en la misma parcela. Los perfiles experimentales y calculados se presentan en la figura 30 y los resultados se adjuntan en el ANEXO 7.

Se pueden repetir los mismos comentarios que en el caso anterior sobre los resultados obtenidos en la zona de transporte líquido. Los perfiles no muestran una forma exponencial por lo que los coeficientes de regresión calculados son muy bajos, y en consecuencia, el valor calculado de la evaporación es malo. De nuevo el valor de la evaporación obtenido a partir de la profundidad del frente de evaporación, es el más fiable.

Al igual que se hizo con el caso correspondiente a Junio - 89 y por los mismos motivos, se corrió de nuevo el programa sólo con la parte superior de los perfiles del deuterio y oxígeno - 18. Los resultados se muestran en la figura 31 y en el ANEXO 8. En ellos se puede observar como ha mejorado el perfil correspondiente al deuterio hasta llegar a un coeficiente de regresión de 0,7, por lo que la evaporación calculada sería algo más realista que en el caso anterior.

Todos estos resultados se resumen en la tabla presentada a continuación, donde en vertical se representan los cuatro casos comentados, y en horizontal, los datos de entrada más característicos y los resultados obtenidos.

	Temperatura C	Humedad relativa aire %	Frente Evaporación (M)	E ₁ mm/a	E ₂ mm/a	r ₂	E ₃ mm/a	r ₃
JN	25	35	0,01	391,85	2,46	0,22	0,42	0,006
JN2	25	35	0,01	391,85	2,68	0,07	3,26	0,1
EN	10	45	0,01	75	0,59	0,05	0,72	0,09
EN2	10	45	0,01	75	6,26	0,7	3,2	0,22

Tabla 2: Resultados para el Perfil DUNAS I.
(JN: Junio - 89, EN: Enero - 90)

Donde E_1 es la evaporación determinada según la posición del frente de evaporación, E_2 es la evaporación a partir de la zona de transporte líquido para el deuterio, r_2 es el coeficiente de regresión y E_3 es la evaporación a partir de la zona de transporte líquido para el oxígeno - 18, siendo r_3 su coeficiente de regresión.

También se ha hecho correr el programa con los datos de isótopos correspondientes a otras parcelas. En las figuras 32 a 34 se presentan los perfiles isotópicos experimentales (en verde), y el perfil exponencial calculado por el programa TR01 (en rojo). Se han escogido los perfiles correspondientes al mes de Junio, debido a que de los tres periodos de los que disponíamos de datos, Noviembre de 1988, junio de 1989 y Enero del 90, el mes de Junio es el que presenta en principio mejores condiciones para la aplicación de esta técnica, debido a causas que ya explicamos en el apartado correspondiente a los aspectos teóricos. Como se observa en las figuras, en la parcela de la Rocina, la curva exponencial del modelo se ajusta bastante bien a los perfiles isotópicos. En la parcela el Eucaliptal, el ajuste en el oxígeno - 18 es aceptable, si bien en caso del deuterio, la forma errática del perfil hace que sea imposible el ajustar la curva exponencial. En la parcela Cultivo el ajuste es aceptable en la zona de transporte líquido, mientras que por encima del frente de evaporación supuesto, no existe paridad entre el perfil experimental y teórico. Esto puede ser consecuencia de de los problemas que tenía la interpretación de los perfiles de la fase de transporte de vapor y que ya comentamos en otros apartados.

También se han realizado las interpretaciones correspondientes a los perfiles isotópicos de los lisímetros de succión en las parcelas de Dunas y Cultivo en el mes de Junio - 89.

En el caso de los perfiles de la parcela de Dunas, fig 35, se observa que estos no siguen en absoluto la forma exponencial, por lo tanto, el ajuste obtenido con esta técnica es muy malo.

En los perfiles de la parcela de Cultivo, fig. 36, el ajuste de la curva exponencial es mejor, si bien los pocos datos de los que se dispone no permiten sacar unas conclusiones claras.

A continuación se presenta una tabla resumen de las distintas parcelas ensayadas, con los resultados de evaporación obtenidos en ellos y los datos de entrada más característicos.

Parcela	Tipo	Temperatura C	Hu %	Z _{ef} (m)	mm/a E ₁	mm/a E ₂	r ₂	mm/a E ₃	r ₃
Dunas	Destructivo	25	35	0,01	391,85	2,46	0,22	0,42	0,006
Rocina	"	25	35	0,01	387,8	4,17	0,39	14,1	0,78
Eucaliptal	"	25	35	0,01	229,71	0,71	0,03	9,88	0,73
Cultivo	"	25	35	0,35	3,94	11,37	0,33	22,45	0,46
Dunas	Lisímetro	25	25	0,05	46,77	2,34	0,08	0,31	0,004
Cultivo	"	25	15	0,47	6,22	6,12	0,99	8,29	0,99

Tabla 3. Resumen de los cálculos realizados. (Junio - 89)

Donde E₁ es la evaporación en mm/año a partir de la profundidad del frente de evaporación, E₂ es la evaporación en mm/año a partir del perfil del deuterio en la región de transporte líquido, r₂ es su coeficiente de regresión, E₃ es la evaporación en mm/año a partir del perfil del oxígeno -18 en la región de transporte líquido, siendo r₃ su coeficiente de regresión.

En ella se puede observar que los valores de evaporación calculados a partir de la situación del frente de evaporación en los perfiles destructivos son bastante aproximados a los valores de evapotranspiración calculados a partir de fórmulas empíricas, como Thornwaite, que dan valores de evapotranspiración real media anual del orden de 400-450 mm/año para la zona en estudio. El resto de los valores de evaporación calculados son muchos más bajos de lo que cabría esperar. Se ve que los coeficientes de regresión son en general muy bajos. El mejor es el correspondiente al perfil del oxígeno-18 de la parcela de la Rocina, con un valor de 0,78 y en este caso se da una evaporación de 14,1 mm/año.

Por otro lado los resultados correspondientes a los perfiles isotópicos de los lisímetros de succión son malos. Los altos valores de los coeficientes de regresión obtenidos en la parcela Cultivo hay que tomarlos con mucha precaución, ya que se producen gracias a que solo existen cuatro datos en la zona de transporte en la fase líquida.

En general los valores tan bajos de evaporación obtenidos son debidos a que no se han cumplido las condiciones de régimen permanente y de condiciones isotérmicas que exige esta técnica para que sus resultados sean válidos. Cualquier perturbación que sufra la zona no saturada , como puede ser una precipitación reciente, dentro del tiempo característico del perfil, se traduce en un aporte de agua nueva al medio, con menores ratios de contenido isotópico, lo que bajaría el δ isotópico del agua que existiera en el suelo, lo que se traduciría en una "aparente reducción" de la evaporación, que es el fenómeno que se observa en todos los perfiles aquí analizados.

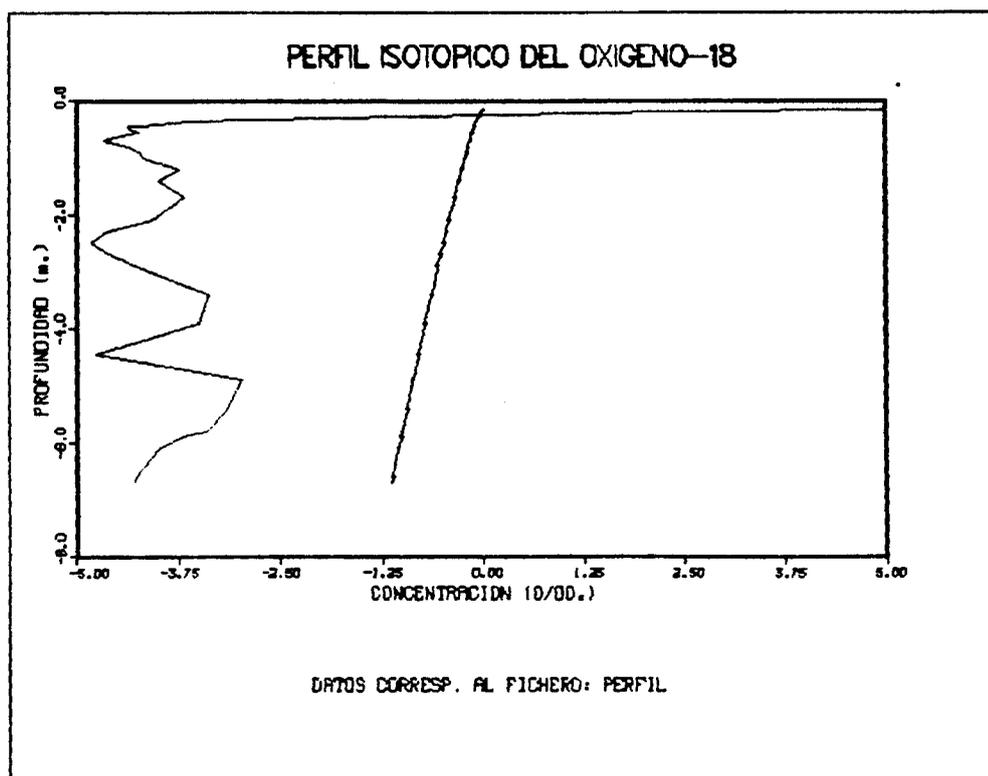
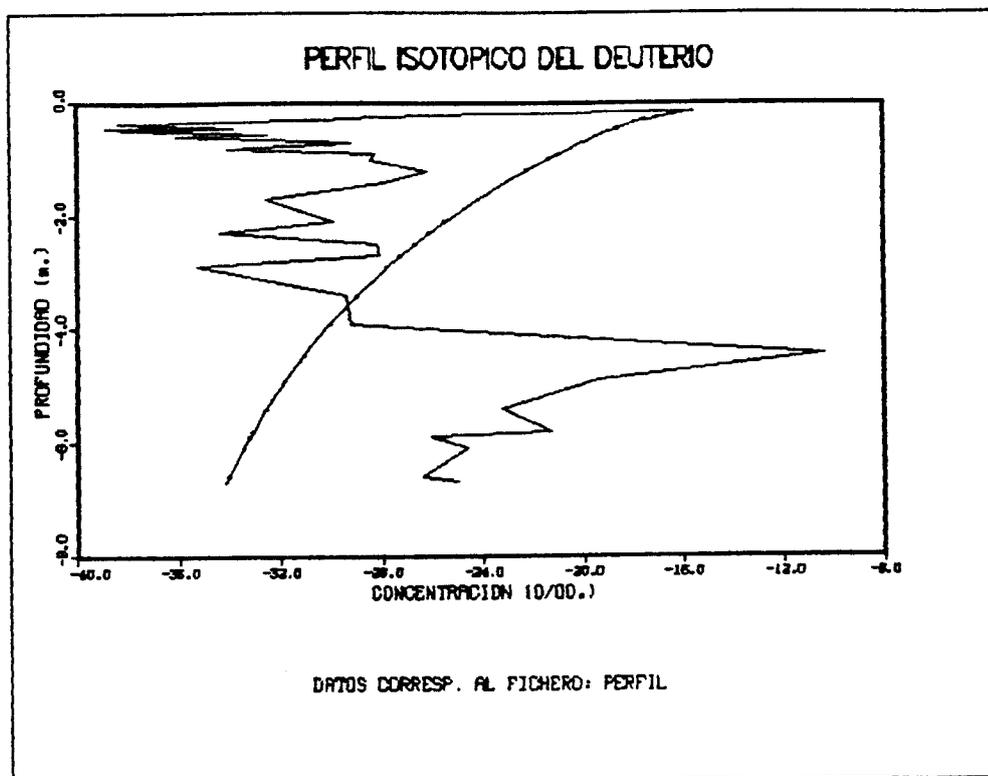


Fig. 28: Perfiles correspondientes a los perfiles isotópicos destructivos de la parcela I Dunas. Junio - 89.

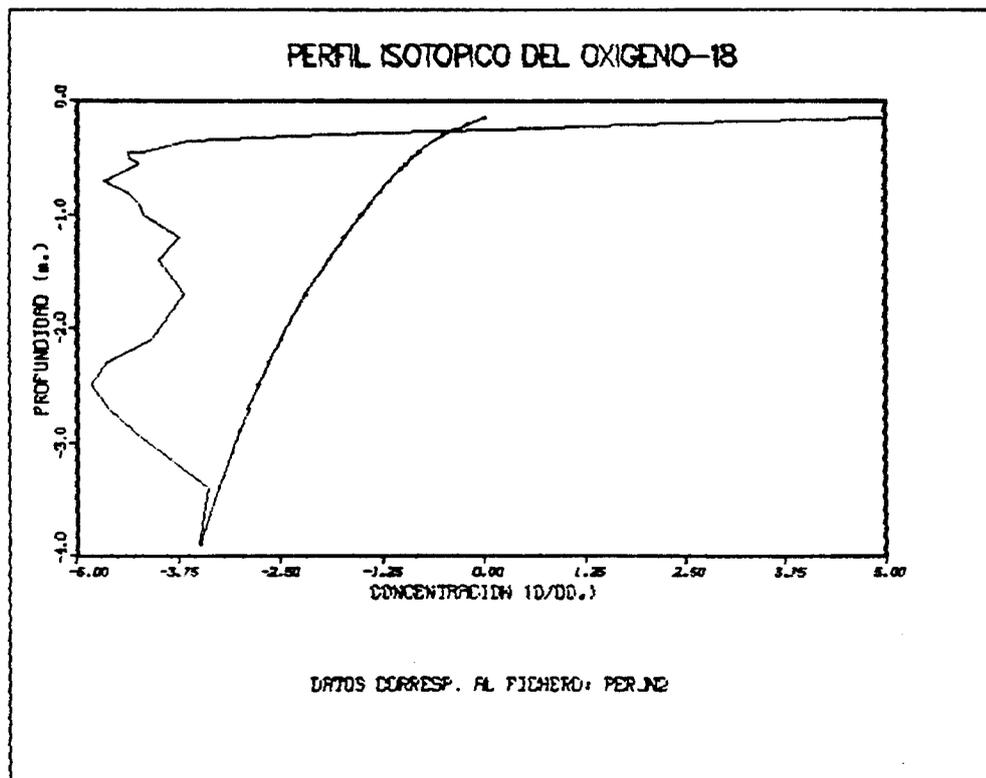
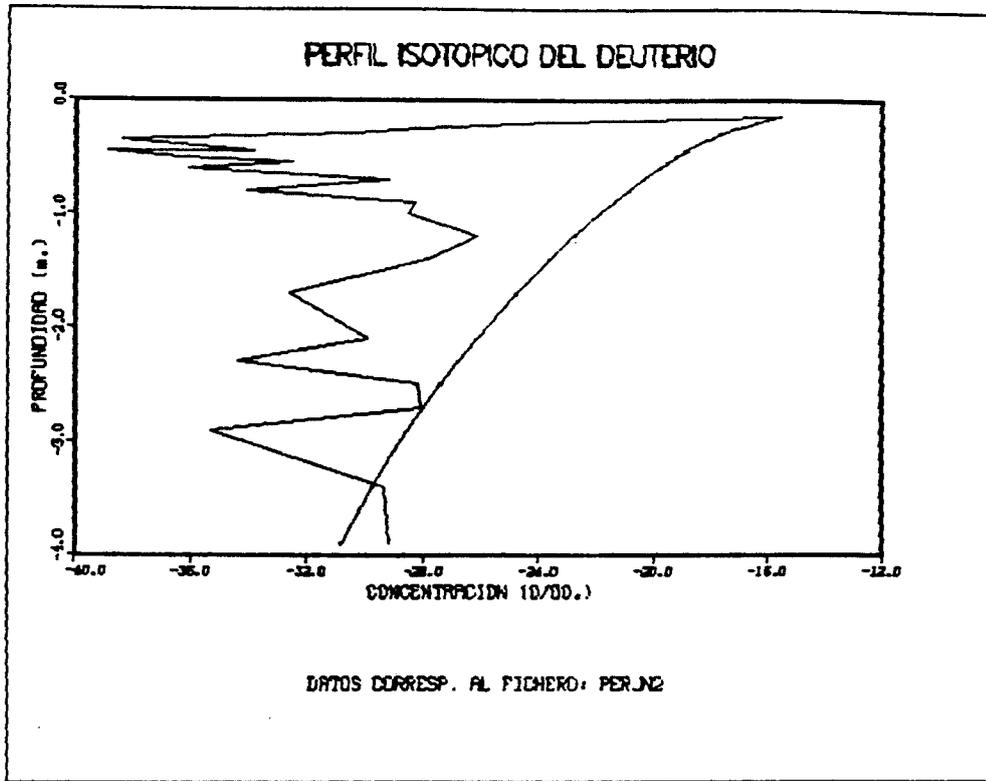


Fig. 29: Perfiles correspondientes a la parte superior de los perfiles isotópicos destructivos de la parcela I Dunas, de Junio - 89.

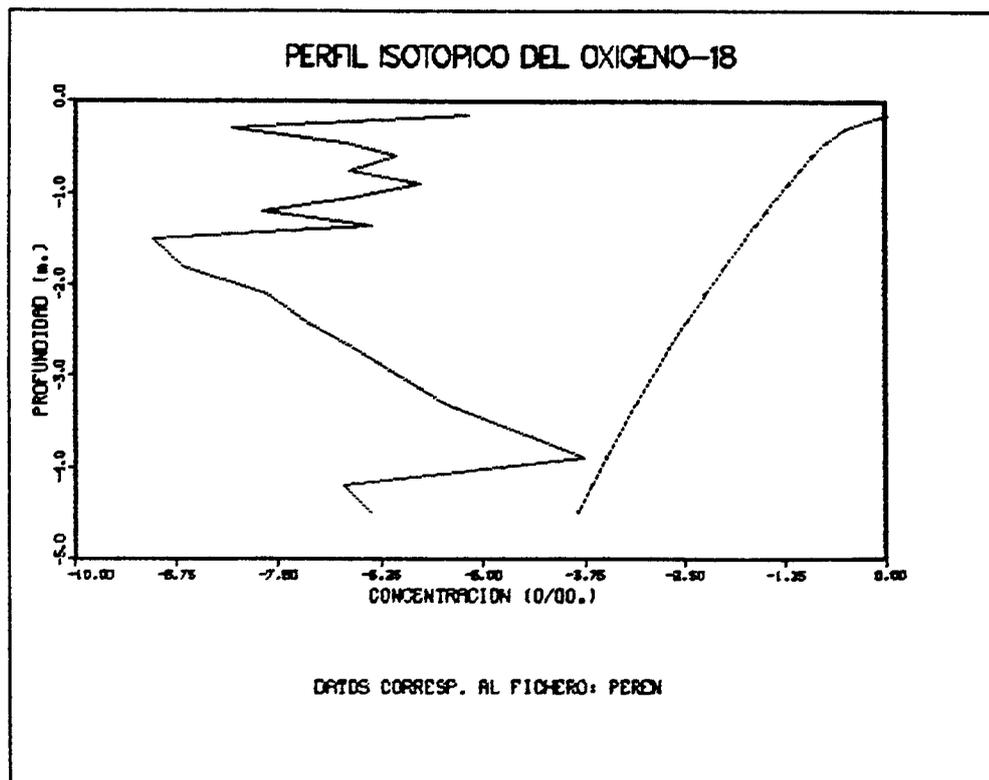
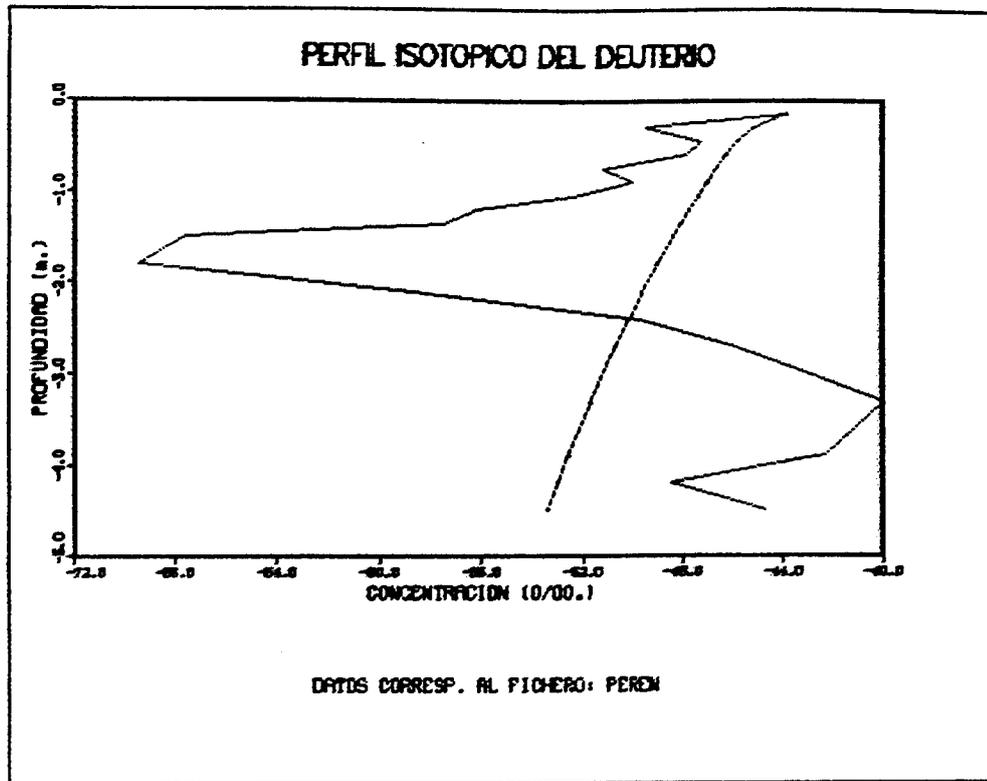


Fig. 30: Perfiles correspondientes a los perfiles isotópicos destructivos de la parcela I Dunas, de Enero - 90.

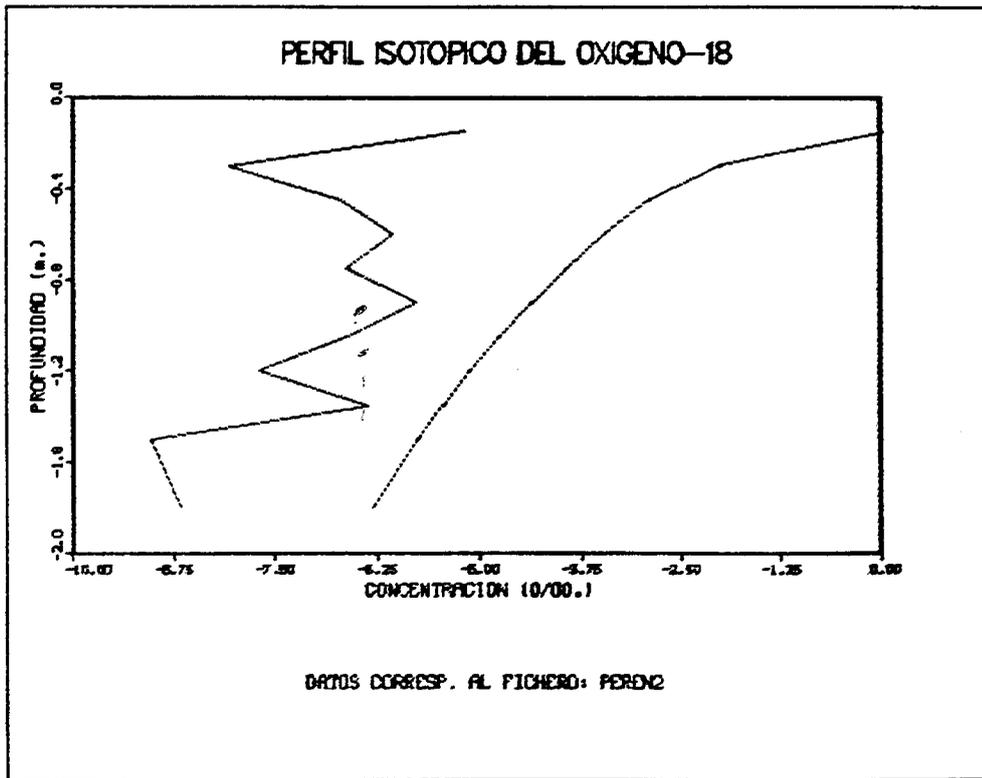
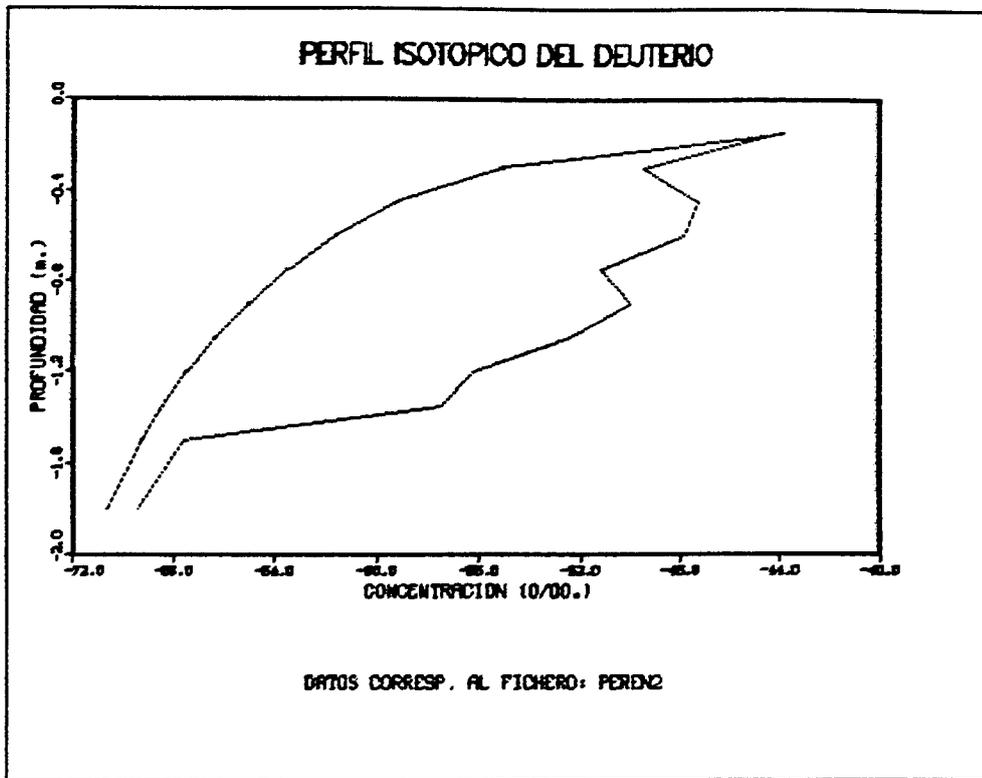


Fig. 31: Perfiles correspondientes a la parte superior de los perfiles isotópicos destructivos de la parcela I Dunas, de Enero - 90.

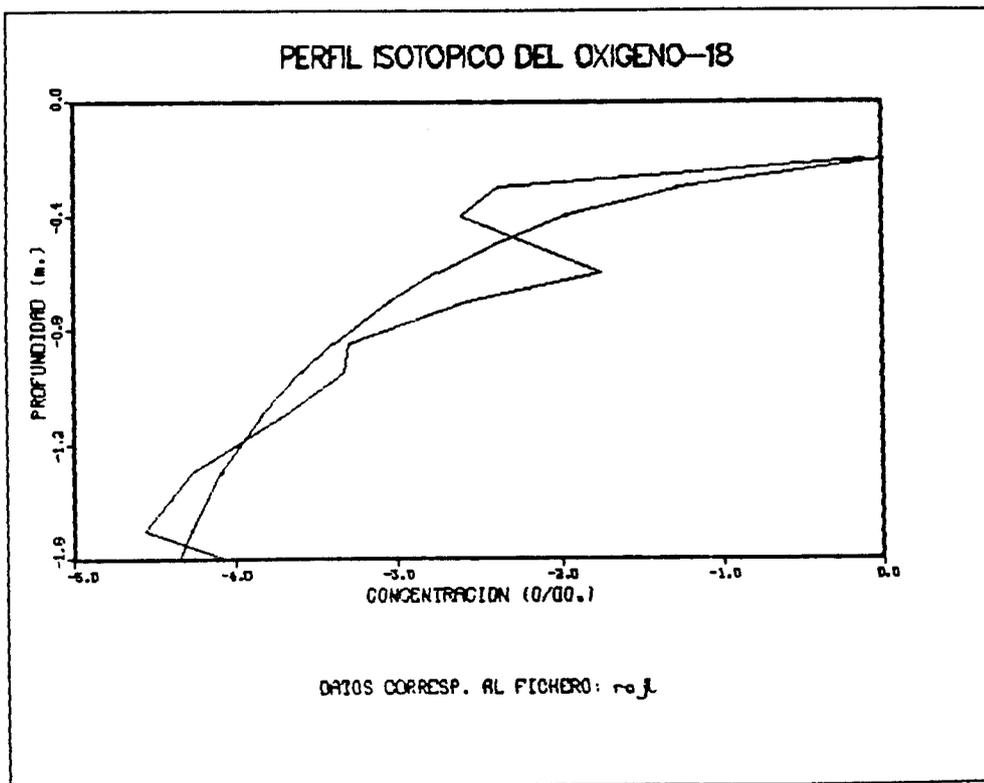
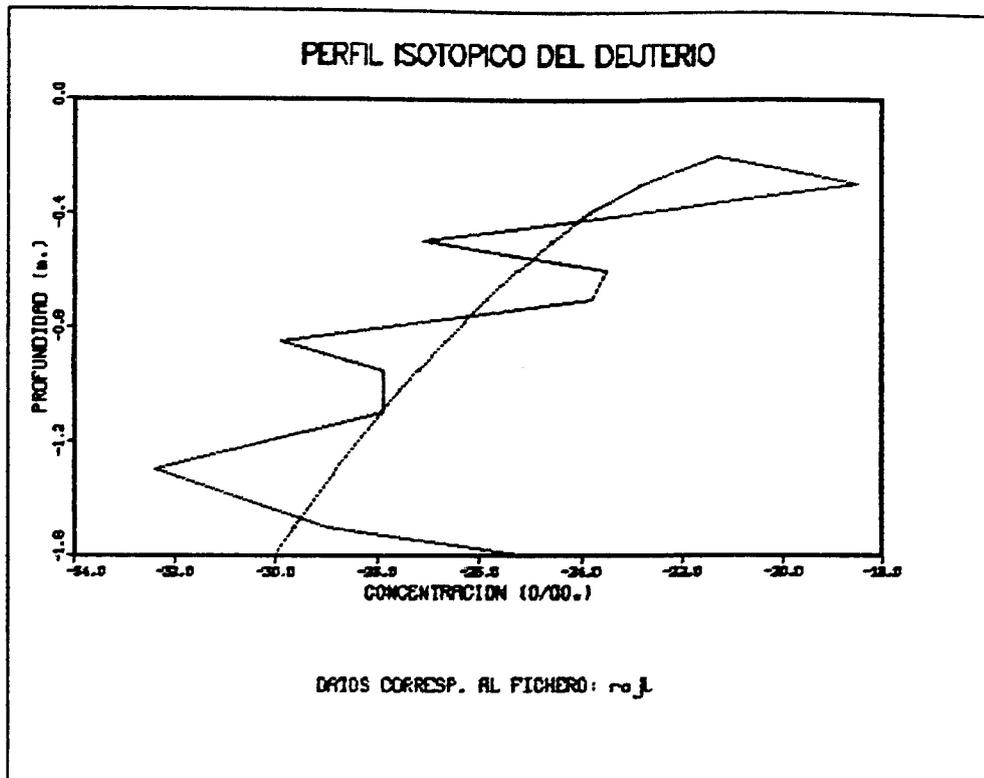


Fig. 32: Perfiles experimentales y teóricos correspondientes a los perfiles destructivos en la parcela de La Rocina, Junio - 89.

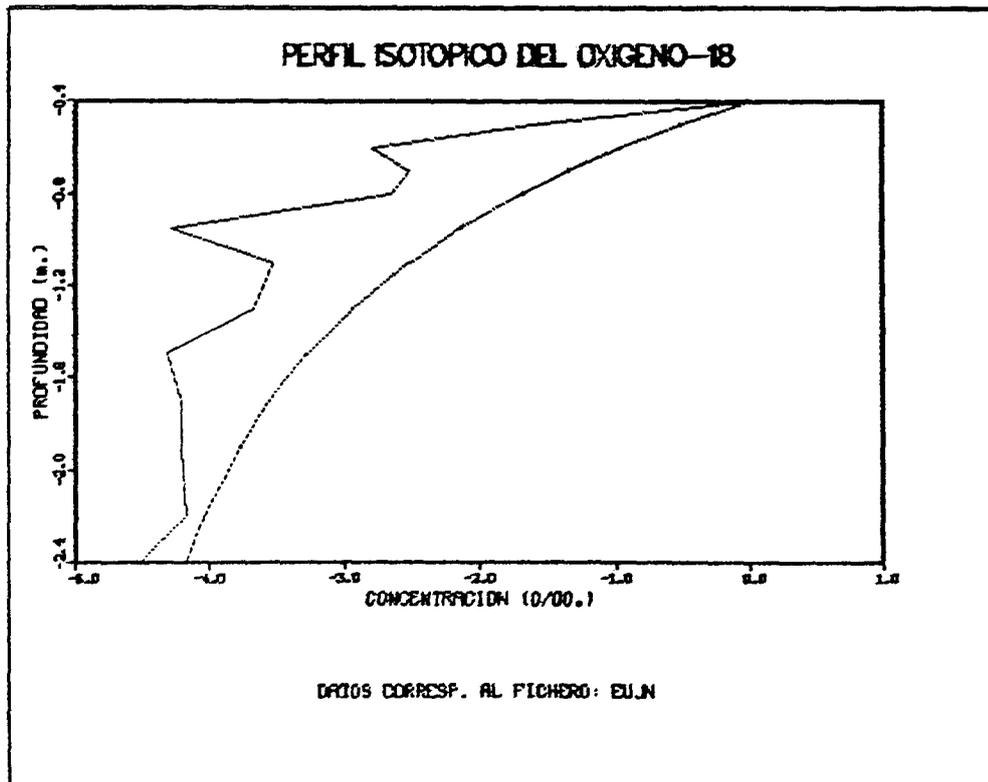
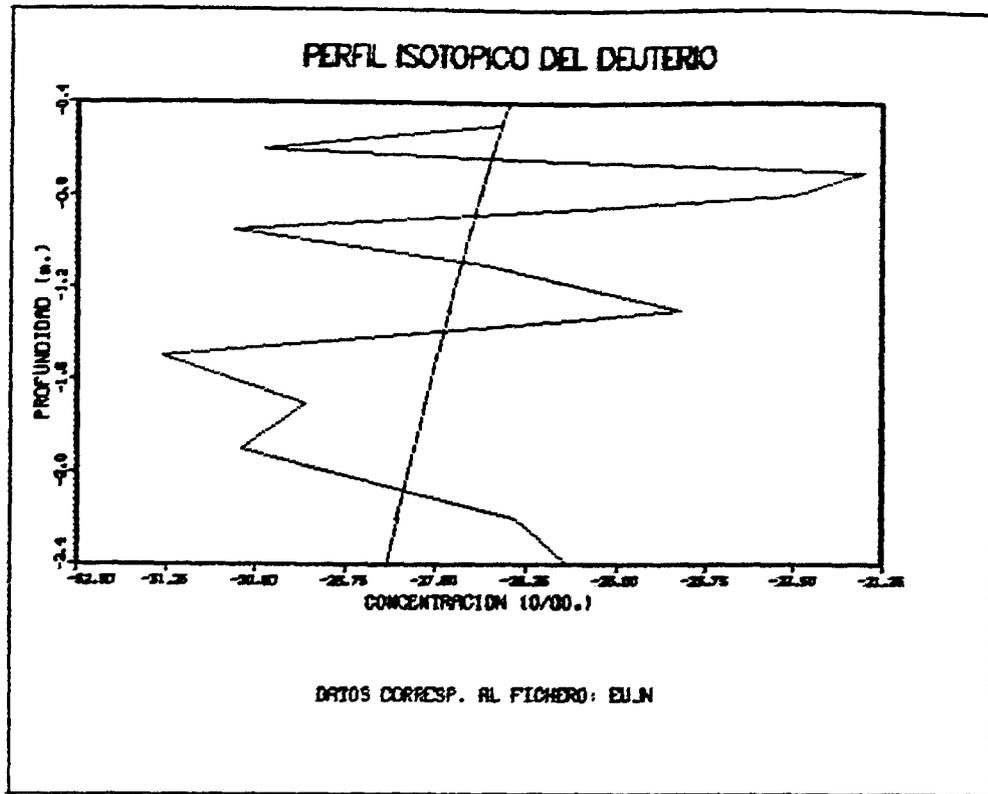


Fig. 33: Perfiles experimentales y teóricos correspondientes a los perfiles destructivos en la parcela El Eucaliptal, Junio - 89.

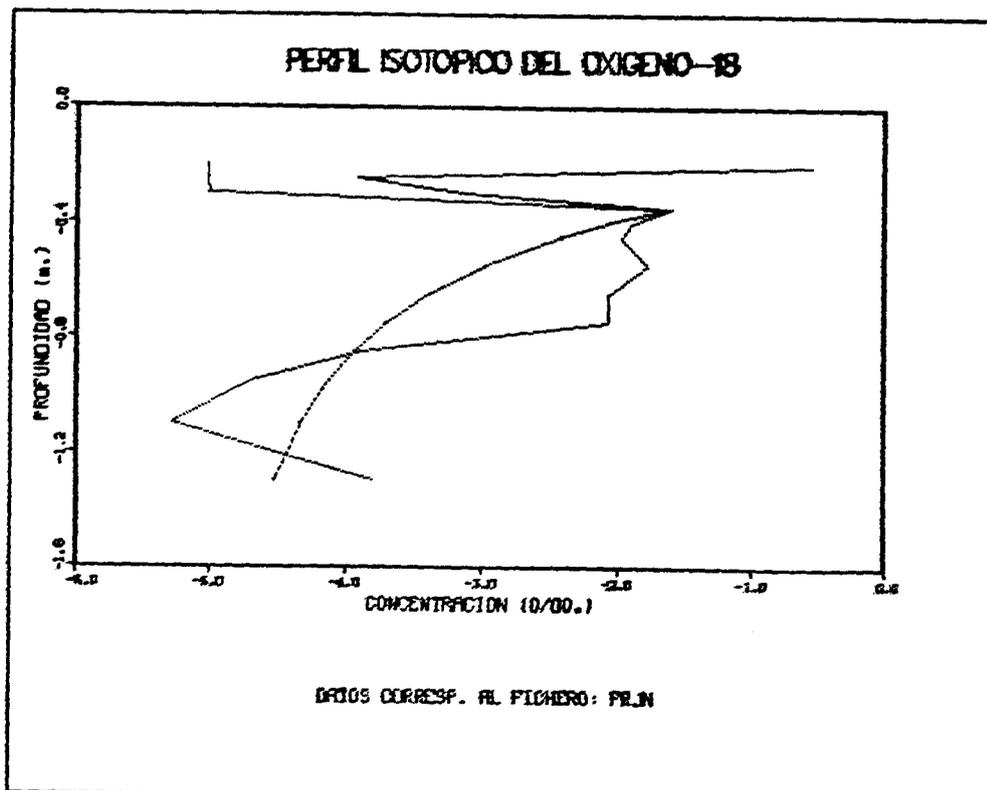
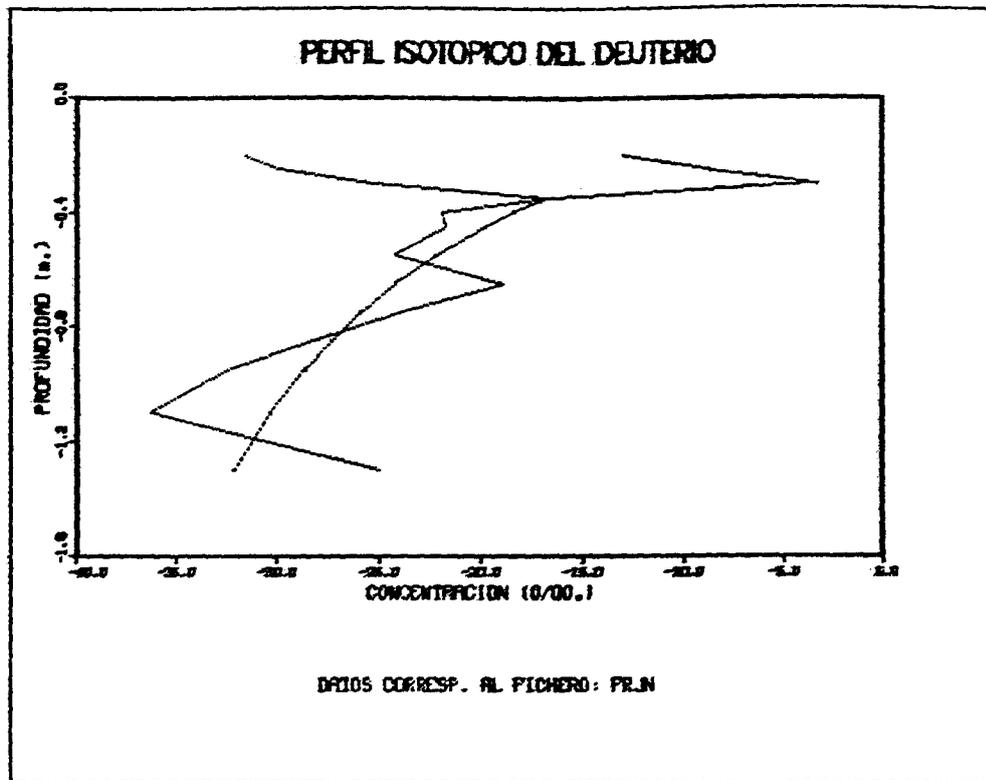


Fig. 34: Perfiles experimentales y teóricos correspondientes a los perfiles destructivos en la parcela Cultivo. Junio - 89.

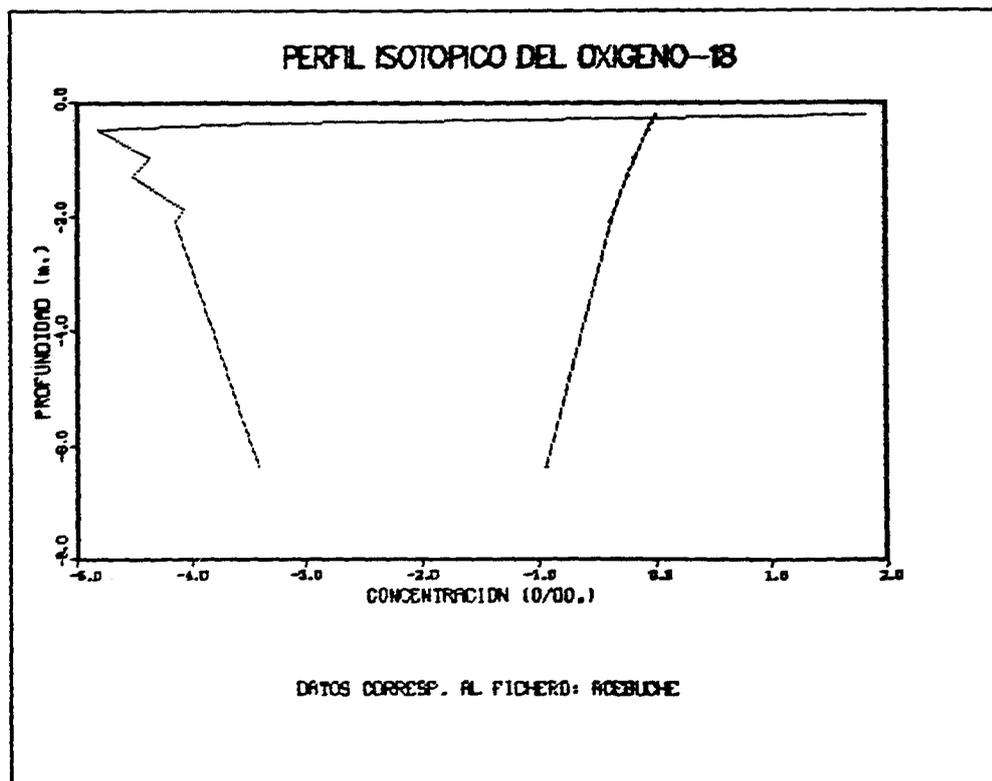
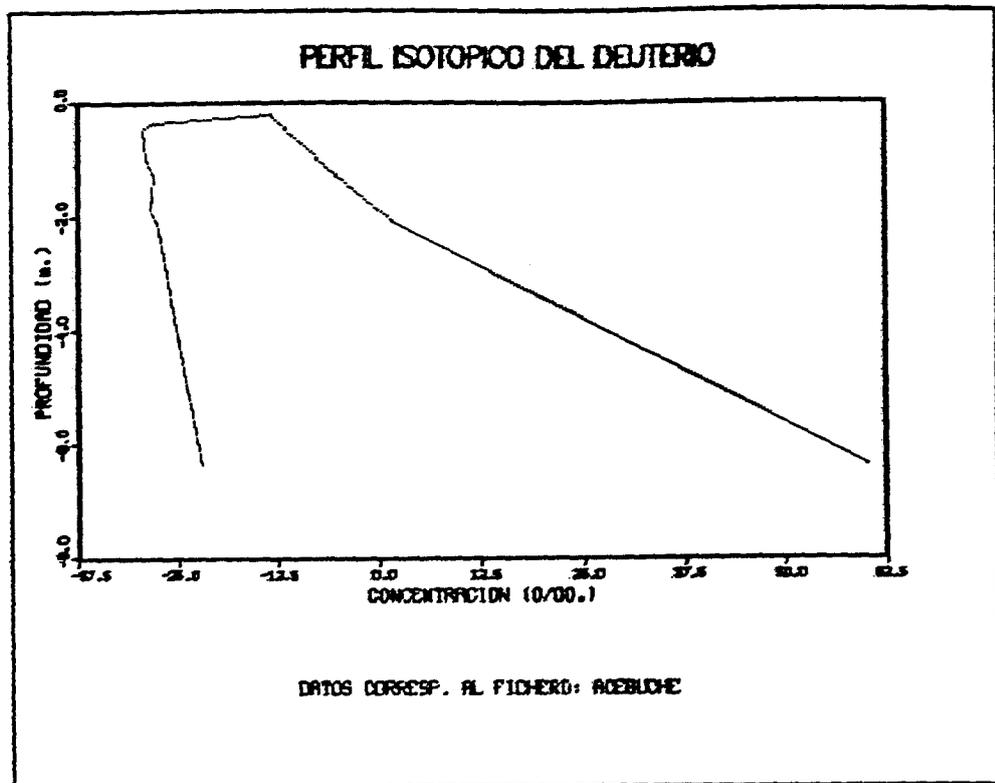


Fig. 35: Perfiles experimentales y teóricos correspondientes a los perfiles de los lisímetros de succión en la parcela Dunas, Junio - 89.

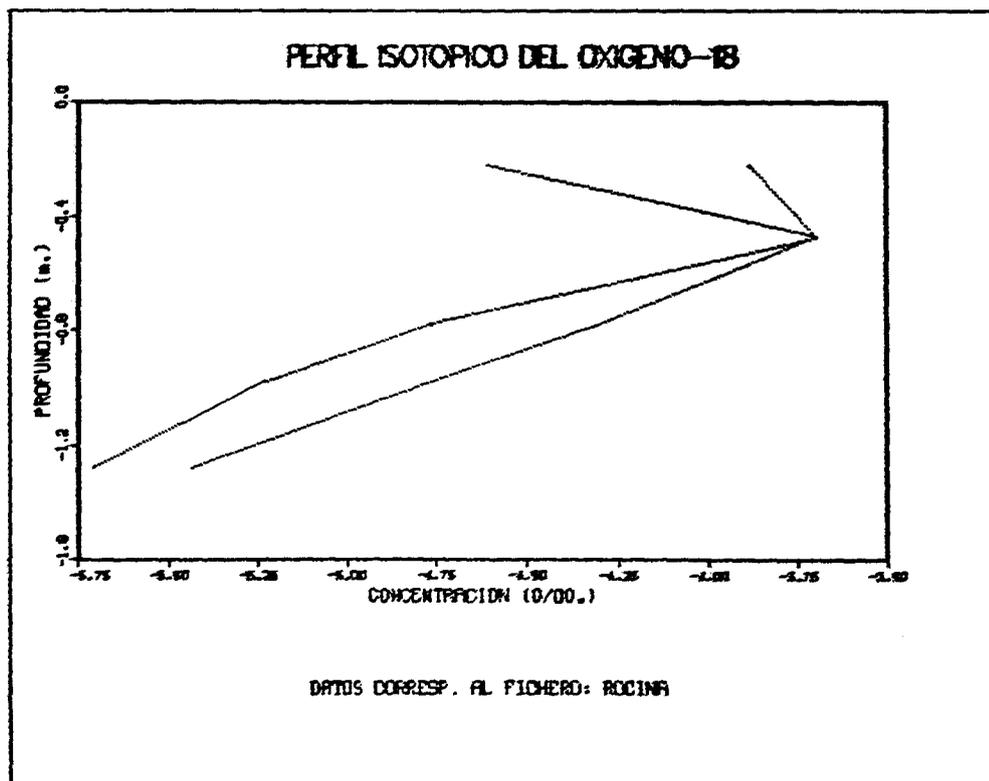
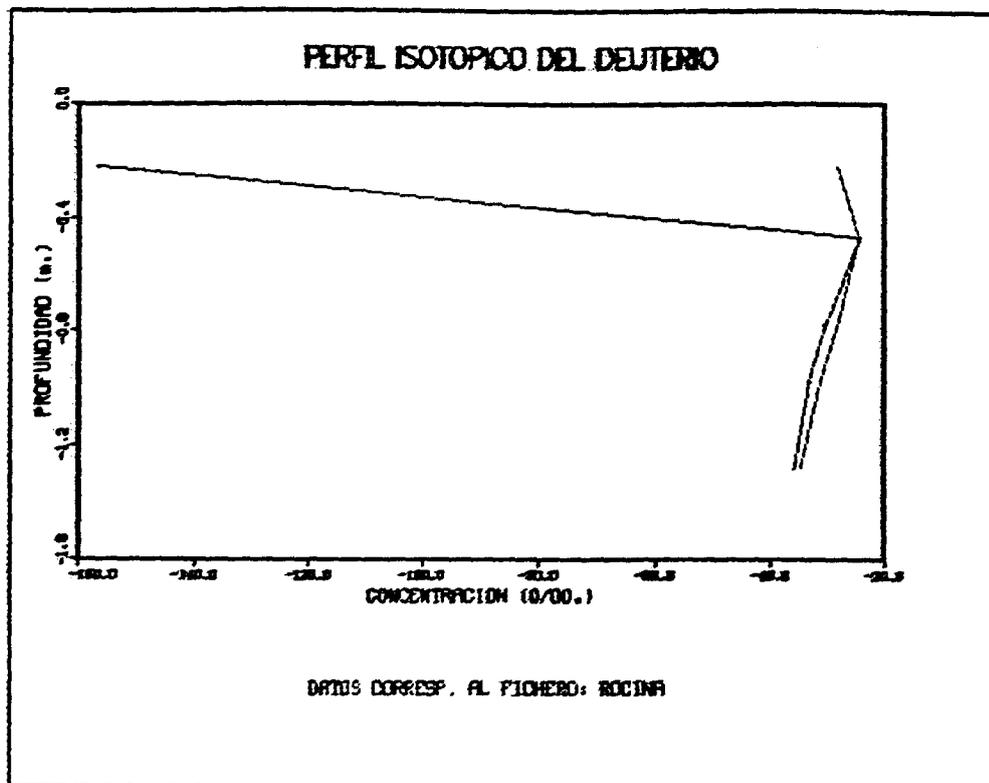


Fig. 36; Perfiles experimentales y teóricos correspondientes a los perfiles de los lisímetros de succión en la parcela Cultivo, Junio - 89.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de la técnica de estimación de la evapotranspiración a partir de los perfiles isotópicos del deuterio y del oxígeno-18 resulta ser muy difícil de aplicar en la práctica, debido principalmente a la gran cantidad de datos y mediciones en campo que precisa, y de lo complicados y caros que son de obtener. A su vez, la forma exponencial de perfil isotópico, que se necesita para su aplicación, se da bajo circunstancias muy especiales, ya que ésta puede verse alterada por cualquier aporte externo de agua. Por lo tanto, esta técnica sólo podrá ser empleada con datos correspondientes a las temporadas de estío, en las que hay ausencia de precipitaciones. También hay que hacer notar que la técnica descrita está desarrollada para régimen permanente, y para perfiles isotérmicos, condiciones que en la realidad no se dan casi nunca. Las ecuaciones correspondientes a régimen variable son muy complicadas y todavía no se ha hallado una solución satisfactoria de las mismas.

La principal dificultad que se ha encontrado en su aplicación al Parque Nacional de Doñana es que la forma exponencial típica de un perfil isotópico sólo aparece si se han mantenido unas condiciones meteorológicas estables durante un largo periodo de tiempo, ya que una precipitación puede modificar la distribución isotópica del terreno, provocando un perfil totalmente irregular que en absoluto tiene la forma exponencial que supone esta técnica. De hecho, hasta el momento, toda la bibliografía encontrada sobre esta técnica se refiere a zonas áridas o semiáridas, en las que los periodos entre lluvias son largos, y la evaporación se mantiene sin grandes variaciones. En climas con mayor abundancia de precipitaciones, se limitaría el uso de esta técnica a los periodos de estío en los que las precipitaciones son escasas. En este sentido, es muy importante el tiempo característico que se calcula en el programa. Si el valor de la evaporación es pequeño, el tiempo característico será muy grande y por lo tanto, el periodo de tiempo durante el cual no puede haber ninguna afección externa (precipitaciones), para que la interpretación del perfil isotópico sea posible, es largo. Si el valor de la evaporación es grande, el tiempo característico será corto, el tiempo necesario para que se forme el perfil será pequeño, pero también la evaporación calculada corresponderá a un periodo de tiempo corto.

De los tres métodos de estimación de la evapotranspiración descritos en la teoría, sólo el que se refiere a la interpretación de la sección del perfil correspondiente a la zona de transporte en fase líquida da unos resultados relativamente ajustados, ya que la zona de transporte en fase vapor es muy estrecha, debido a que el frente de evaporación aparece muy cercano a la superficie, y no ha quedado bien delimitada por los perfiles de campo, porque es prácticamente imposible el tomar las muestras con intervalos lo suficientemente estrechos como para definir el perfil en esta zona.

En el caso de que en una zona tenga lugar además la transpiración, la evapotranspiración en el terreno será mayor, y el fraccionamiento isotópico será menor, por lo que los valores del perfil del deuterio y del oxígeno-18, serán menores que los que corresponderían, si sólo se tuviese en cuenta la evaporación. Además este proceso implica que la evapotranspiración será función de la profundidad, lo que complica las expresiones que relacionan los valores del deuterio y oxígeno-18 con el valor de la evapotranspiración. En este caso con la técnica aquí desarrollada sólo se aplica la estimación de la evapotranspiración a partir de la profundidad del frente de evaporación, ya que si bien en este punto el contenido isotópico es menor que el que le correspondería sin transpiración por las plantas, su relación con la evapotranspiración se mantiene. En cualquier caso esta metodología no permite determinar la transpiración de una forma explícita.

Debido a todo esto, se ha empezado a desarrollar una aplicación de métodos numéricos de estimación de parámetros en ecuaciones no lineales, como es el caso de la ecuación que rige los perfiles isotópicos. Mediante estas técnicas se ha trabajado ya con casos prácticos, sacados de la bibliografía, en concreto de la tesis doctoral de la Dra. Colin Kaczala, 1986, y se han empleado para la estimación del contenido isotópico del deuterio en el agua de alimentación, del contenido isotópico del deuterio en el agua en el frente de evaporación, y la evaporación. El método que mostró ser más eficaz, para distintos valores iniciales de éstos parámetros fue el método de Marquardt, basado en la minimización de una función de sumas de cuadrados. El número de iteraciones que necesita hasta llegar a una solución aceptable es grande (>300), y el tiempo de ordenador consumido es mucho, pero en todo caso, los resultados obtenidos son buenos. Sin embargo todavía las herramientas desarrolladas están a un nivel de prototipo, esperándose tenerlas completamente desarrolladas en un futuro próximo.

Como líneas de investigación futuras que podrán ayudar a mejorar los resultados obtenidos con esta técnica, se pueden citar los siguientes:

- Simulación de transporte de isótopos en la zona no saturada basado en formulaciones dependientes del tiempo, por ejemplo utilizando el código SUTRA.
- Mejora e integración en el programa TR01 de los algoritmos de calibración automática ya experimentados.
- Desarrollo de formulaciones dependientes del tiempo basadas en las propuestas por Barnes.

Por lo tanto, se concluye que para una adecuada interpretación de los perfiles isotópicos, la determinación de la evapotranspiración deberá estar apoyada en técnicas numéricas que solventen en cierta forma la falta de datos y mala calidad de los mismos en muchos casos.

6. BIBLIOGRAFIA

ALLISON, G.B. ; BARNES, C.J. ; HUGHES, M.W., (1983) : "The distribution of deuterium and ^{18}O in dry soils. 2.- Experimental". Journal of Hydrology, 64. The Netherlands. Pág.: 377-397.

BARNES, C.J. ; ALLISON, G.B. (1982). "The distribution of deuterium and ^{18}O in dry soils. 1. - Theory ". Journal of Hydrology 60. The Netherlands. Pág.: 141-156.

BARNES, C.J.; ALLISON, G.B. (1988). "Tracing of water movement in the unsaturated zone using isotopes of Hydrogen and Oxygen". Journal of Hydrology 100. The Netherlands. Pág.: 143-176.

BARNES, C.J.; ALLISON, G.B.; HUGHES, M.W. (1989). "Temperature gradient effects on stable isotope and chloride profiles in dry soils". Journal of Hydrology 112. The Netherlands. Pág.: 69-87.

BARNES, L.J.; WALKER, G.B.(1988). "Stable isotope profiles during unsteady evaporation from a dry soil". Journal of Hydrology. The Netherlands. Pág.: 55 - 57.

CRAIG, H.; GORDON, L.I. (1965). "Deuterium and oxygen - 18 variations in the ocean and marine atmosphere". Proc. Conf. Stable Isot. Oceanogr. Stud. Paleotemp. Laboratorio de Geología Nuclear. Pisa. Italia. 122 pp.

FONTES, J.CH.; YOUSFI, M.; ALLISON, G.B.(1986). "Estimation of the long term, diffuse groundwater discharge in the Northern sahara using stable isotope profiles in soil water". Journal of Hydrology, 86. The Netherlands. Pág.: 315 - 327.

I.T.G.E. (1991). Evaluación de los procesos de evaporación e infiltración a partir del estudio de la zona no saturada. Parque Nacional de Doñana. H-982.

KACZALA, C. (1986). "Profils isotopiques (^{18}O et ^2H) de fluides (eau liquide, vapeur et CO_2) de la zone non saturée sous climat desertique appicant a l' evaporation des nappes libres au Sahara Nord-Occidental". These. Centre D'Orsay. Universite de Paris-Sud. France. 171 pp.

NASH, J.C.; WALKER-SMITH, M. (1987). "Nonlinear Paramenter Estimation an Integred System in Basic". Marcel Dekker, Inc. Vol. 82. Ottawa, Canadá. 493 pp.

ZIMMERMANN, D.; EHHALT, D.; MUNNICH, W.O. (1967). "Soil - water movement and evapotranspiration: Charges in the isotopic composition of the water". Proc. IAEA Symp. Isot. Hydrol. Viena.

ANEXO 1.

LISTADO DEL PROGRAMA TRO1.FOR.

1
1
1
1

C234567 ALFONSO ALVAREZ RODRIGUEZ

C
C PROGRAMA PARA LA INTERPRETACION DE PERFILES DE ISOTOPOS ESTABLES
C OXIGENO-18 Y DEUTERIO. CALCULO DE LA EVAPORACION.
C EN ESTA VERSION SE CALCULAN DOS RECTAS DE REGRESION PARA
C LA FASE LIQUIDA Y PARA LA FASE VAPOR. SE SUPONE QUE NO TENEMOS
C EL PERFIL DE HUMEDADES RELATIVAS.

C
C PARAMETROS UTILIZADOS EN ESTE PROGRAMA:

C
C Z(I) : COTA DEL PUNTO (M)
C W(I) : CONTENIDO EN AGUA EN Z(I)
C H(I) : HUMEDAD RELATIVA EN Z(I)
C D2(I,J) : VALOR DELTA DE DEUTERIO EN EL AGUA EN Z(I)
C D18(I) : VALOR DELTA DE OXIGENO-18 EN EL AGUA EN Z(I)
C T(I) : TEMPERATURA EN Z(I) (K)
C VSAT(I) : DENSIDAD DEL VAPOR DE AGUA EN SATURACION
C D2L(I) : COEFICIENTE DE DIFUSION DEL DEUTERIO EN AGUA (M²/S)
C DL(I) : COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR DEL AGUA (M²/S)
C D2M(I) : VALOR DELTA DEL DEUTERIO EN EL AGUA METEORICA
C D18M(I) : VALOR DELTA DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA METEORICA
C DV(I) : COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR DEL VAPOR DE AGUA (M²/S)
C ZEF(I) : COTA DEL FRENTE DE EVAPORACION (M)
C D2RES : VALOR DELTA DEL DEUTERIO EN EL AGUA DE ALIMENTACION
C D18RES : VALOR DELTA DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA DE ALIMENTACION
C E(I,J) : EVAPORACION (M/S)
C TOR : TORTUOSIDAD
C POR(I) : POROSIDAD
C DENW : DENSIDAD DEL AGUA (KG/M³)
C HAIRE : HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE
C D2AIRE : VALOR DELTA DEL DEUTERIO EN EL AIRE
C ENE : EXPONENTE QUE AFECTA AL ETA(I)
C

C
C DOBLE PRECISION VSAT, E, DV
C CHARACTER*15 FIEN, FISAL, FIGRA2, FIGRA18

C
C DIMENSION Z(100),W(100),H(100),D2(100),ZRAYA(100),ZL18(100),
C 1 D18(100), T(100), VSAT(100), D2L(100), D18L(100),ZL2(100),
C 2 DL(100), D2M(100), D18M(100), DV(100), E(100), E2SAT(100),
C 3 ZV(100), ZL(100), GRABT(100), PUNX2(100), D2CAL(10,100),
C 4 FUAUX(100), FUNZ2(100), FUNZS(100), FUNZ1(100), COTA(100),
C 5 PUNX18(100), E2(100), E18(100),POR(100),D18CAL(10,100),
C 6 RECX2(100),RECX18(100),RECY2(100),RECY18(100),E18SAT(100),
C 7 XXX2(100),YYY2(100),XXX18(100),YYY18(100),EVAPOR2(100),
C 8 EVAPOR18(100)

C
C
C WRITE(6,*) 'DAME EL FICHERO DE ENTRADA'
C READ(5,100) FIEN
C WRITE(6,*) 'DAME EL FICHERO DE SALIDA'
C READ(5,100) FISAL
C WRITE(6,*) 'DAME EL FICHERO DE SALIDA GRAFICA DEL DEUTERIO'
C READ(5,100) FIGRA2
C WRITE(6,*) 'DAME EL FICHERO DE SALIDA GRAFICA DEL OXIGENO-18'
C READ(5,100) FIGRA18

C
C OPEN(20,FILE=FIEN,STATUS='OLD')
C OPEN(40,FILE=FISAL,STATUS='NEW')
C OPEN(FILE=FIGRA2,UNIT=60,STATUS='NEW')
C OPEN(FILE=FIGRA18,UNIT=80,STATUS='NEW')

```

C
C LINEAS DE FORMATOS
100 FORMAT (A8)
150 FORMAT (3X,'D2 = ',F6.2,' + ',F5.2,' X D18'//)
250 FORMAT (3X,'REG = ',F7.4//)
350 FORMAT (3X,'D2M = ',F6.2,' + ',F5.2,' X D18M'//)
450 FORMAT (3X,'REGM = ',F7.4//)
550 FORMAT (3X,'D2RES = ',F6.2/3X,'D18RES = ',F6.2//)
650 FORMAT (4X,'COTA (M)',5X,'USAT',4X,'DV(M2/S)',3X,'E (M/S)')
750 FORMAT (2X,'-----'
1-----')
850 FORMAT (5X,F5.2,6X,F5.4,3X,E8.2,3X,E8.2)
950 FORMAT (3X,'EVAPORACION = ',E8.2,' M/S',/)
990 FORMAT (3X,'EVAPORACION = ',F10.4,' MM/A',/)
125 FORMAT (3X,'COTA(M)',3X'LN (--)',3X,' F(Z) ',5X,'ZI',6X,'E (M/S)')
225 FORMAT (3X,F5.2,3X,F7.3,3X,F7.3,3X,F7.3,3X,E8.2)
325 FORMAT (3X,'C. REG. = ',F7.5,/)
425 FORMAT (3X,'EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: ',I2)
525 FORMAT (3X,'Z(M) W(Z) H DEUT. 0-18 T(°C) POR')
625 FORMAT (3X,F4.2,X,F5.4,X,F3.2,X,F7.2,X,F7.2,2X,F5.2,3X,F3.2)
725 FORMAT (' FRENTE DE EVAPORACION: ',F4.2,' M'/'NIVEL PIEZOMETRICO:
1 ',F7.2,' M'/' TEMPERATURA: ',F5.2,
2 ' °C'/' TORTUOSIDAD: ',F3.2/' DENSIDAD DEL
3 AGUA: ',F6.1,' KG/M3'/' HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: ',F3.2//)
825 FORMAT (3X,'DEUT. 0-18')
925 FORMAT (3X,F5.2,X,F5.2)
135 FORMAT (3X,'LOG(-) = ',F7.4,' + ',F9.4,' * F(Z)')

```

```

C
C ENTRADA DE DATOS:
C
C LEE EL NUMERO DE PUNTOS DE CADA PERFIL
READ(20,*) M
DO J=1,M
READ(20,*) Z(J),W(J),H(J),D2(J),D18(J),T(J),POR(J)
END DO
READ(20,*) ZEF
READ(20,*) PIEZ
READ(20,*) TEMP
C LEE OTROS PARAMETROS GENERALES
READ(20,*) TOR
READ(20,*) DENW
READ(20,*) HAIRE
READ(20,*) D2AIRE
READ(20,*) D18AIRE
READ(20,*) ENE
C AVERIGUA SI HAY DATOS DEL AGUA METEORICA, Y SI LOS HAY LOS LEE
READ(20,*) DATOS
IF (DATOS.EQ.1) THEN
C LEE EL NUMERO DE DATOS
READ(20,*) DAT
DO I=1,DAT
READ(20,*) D2M(I), D18M(I)
END DO
ELSE IF (DATOS.EQ.2) THEN
READ (20,*) D2RES,D18RES
ELSE
CONTINUE
END IF

```

```

C
C IMPRESION DE LOS DATOS EN EL FICHERO DE SALIDA

```

```

C
WRITE(40,*) 'EJEMPLO ',FIEN,' A PARTIR DEL PROGRAMA TNUEVO1'
WRITE(40,*) 'DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA'
WRITE(40,750)
WRITE(40,425) M
WRITE(40,525)
WRITE(40,750)
DO J=1,M
  WRITE(40,625) Z(J),W(J),H(J),D2(J),D18(J),T(J),POR(J)
END DO
WRITE(40,*)
WRITE(40,725) ZEF, PIEZ, TEMP, TOR, DENW, HAIRE
WRITE(40,*) 'DELTA D-2 EN EL AIRE : ',D2AIRE
WRITE(40,*) 'DELTA O-18 EN EL AIRE: ',D18AIRE
WRITE(40,*) 'EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: ',ENE
IF (DATOS.EQ.1) THEN
  WRITE(40,*) 'LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18'
  WRITE(40,*) 'EN EL AGUA METEORICA SON LOS SIGUIENTES:'
  WRITE(40,825)
  WRITE(40,750)
  DO I=1,DAT
    WRITE(40,925) D2M(I), D18M(I)
  END DO
ELSE
  WRITE(40,*) 'NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA'
  WRITE(40,*) 'SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18'
END IF
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)
E2TOT=0
E18TOT=0
C
CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSION EN EL AGUA LIQUIDA
DO I=1,M
  DL(I)=(1.32778+0.01111111*T(I)+0.001111111*T(I)**2)*0.000000001
  D2L(I)=(1.08756+0.040179*T(I)+0.000255*T(I)**2
1 +0.00000131626*T(I)**3)*0.000000001
  D18L(I)=(1.11556+0.040179*T(I)+0.000255*T(I)**2
1 +0.00000131626*T(I)**3)*0.000000001
END DO
C
CALCULO DE LOS SUBINDICES SUB2 Y SUB18 CORRESPONDIENTES A ZEF
DO I=1,M
  IF ((Z(I)-ZEF).LE.0) THEN
    SUB2=M+1
    SUB18=M+1
    CONTINUE
  ELSE
    SUB2=I
    SUB18=I
    GO TO 50
  END IF
END DO
50 CONTINUE
C
CALCULO DE LOS SUBINDICES NPIEZ CORRESPONDIENTES A PIEZ
DO I=SUB2,M
  IF ((Z(I)-PIEZ).LE.0) THEN
    NPIEZ=M
    CONTINUE
  ELSE
    NPIEZ=I
    GO TO 60

```

```

        END IF
        END DO
60    CONTINUE
C
C    CALCULO DE LA RECTA DE REGRESION ENTRE EL VALOR DELTA DEL DEUTERIO
C    Y EL VALOR DELTA DEL OXIGENO-18 EN LA FASE VAPOR.
C    ESTA RECTA ES DE LA FORMA: D2 = COEF1 + COEF2*D18
C
        N1=1
        NSUB2=SUB2
        CALL REGRE(D2,D18,N1,NSUB2,COEF1,COEF2,REG)
C    SALIDA DE LOS DATOS DE ESTA RECTA DE REGRESION
        WRITE(40,*) 'LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL
1    DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 '
        WRITE(40,*) 'EN LA FASE VAPOR ES LA SIGUIENTE'
        WRITE(40,*)
        WRITE(40,150) COEF1,COEF2
        WRITE(40,*) 'EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:'
        WRITE(40,250) REG
C
C    CALCULO DE LA RECTA DE REGRESION ENTRE EL VALOR DELTA DEL DEUTERIO
C    Y EL VALOR DELTA DEL OXIGENO-18 EN LA FASE LIQUIDA.
C    ESTA RECTA ES DE LA FORMA: D2 = COEF1 + COEF2*D18
C
        IF (M.GT.SUB2) THEN
            N1=SUB2
            CALL REGRE(D2,D18,N1,M,COEF1,COEF2,REG)
            CO1=COEF1
            CO2=COEF2
C    SALIDA DE LOS DATOS DE ESTA RECTA DE REGRESION
            WRITE(40,*) 'LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL
1    DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 '
            WRITE(40,*) 'EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE'
            WRITE(40,*)
            WRITE(40,150) CO1,CO2
            WRITE(40,*) 'EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:'
            WRITE(40,250) REG
        ELSE
            CONTINUE
        END IF
C
C    CALCULO DE LA RECTA DE REGRESION DEL AGUA METEORICA
C    ESTA RECTA ES DE LA FORMA: D2 = COEF1 + COEF2*D18
C
        IF (DATOS.EQ.1) THEN
            N1=1
            CALL REGRE(D2M,D18M,N1,DAT,COEF1,COEF2,REG)
            COEF1M=COEF1
            COEF2M=COEF2
        ELSE IF (DATOS.EQ.2) THEN
            GO TO 10
        ELSE
            COEF1M=10
            COEF2M=8
            REG=1
        END IF
C    SALIDA DE LOS RESULTADOS DE ESTA RECTA DE REGRESION
        WRITE(40,*) 'LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL
1    DEUTERIO Y EL OXIGENO-18'
        WRITE(40,*) 'EN EL AGUA METEORICA ES LA SIGUIENTE'

```

```

WRITE(40,*)
WRITE(40,350) COEF1M,COEF2M
WRITE(40,*) 'EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:'
WRITE(40,450) REG

C
C   CALCULO DE LOS VALORES DE D2RES Y D18RES, A PARTIR DE LA INTERSECCIO
C   DE AMBAS RECTAS DE REGRESION
C
D18RES=(COEF1M-CO1)/(CO2-COEF2M)
D2RES=CO1+CO2*D18RES
10 WRITE(40,*) 'LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18'
WRITE(40,*) ' EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:'
WRITE(40,*)
WRITE(40,550) D2RES, D18RES
C   CALCULO DE LA EVAPORACION MEDIANTE LA RELACION PARA LA FASE VAPOR
C
C   CALCULO DE ZEF ( DE MOMENTO SE DARA COMO DATO)
C   DMAX=100
C   DO I=1,M
C     IF (DMAX2.LT.D2(I)) THEN
C       DMAX2=D2(I)
C       SUB2=I
C     ELSE
C       CONTINUE
C     END IF
C   END DO
C   DO I=1,M
C     IF (DMAX18.LE.D18(I)) THEN
C       DMAX18=D18(I)
C       SUB18=I
C     ELSE
C       CONTINUE
C     END IF
C   END DO
C   ZEF=(Z(SUB2)+Z(SUB18))/2
C   CALCULO DEL VALOR MEDIO DEL CONTENIDO EN AGUA EN EL PERFIL
C   IF (M.GT.SUB2) THEN
C     DO I=SUB2+1,M
C       SUMTETA=SUMTETA+W(I)
C       CONTA=CONTA+1
C     END DO
C     TETAMED=SUMTETA/CONTA
C   ELSE
C     CONTINUE
C   END IF
C   CALCULO DE LA TEMPERATURA (DE MOMENTO SE DARA COMO DATO)
C   DO I=1,M-1
C     GRADT(I)=ABS(T(I)-T(I+1))/(Z(I)-Z(I+1))
C   END DO
C   DO I=1,M-2
C     IF (GRADTMIN.LE.GRADT(I)) THEN
C       SUBT=I+1
C       GRADTMIN=GRADT(I)
C     ELSE
C       CONTINUE
C     END IF
C   END DO
C   TEMP=T(SUBT)
C
C   CALCULO DE VSAT A PARTIR DEL PERFIL DE TEMPERATURAS..

```

1
] Sustituido por
Mexo [Meridiano]

```
C DO I=1,M  
VSAT(I)=0.0057+0.000248*I(I)+0.0000115*I(I)**2  
1 +0.000000255*I(I)**3  
END DO
```

```
C CALCULO DEL COEFICIENTE DE DIFUSION DEL VAPOR DE AGUA, Y EVAPORACION
```

```
C DO I=1,M  
DV(I)=0.217*((I(I)+273)/273)**1.88*0.0001  
END DO
```

```
C CALCULO DE LA EVAPORACION SEGUN EL PERFIL EN LA ZONA NO SATURADA  
C DE VAPOR.
```

```
C PERFIL DE VAPOR DEL DEUTERIO
```

```
IF (Z(1).EQ.0) THEN  
Z(1)=0.001
```

```
ELSE  
CONTINUE
```

```
END IF
```

```
DO I=1,SUB2-1
```

```
XXX2(I)=1/(D2(I)-(D2AIRE+0.073)/0.927)
```

```
YYY2(I)=1/Z(I)
```

```
END DO
```

```
NIV2=1
```

```
N2V2=SUB2-1
```

```
CALL REGRE(XXX2,YYY2,NIV2,N2V2,COEF1V2,COEF2V2,REGV2)
```

```
ZRAYA2=COEF2V2/(COEF1V2*HAIRE)
```

```
EVASUM2=0
```

```
DO I=1,SUB2-1
```

```
EVAPOR2(I)=(VSAT(I)*DV(I)*TOR*(POR(I)-W(I)))/(DENW*ZRAYA2)
```

```
EVASUM2=EVASUM2+EVAPOR2(I)
```

```
END DO
```

```
ZFCAL2=(1-HAIRE)*ZRAYA2
```

```
EVAPORDEUT=EVASUM2/(SUB2-1)
```

```
EVAPORDEUTMM=EVAPORDEUT*31536E6
```

```
C PERFIL DE VAPOR DEL OXIGENO-18
```

```
DO I=1,SUB2-1
```

```
XXX18(I)=1/(D18(I)-(D18AIRE+0.009)/0.991)
```

```
YYY18(I)=1/Z(I)
```

```
END DO
```

```
NIV18=1
```

```
N2V18=SUB2-1
```

```
CALL REGRE(XXX18,YYY18,NIV18,N2V18,COEF1V18,COEF2V18,REGV18)
```

```
ZRAYA18=COEF2V18/(COEF1V18*HAIRE)
```

```
EVASUM18=0
```

```
DO I=1,SUB2-1
```

```
EVAPOR18(I)=(VSAT(I)*DV(I)*TOR*(POR(I)-W(I)))/(DENW*ZRAYA18)
```

```
EVASUM18=EVASUM18+EVAPOR18(I)
```

```
END DO
```

```
EVAPOROXIG=EVASUM18/(SUB2-1)
```

```
EVAPOROXIGMM=EVAPOROXIG*31536E6
```

```
ZFCAL18=(1-HAIRE)*ZRAYA18
```

```
WRITE(40,750)
```

```
WRITE(40,*)'LAS EVAPORACIONES CALCULADAS EN EL PERFIL DE VAPOR  
1 SON LAS SIGUIENTES'
```

```
WRITE(40,*)'PARA EL PERFIL DEL DEUTERIO:'
```

```
WRITE(40,950)EVAPORDEUT
```

```
WRITE(40,990)EVAPORDEUTMM
```

```
WRITE(40,*)'EL COEFICIENTE DE REGRESION ES :',REGV2
```



```

ELSE
  PUNX2(1)=ALOG((D2(1)-D2RES)/(D2EF-D2RES))
END IF
END DO
FIN=NP1EZ

```

C
C
C

CALCULO DE LA INTEGRAL

```

66 FUAUX(SUB2-1)=1/(W(SUB2-1)+VSAT(SUB2-1)*DV(SUB2-1)*(POR(SUB2-1)-
1 W(SUB2-1))/(DENW*DL(SUB2-1)*1.079))
FUNZ2(SUB2-1)=0
IF (M.GT.SUB2) THEN
  DO I=SUB2,FIN
    FUAUX(I)=1/(W(I)+VSAT(I)*DV(I)*(POR(I)-W(I))/
1 (DENW*DL(I)*1.079))
    FUNZS(I)=FUAUX(I)*(Z(I)-Z(I-1))*TETAMED
    FUNZI(I)=FUAUX(I-1)*(Z(I)-Z(I-1))*TETAMED
    FUNZ2(I)=FUNZ2(I-1)+(FUNZS(I)+FUNZI(I))/2
  END DO
  NS12=SUB2
  NFIN=FIN
  CALL REGRE(PUNX2,FUNZ2,NS12,NFIN,COEF1,COEF2,REG)
  ZI2=-1/COEF2
  VAR2=REG
  DO I=SUB2,FIN
    CC=CC+1
    E2(I)=TOR*D2L(I)*TETAMED/ZI2
  END DO
  DO I=SUB2,FIN
    SUME2=SUME2+E2(I)
  END DO
  EVAPO2=SUME2/CC
  EVA2MM=EVAPO2*31536E6
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,750)
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,*) 'RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN'
  WRITE(40,*) 'LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO'
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,125)
  WRITE(40,750)
  DO I=SUB2,FIN
    WRITE(40,225) Z(I),PUNX2(I), FUNZ2(I), ZI2, E2(I)
  END DO
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,*) 'LA RECTA QUE RESULTA ES:'
  WRITE(40,135) COEF1,COEF2
  WRITE(40,*) 'EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:'
  WRITE(40,325) VAR2
  WRITE(40,*) 'LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:'
  WRITE(40,950) EVAPO2
  WRITE(40,*) 'EVAPORACION =',EVA2MM,'MM/A'
  WRITE(40,*)
  TAU2=D2L(SUB2)*POR(SUB2)*TOR/(EVAPO2**2)
  TAU2=TAU2/(60*60*24)
  WRITE(40,*) 'EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES:',TAU2,
1 ' DIAS'
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,750)
  WRITE(40,*)

```

C
C
C
C
C
C

CALCULO DE LA EVAPORACION EN M/S EN LA ZONA DE FASE LIQUIDA A PARTIR DEL OXIGENO-18

CALCULO DEL TERMINO DEL LN.

```
D18EF=D18(SUB18-1)
DO I=SUB18,NPIEZ
  IF (D18RES.GE.D18(1)) THEN
    FIN=I-1
    GO TO 77
  ELSE
    PUNX18(1)=ALOG((D18(1)-D18RES)/(D18(SUB18-1)-D18RES))
  END IF
END DO
```

77

```
FIN=NPIEZ
NS18=SUB18
NFIN=FIN
CALL REGRE(PUNX18,FUNZ2,NS18,NFIN,COEF1,COEF2,REG)
Z118=-1/COEF2
VAR18=REG
DO I=SUB18,FIN
  DD=DD+1
  E18(1)=TOR*D18L(1)*TETAMED/Z118
END DO
DO I=SUB18,FIN
  SUMEC=SUMEC+E18(I)
END DO
EVAP018=SUMEC/DD
EVA18MM=EVAP018*31536E6
WRITE(40,*)
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)
WRITE(40,*) 'RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION
1 EN LA ZONA'
WRITE(40,*) 'DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18'
WRITE(40,*)
WRITE(40,125)
WRITE(40,750)
DO I=SUB18,FIN
  WRITE(40,225) Z(1),PUNX18(1), FUNZ2(1), Z118, E18(I)
END DO
WRITE(40,*)
WRITE(40,*) 'LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:'
WRITE(40,135)COEF1,COEF2
WRITE(40,*)
WRITE(40,*) 'EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:'
WRITE(40,325) VAR18
WRITE(40,*) 'LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:'
WRITE(40,950) EVAP018
WRITE(40,*) 'EVAPORACION =',EVA18MM,'MM/A'
WRITE(40,*)
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)
TAU18=D18L(SUB2)*POR(SUB2)*TOR/(EVAP018**2)
TAU18=TAU18/(60*60*24)
WRITE(40,*) 'EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES:',TAU18,
1 ' DIAS'
ELSE
  CONTINUE
```

```

END IF
C
C
CALCULO DE LA EVAPORACION POR DEBAJO DEL NIVEL PIEZOMETRICO
IF (Z(M).LE.PIEZ) THEN
  GOTO 70
ELSE
  DO I=NP1EZ,M
    E2SAT(I)=-POR(I)*TOR*D2L(I)*ALOG((D2(I)-D2RES)/(D2(PIEZ)-
1    D2RES))/Z(I)
    E18SAT(I)=-POR(I)*TOR*D18L(I)*ALOG((D2(I)-D2RES)/(D2(PIEZ)-
1    D18RES))/Z(I)
  END DO
  DO I=NP1EZ,M
    E2TOT=E2TOT+E2SAT(I)
    E18TOT=E18TOT+E18SAT(I)
  END DO
  E2MEDIA=E2TOT/(M-NP1EZ+1)
  E18MEDIA=E18TOT/(M-PIEZ+1)
  E2SATMM=E2MEDIA*31536E6
  E18SATMM=E18MEDIA*31536E6
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,750)
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,*) 'LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN
1 LA ZONA SATURADA DEL DEUTERIO ES:'
  WRITE(40,950) E2MEDIA
  WRITE(40,*) 'EVAPORACION =',E2SATMM,'MM/A'
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,750)
  WRITE(40,*)
  TAUSAT2=D2L(NP1EZ)*POR(NP1EZ)*TOR/(E2MEDIA**2)
  TAUSAT2=TAUSAT2/(60*60*24)
  WRITE(40,*) 'EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES:',TAUSAT2,
1 ' DIAS'
  WRITE(40,*) 'LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN
1 LA ZONA SATURADA DEL OXIGENO-18 ES:'
  WRITE(40,950) E18MEDIA
  WRITE(40,*) 'EVAPORACION =',E18SATMM,'MM/A'
  WRITE(40,*)
  WRITE(40,750)
  WRITE(40,*)
  TAUSAT18=D18L(NP1EZ)*TOR*POR(NP1EZ)/(E18MEDIA**2)
  TAUSAT18=TAUSAT18/(60*60*24)
  WRITE(40,*) 'EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES:',TAUSAT18,
1 ' DIAS'
  END IF
C
C
CALCULO DE LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES A LOS PERFILES DE ISOTOPOS
C
C
CALCULO DE LOS PERFILES CORRESPONDIENTES A LA FASE VAPOR
C
C
CALCULO DEL PERFIL DEL DEUTERIO
C
70 J=1
  DO I=1,SUB2-1
    D2CAL(J,I)=1.079*(D2AIRE+0.0732+(ENE*0.0251*(1+D2RES)+(D2RES-
1 D2AIRE))*Z(I)/(Z(I)+HAIRE*VSAT(I)*TOR*DV(I)*(POR(I)-W(I))
2 /(DENW*EVAPOR2(I))))
  END DO
C
C
CALCULO DEL PERFIL DEL OXIGENO-18

```

```

WRITE(40,750)
DO I=1,SUB2-1
  D18CAL(J,I)=1.0092*(D18AIRE+0.0091+(ENE*0.0285*(1+D18RES)+
1 (D18RES-D18AIRE))*Z(I)/(Z(I)+HAIRE*VSAT(I)*TOR*DV(I)*
2 (POR(I)-W(I))/(DENW*EVAPORIB(I))))
END DO
N1=1
N2=SUB2-1
CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2V,VZA2V)
CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18V,VZA18V)
WRITE(40,*)'LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE VAPOR SON:'
WRITE(40,*)'  COTA', '  DEUTERIO', '  OXIGENO-18'
WRITE(40,750)
DO I=1,SUB2-1
  WRITE(40,*)Z(I),D2CAL(J,I),D18CAL(J,I)
END DO
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)
WRITE(40,*)' EL ERROR MEDIO Y LA VARIANZA DEL ERROR
1COMETIDO EN LOS PERFILES ES : '
WRITE(40,*)' EN LA FASE VAPOR : '
WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2V,' EN EL OXIGENO-18: ',
1FIT18V
WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2V,' VARIANZA O-18: ',
1VZA18V

WRITE(40,750)
IF (M.GT.SUB2) THEN

```

C
C
C

CALCULO DE LOS PERFILES EN LA FASE LIQUIDA

```

DO I=SUB2-1,M
  D2CAL(J,I)=D2RES+(D2EF-D2RES)*EXP(-FUNZ2(I)/ZI2)
  D18CAL(J,I)=D18RES+(D18EF-D18RES)*EXP(-FUNZ2(I)/ZI18)
END DO
N1=SUB2
N2=NP1EZ
CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2L,VZA2L)
CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18L,VZA18L)
WRITE(40,*)'LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:'
WRITE(40,*)
WRITE(40,*)'  COTA', '  DEUTERIO', '  OXIGENO-18'
WRITE(40,750)
DO I=SUB2-1,NP1EZ
  WRITE(40,*)Z(I),D2CAL(J,I),D18CAL(J,I)
END DO
WRITE(40,*)' EN LA FASE LIQUIDA : '
WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2L,' EN EL OXIGENO-18: ',
1 FIT18L
WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2L,' VARIANZA O-18: ',
1 VZA18L

```

C
C
C

CALCULO DE LOS PERFILES EN LA ZONA SATURADA

```

IF (M.GT.NP1EZ) THEN
  DO I=NP1EZ,M
    ZL2(I)=POR(I)*TOR*D2L(I)/E2SAT(I)
    ZL18(I)=POR(I)*TOR*D18L(I)/E18SAT(I)
    D2CAL(J,I)=D2RES+(D2(NP1EZ)-D2RES)*EXP(-Z(I)/ZL2(I))

```

```

      D18CAL(J,I)=D18RES+(D18(NPIEZ)-D18RES)*EXP
1      (-Z(1)/ZL18(I))
      END DO
      N1=NPIEZ
      N2=M
      CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2SAT,VZA2SAT)
      CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18SAT,VZA18SAT)
      WRITE(40,*)
      WRITE(40,*)'LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN LA ZONA SATURADA
1      SON:'
      WRITE(40,*)'      COTA', '      DEUTERIO', '      OXIGENO-18'
DO I=NPIEZ,M
      WRITE(40,*)Z(1),D2CAL(J,1),D18CAL(J,I)
END DO
      WRITE(40,750)
      WRITE(40,*)
      WRITE(40,*)' EL ERROR MEDIO Y LA VARIANZA DEL ERROR
1      COMETIDO EN LOS PERFILES ES :'
      WRITE(40,*)' EN LA ZONA SATURADA :'
      WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2SAT,' EN EL
1      OXIGENO-18: ',FIT18SAT
      WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2SAT,' VARIANZA O-18: ',
1      VZA18SAT
      ELSE
      CONTINUE
      END IF
      N1=1
      N2=M
      CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2T,VZA2T)
      CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18T,VZA18T)
      WRITE(40,*)' EN EL PERFIL TOTAL :'
      WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2T,' EN EL OXIGENO-18: ',
1      FIT18T
      WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2T,' VARIANZA O-18: ',
1      VZA18T
C
111  WRITE(6,*)'LAS EVAPORACIONES RESULTANTES SON :',EVAP02,
1      ' Y ',EVAP018
      WRITE(6,*)'LOS VALORES DELTA DEL AGUA DE ALIMENTACION SON:'
      WRITE(6,*)'D2RES= ',D2RES,'D18RES= ',D18RES
      WRITE(6,*)'QUIERES CAMBIAR ALGUNO DE ESTOS
1      PARAMETROS (0,1,2,3)?'
      WRITE(6,*)'0 ..... NINGUNO,      1 ... EVAPORACION'
      WRITE(6,*)'2 ... D2RES Y D18RES,    3 ..... AMBOS'
      READ(5,*) CUR
      IF (CUR.EQ.1) THEN
      WRITE(6,*)'DAME LA NUEVA EVAPORACION'
      READ(5,*) PEN
      ZIN2=PEN*ZI2/EVAP02
      ZIN18=PEN*ZI18/EVAP018
      CALL CURVA (D2RES,D2EF,FUNZ2,ZIN2,D18RES,D18EF,ZIN18,
1      SUB2,M,J,D2CAL,D18CAL)
      N1=SUB2-1
      N2=M
      CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2L,VZA2L)
      CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18L,VZA2L)
      WRITE(40,*)
      WRITE(40,*)'SE HAN HALLADO UNOS NUEVOS PERFILES CON UN'
      WRITE(40,*)'VALOR DE EVAPORACION = ',PEN*31536E6,'MM/A'
      WRITE(40,*)'LOS PERFILES SON LOS SIGUIENTES'

```

```

WRITE(40,*)' COTA', ' DEUTERIO', ' OXIGENO-18'
WRITE(40,750)
DO I=SUB2-1,M
  WRITE(40,*)Z(I),D2CAL(J,1),D18CAL(J,I)
END DO
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)' EL ERROR MEDIO COMETIDO EN LOS PERFILES ES : '
WRITE(40,*)' EN LA FASE LIQUIDA : '
WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2L,' EN EL OXIGENO-18: ',
1 FIT18L
WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2L,' VARIANZA O-18: ',
1 VZA18L
GOTO 111
ELSE IF (CUR.EQ.2) THEN
WRITE(6,*)' DAME LOS NUEVOS VALORES (D2RES, D18RES)'
READ(5,*) P2RES,P18RES
CALL CURVA (P2RES,D2EF,FUNZ2,ZI2,P18RES,D18EF,ZI18,
1 SUB2,M,J,D2CAL,D18CAL)
N1=SUB2-1
N2=M
CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2L,VZA2L)
CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18L,VZA2L)
WRITE(40,*)
WRITE(40,*)' SE HAN HALLADO UNOS NUEVOS PERFILES CON LOS '
WRITE(40,*)' VALORES D2RES Y D18RES SIGUIENTES: '
WRITE(40,*)' D2RES =',P2RES,' D18RES =',P18RES
WRITE(40,*)' LOS PERFILES SON LOS SIGUIENTES'
WRITE(40,*)' COTA', ' DEUTERIO', ' OXIGENO-18'
WRITE(40,750)
DO I=SUB2-1,M
  WRITE(40,*)Z(I),D2CAL(J,1),D18CAL(J,I)
END DO
WRITE(40,750)
WRITE(40,*)' EL ERROR MEDIO COMETIDO EN LOS PERFILES ES : '
WRITE(40,*)' EN LA FASE LIQUIDA : '
WRITE(40,*)' EN EL DEUTERIO : ',FIT2L,' EN EL OXIGENO-18: ',
1 FIT18L
WRITE(40,*)' VARIANZA DEUTERIO: ',VZA2L,' VARIANZA O-18: ',
1 VZA18L
GOTO 111
ELSE IF (CUR.EQ.3) THEN
WRITE(6,*)' DAME LA NUEVA EVAPORACION'
READ(5,*) PEN
ZIN2=PEN*ZI2/EVAPO2
ZIN18=PEN*ZI18/EVAPO18
WRITE(6,*)' DAME LOS NUEVOS VALORES (D2RES, D18RES)'
READ(5,*) P2RES,P18RES
CALL CURVA (P2RES,D2EF,FUNZ2,ZIN2,P18RES,D18EF,ZIN18,
1 SUB2,M,J,D2CAL,D18CAL)
N1=SUB2-1
N2=M
CALL COMPARAR (D2,D2CAL,J,N1,N2,FIT2L,VZA2L)
CALL COMPARAR (D18,D18CAL,J,N1,N2,FIT18L,VZA18L)
WRITE(40,*)
WRITE(40,*)' SE HAN HALLADO UNOS NUEVOS PERFILES CON UN'
WRITE(40,*)' VALOR DE EVAPORACION = ',PEN*31536EG,' MM/A'
WRITE(40,*)' Y CON LOS VALORES D2RES Y D18RES SIGUIENTES: '
WRITE(40,*)' D2RES =',P2RES,' D18RES =',P18RES
WRITE(40,*)' LOS PERFILES SON LOS SIGUIENTES'
WRITE(40,*)' COTA', ' DEUTERIO', ' OXIGENO-18'

```



```

WRITE(80,*)D18(I)
END DO
DO I = 1,M
WRITE(80,*) -Z(I)
END DO
DO I = 1,M
WRITE(80,*) D18CAL(L,I)
END DO
DO I = 1,M
WRITE(80,*) -Z(I)
END DO
CLOSE (UNIT=20)
CLOSE (UNIT=40)
CLOSE (UNIT=60)
CLOSE (UNIT=80)
STOP
END

```

C

```

SUBROUTINE REGRE (Y,X,N1,N2,COEF1,COEF2,REG)
DIMENSION X(100),Y(100)
SUMY=0
SUMX=0
PROD=0
SUMC18=0
SUMCY=0
SUMCX=0
RESMED=0
RESTOT=0
CANT=N2-N1+1
DO I=N1,N2
    SUMY=SUMY+Y(I)
    SUMX=SUMX+X(I)
    PROD=PROD+Y(I)*X(I)
    SUMCX=SUMCX+X(I)**2
    SUMCY=SUMCY+Y(I)**2
END DO
DYMEDIA=SUMY/CANT
DXMEDIA=SUMX/CANT
B0=DYMEDIA
B1=(PROD-SUMY*SUMX/CANT)/(SUMCX-(SUMX**2)/CANT)
COEF1=B0-B1*DXMEDIA
COEF2=B1
DO I=N1,N2
    RESMED=RESMED+(Y(I)-DYMEDIA)**2
    RESTOT=RESTOT+(ABS(Y(I)-(COEF1+COEF2*X(I))))**2
END DO
REG=(RESMED-RESTOT)/RESMED
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE COMPARAR (D,DCAL,J,N1,N2,FIT,VZA)
DIMENSION D(100), DCAL(10,100), VALOR(100)
SUMA=0
VZA2=0
DO I=N1,N2
    VALOR(I)=ABS(DCAL(J,I)-D(I))
    SUMA=SUMA+VALOR(I)
END DO
FIT=SUMA/(N2-N1+1)
DO I=N1,N2

```

```
VZA2=VZA2+(ABS(VALOR(1)-FIT))*2  
END DO  
VZA=SQRT(VZA2/(N2-N1+1))  
RETURN  
END
```

C

```
SUBROUTINE CURVA (D2RES,D2EF,FUNZ2,Z12,D18RES,D18EF,Z118,  
1 SUB2,M,J,D2CAL,D18CAL)  
DIMENSION FUNZ2(100), D2CAL(10,100), D18CAL(10,100)  
J=J+1  
DO I=SUB2-1,M  
    D2CAL(J,I)=D2RES+(D2EF-D2RES)*EXP(-FUNZ2(I)/Z12)  
    D18CAL(J,I)=D18RES+(D18EF-D18RES)*EXP(-FUNZ2(I)/Z118)  
END DO  
RETURN  
END
```

ANEXO 2.

DATOS DE ENTRADA DEL EJEMPLO SC3.

29

0.05	0.0220	0.35	-59.40	-7.40	11.0	0.35
0.10	0.0220	0.35	-36.50	3.90	11.0	0.35
0.20	0.0220	0.35	-33.00	4.70	13.0	0.35
0.30	0.0220	0.75	-53.10	-0.40	15.0	0.35
0.50	0.0220	0.75	-38.90	7.20	17.0	0.35
0.65	0.0220	0.85	-22.40	13.30	18.0	0.35
0.80	0.0220	0.85	-20.00	13.80	18.0	0.35
1.00	0.0220	0.99	-17.70	14.10	20.0	0.35
1.20	0.0430	0.99	-19.40	12.30	21.0	0.35
1.30	0.0430	0.99	-19.60	11.90	23.5	0.35
1.35	0.0430	0.99	-13.20	13.20	24.0	0.35
1.40	0.0430	0.99	-18.00	11.50	23.5	0.35
1.42	0.0430	0.99	-24.90	9.80	24.5	0.35
1.55	0.0430	0.99	-20.20	10.70	24.5	0.35
1.57	0.0430	0.99	-21.70	9.70	24.0	0.35
1.70	0.0430	0.99	-21.40	9.80	24.0	0.35
1.85	0.0430	0.99	-21.70	8.50	24.5	0.35
2.00	0.0430	0.99	-23.60	8.90	25.0	0.35
2.30	0.0430	0.99	-25.50	7.10	25.0	0.35
2.45	0.0430	0.99	-27.80	6.00	25.0	0.35
2.70	0.0430	0.99	-30.40	4.80	26.0	0.35
3.00	0.0430	0.99	-34.90	3.30	25.5	0.35
3.30	0.0430	0.99	-32.90	3.10	25.0	0.35
3.60	0.0430	0.99	-35.60	1.80	25.5	0.35
4.00	0.0430	0.99	-40.00	0.60	25.0	0.35
4.45	0.0430	0.99	-36.80	1.80	23.5	0.35
4.70	0.0430	0.99	-43.20	0.30	23.5	0.35
5.15	0.0430	0.99	-44.70	-0.50	24.0	0.35
5.45	0.0430	0.99	-45.10	-0.40	25.0	0.35
1.0						
6.0						
25.0						
0.67						
1000.0						
0.35						
-112.6						
-15.1						
0.67						
0						

ANEXO 3.

RESULTADOS DEL EJEMPLO SC3

EJEMPLO SC3 A PARTIR DEL PROGRAMA TRNUEVO1
 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 29

Z(M) W(%) H DEUT. O-18 T(°C) POR

Z(M)	W(%)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	POR
0.05	.0220	.35	-59.40	-7.40	11.00	.35
0.10	.0220	.35	-36.50	3.90	11.00	.35
0.20	.0220	.35	-33.00	4.70	13.00	.35
0.30	.0220	.75	-53.10	-0.40	15.00	.35
0.50	.0220	.75	-38.90	7.20	17.00	.35
0.65	.0220	.85	-22.40	13.30	18.00	.35
0.80	.0220	.85	-20.00	13.80	18.00	.35
1.00	.0220	.99	-17.70	14.10	20.00	.35
1.20	.0430	.99	-19.40	12.30	21.00	.35
1.30	.0430	.99	-19.60	11.90	23.50	.35
1.35	.0430	.99	-13.20	13.20	24.00	.35
1.40	.0430	.99	-18.00	11.50	23.50	.35
1.42	.0430	.99	-24.90	9.80	24.50	.35
1.55	.0430	.99	-20.20	10.70	24.50	.35
1.57	.0430	.99	-21.70	9.70	24.00	.35
1.70	.0430	.99	-21.40	9.80	24.00	.35
1.85	.0430	.99	-21.70	8.50	24.50	.35
2.00	.0430	.99	-23.60	8.90	25.00	.35
2.30	.0430	.99	-25.50	7.10	25.00	.35
2.45	.0430	.99	-27.80	6.00	25.00	.35
2.70	.0430	.99	-30.40	4.80	26.00	.35
3.00	.0430	.99	-34.90	3.30	25.50	.35
3.30	.0430	.99	-32.90	3.10	25.00	.35
3.60	.0430	.99	-35.60	1.80	25.50	.35
4.00	.0430	.99	-40.00	0.60	25.00	.35
4.45	.0430	.99	-36.80	1.80	23.50	.35
4.70	.0430	.99	-43.20	0.30	23.50	.35
5.15	.0430	.99	-44.70	-0.50	24.00	.35
5.45	.0430	.99	-45.10	-0.40	25.00	.35

FRENTE DE EVAPORACION: 1.00 M
 NIVEL PIEZOMETRICO: 6.00 M
 TEMPERATURA: 25.00 °C
 TORTUOSIDAD: .67
 DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³
 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .35

DELTA D-2 EN EL AIRE : -112.6000
 DELTA O-18 EN EL AIRE: -15.10000
 EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 0.6700000
 NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA
 SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18
 EN LA FASE VAPOR ES LA SIGUIENTE

$$D2 = -46.91 + 1.98 \times D18$$

85

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
 REG = 0.9370

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18

$$D2 = -41.53 + 2.02 \times D18$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
REG = 0.9623

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN EL AGUA METEORICA ES LA SIGUIENTE

$$D2M = 10.00 + 8.00 \times D18M$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
REGM = 1.0000

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

$$D2RES = -58.97$$

$$D18RES = -8.62$$

LAS EVAPORACIONES CALCULADAS EN EL PERFIL DE VAPOR SON LAS SIGUIENTES PARA EL PERFIL DEL DEUTERIO:

$$EVAPORACION = 0.98E-09 \text{ M/S}$$

$$EVAPORACION = 30.8949 \text{ MM/A}$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES : 0.5583353
EL FRENTE DE EVAPORACION CALCULADO ES : 4.7166765E-02

PARA EL PERFIL DEL OXIGENO-18:
EVAPORACION = 0.18E-09 M/S

$$EVAPORACION = 5.7064 \text{ MM/A}$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES : 0.8378780
EL FRENTE DE EVAPORACION CALCULADO ES : 0.2553652

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

$$EVAPORACION = 0.61E-10 \text{ M/S}$$

$$EVAPORACION = 1.9335 \text{ MM/A}$$

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 1.028235 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	Z1	E (M/S)
1.20	-0.042	0.090	1.442	0.41E-10
1.30	-0.047	0.129	1.442	0.44E-10
1.35	0.103	0.148	1.442	0.44E-10

1.40	-0.007	0.167	1.442	0.44E-10
1.42	-0.192	0.175	1.442	0.45E-10
1.55	-0.062	0.223	1.442	0.45E-10
1.57	-0.102	0.231	1.442	0.44E-10
1.70	-0.094	0.280	1.442	0.44E-10
1.85	-0.102	0.337	1.442	0.45E-10
2.00	-0.154	0.392	1.442	0.45E-10
2.30	-0.209	0.504	1.442	0.45E-10
2.45	-0.281	0.559	1.442	0.45E-10
2.70	-0.368	0.651	1.442	0.46E-10
3.00	-0.539	0.760	1.442	0.46E-10
3.30	-0.459	0.871	1.442	0.45E-10
3.60	-0.569	0.981	1.442	0.46E-10
4.00	-0.777	1.129	1.442	0.45E-10
4.45	-0.621	1.298	1.442	0.44E-10
4.70	-0.962	1.394	1.442	0.44E-10
5.15	-1.062	1.565	1.442	0.44E-10
5.45	-1.090	1.678	1.442	0.45E-10

LA RECTA QUE RESULTA ES:

$$\text{LOG}(-) = 0.0841 + -0.6933 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$C. \text{ REG.} = 0.95422$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.45E-10 \text{ M/S}$$

$$\text{EVAPORACION} = 1.409058 \text{ MM/A}$$

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 2795117. DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA
DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	Z1	E (M/S)
1.20	-0.083	0.090	1.558	0.39E-10
1.30	-0.102	0.129	1.558	0.41E-10
1.35	-0.040	0.148	1.558	0.42E-10
1.40	-0.122	0.167	1.558	0.41E-10
1.42	-0.210	0.175	1.558	0.42E-10
1.55	-0.162	0.223	1.558	0.42E-10
1.57	-0.215	0.231	1.558	0.42E-10
1.70	-0.210	0.280	1.558	0.42E-10
1.85	-0.283	0.337	1.558	0.42E-10
2.00	-0.260	0.392	1.558	0.43E-10
2.30	-0.368	0.504	1.558	0.43E-10
2.45	-0.441	0.559	1.558	0.43E-10
2.70	-0.526	0.651	1.558	0.44E-10
3.00	-0.645	0.760	1.558	0.43E-10
3.30	-0.662	0.871	1.558	0.43E-10
3.60	-0.779	0.981	1.558	0.43E-10
4.00	-0.902	1.129	1.558	0.43E-10
4.45	-0.779	1.298	1.558	0.41E-10
4.70	-0.935	1.394	1.558	0.41E-10

5.15	-1.029	1.565	1.558	0.42E-10
5.45	-1.017	1.678	1.558	0.43E-10

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:

$$\text{LOG}(-) = -0.0508 + -0.6418 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:

$$\text{C. REG.} = 0.96079$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.42\text{E-}10 \text{ M/S}$$

$$\text{EVAPORACION} = 1.320621 \text{ MM/A}$$

 EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 3225344. DIAS

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE VAPOR SON:

COTA	DEUTERIO	OXIGENO-18
5.0000001E-02	-83.73922	-13.52536
0.1000000	-76.10823	-12.53861
0.2000000	-71.00297	-11.44220
0.3000000	-69.03557	-10.84701
0.5000000	-67.34752	-10.21680
0.6500000	-66.73756	-9.954207
0.8000000	-66.34930	-9.775646
1.0000000	-66.00832	-9.610820

EL ERROR MEDIO Y LA VARIANZA DEL ERROR COMETIDO EN LOS PERFILES ES :

EN LA FASE VAPOR :

EN EL DEUTERIO : 35.66609 EN EL OXIGENO-18: 17.13883

VARIANZA DEUTERIO: 10.83889 VARIANZA O-18: 6.017260

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:

COTA	DEUTERIO	OXIGENO-18
1.000000	-17.70000	14.10000
1.200000	-20.18615	12.83011
1.300000	-21.22937	12.29546
1.350000	-21.72407	12.04154
1.400000	-22.21229	11.79070
1.420000	-22.40476	11.69175
1.550000	-23.61861	11.06677
1.570000	-23.80273	10.97184
1.700000	-24.98248	10.36265
1.850000	-26.28781	9.686776
2.000000	-27.52996	9.041745
2.300000	-29.86245	7.825334
2.450000	-30.96297	7.248912
2.700000	-32.68784	6.342057
3.000000	-34.60815	5.327211
3.300000	-36.40635	4.371494
3.600000	-38.07182	3.481261
4.000000	-40.10280	2.388436
4.450000	-42.19451	1.253730
4.700000	-43.27105	0.6656885

5.150000	-45.02887	-0.3010559		
5.450000	-46.07382	-0.8799944		
EN LA FASE LIQUIDA :				
EN EL DEUTERIO :	2.772526		EN EL OXIGENO-18:	0.9367554
VARIANZA DEUTERIO:	2.033581		VARIANZA O-18:	0.5947989
EN EL PERFIL TOTAL :				
EN EL DEUTERIO :	10.18081		EN EL OXIGENO-18:	4.588680
VARIANZA DEUTERIO:	14.41404		VARIANZA O-18:	7.174204

ANEXO 4.

FICHERO DE RESULTADOS DEL EJEMPLO BARNES.

EJEMPLO BARNES A PARTIR DEL PROGRAMA TRNUEVO1
 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 21

Z(M)	W(Z)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	POR
0.00	.0500	.15	-20.00	-7.40	14.00	.35
0.05	.0500	.25	40.00	3.90	14.00	.35
0.10	.0510	.99	59.00	4.70	15.00	.35
0.15	.0520	.99	37.00	-0.40	15.00	.35
0.20	.0530	.99	20.00	7.20	15.00	.35
0.25	.0540	.99	4.00	13.30	16.00	.35
0.30	.0550	.99	-2.00	13.80	16.00	.35
0.35	.0560	.99	-8.00	14.10	16.00	.35
0.40	.0570	.99	-12.00	12.30	16.00	.35
0.45	.0580	.99	-15.00	11.90	17.00	.35
0.50	.0590	.99	-17.00	13.20	17.00	.35
0.55	.0600	.99	-18.00	11.50	17.00	.35
0.60	.0610	.99	-18.50	9.80	17.00	.35
0.65	.0620	.99	-19.00	10.70	18.00	.35
0.70	.0630	.99	-19.50	9.70	18.00	.35
0.75	.0640	.99	-19.55	9.80	18.00	.35
0.80	.0650	.99	-19.57	8.50	18.00	.35
0.85	.0660	.99	-19.62	8.90	19.00	.35
0.90	.0670	.99	-19.70	7.10	19.00	.35
0.95	.0680	.99	-19.75	6.50	19.00	.35
1.00	.0690	.99	-19.85	6.00	20.00	.35

FRENTE DE EVAPORACION: 0.10 M

IVEL PIEZOMETRICO: 0.75 M

TEMPERATURA: 20.00 °C

TORTUOSIDAD: .67

DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .35

DELTA D-2 EN EL AIRE : -100.0000

DELTA O-18 EN EL AIRE: -14.00000

EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 1.000000

NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA

SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: $D_2 = 10 + 8 * D_{18}$

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN LA FASE VAPOR ES LA SIGUIENTE

$$D_2 = 27.82 + 5.90 \times D_{18}$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$REG = 0.9198$$

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE

$$D_2 = 7.89 + -1.89 \times D_{18}$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$REG = 0.1799$$

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

D2RES = -20.00
D18RES = -4.00

LAS EVAPORACIONES CALCULADAS EN EL PERFIL DE VAPOR SON LAS SIGUIENTES
PARA EL PERFIL DEL DEUTERIO:
EVAPORACION = 0.26E-07 M/S

EVAPORACION = 811.0048 MM/A

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES : 0.9847825
EL FRENTE DE EVAPORACION CALCULADO ES : 1.5001976E-03

PARA EL PERFIL DEL OXIGENO-18:
EVAPORACION = 0.11E-07 M/S

EVAPORACION = 360.9104 MM/A

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES : 0.9998356
EL FRENTE DE EVAPORACION CALCULADO ES : 3.3711072E-03

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION
EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

EVAPORACION = 0.40E-10 M/S

EVAPORACION = 1.2681 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 1.383612 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN
LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.15	-0.326	0.030	0.069	0.10E-08
0.20	-0.681	0.060	0.069	0.10E-08
0.25	-1.191	0.090	0.069	0.11E-08
0.30	-1.479	0.119	0.069	0.11E-08
0.35	-1.885	0.148	0.069	0.11E-08
0.40	-2.290	0.177	0.069	0.11E-08
0.45	-2.760	0.205	0.069	0.11E-08
0.50	-3.271	0.232	0.069	0.11E-08
0.55	-3.676	0.260	0.069	0.11E-08
0.60	-3.964	0.287	0.069	0.11E-08
0.65	-4.369	0.314	0.069	0.11E-08
0.70	-5.063	0.340	0.069	0.11E-08
0.75	-5.168	0.366	0.069	0.11E-08
0.80	-5.213	0.392	0.069	0.11E-08

LA RECTA QUE RESULTA ES:

LOG(-) = 0.1680 + -14.4609 * F(Z)

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

C. REG. = 0.99383

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:
EVAPORACION = 0.11E-08 M/S

EVAPORACION = 34.23571 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 4034.905 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA
DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	Z1	E (M/S)
0.15	-0.882	0.030	-0.887	-.82E-10
0.20	0.253	0.060	-0.887	-.82E-10
0.25	0.687	0.090	-0.887	-.84E-10
0.30	0.716	0.119	-0.887	-.84E-10
0.35	0.733	0.148	-0.887	-.84E-10
0.40	0.628	0.177	-0.887	-.84E-10
0.45	0.603	0.205	-0.887	-.87E-10
0.50	0.682	0.232	-0.887	-.87E-10
0.55	0.578	0.260	-0.887	-.87E-10
0.60	0.461	0.287	-0.887	-.87E-10
0.65	0.525	0.314	-0.887	-.89E-10
0.70	0.454	0.340	-0.887	-.89E-10
0.75	0.461	0.366	-0.887	-.89E-10
0.80	0.362	0.392	-0.887	-.89E-10

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:
LOG(-) = 0.2039 + 1.1272 * F(Z)

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:
C. REG. = 0.10367

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:
EVAPORACION = -.86E-10 M/S

EVAPORACION = -2.709191 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 654633.6 DIAS

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN LA ZONA SATURADA DEL DEUTERIO ES:
EVAPORACION = 0.22E-08 M/S

EVAPORACION = 68.24728 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 1101.721 DIAS
LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN LA ZONA SATURADA DEL OXIGENO-18 ES:
EVAPORACION = 0.32E-09 M/S

ANEXO 5.

**FICHERO DE RESULTADOS DE LOS PERFILES
DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA I DUNAS,
DEL MES DE JUNIO - 89.**

EJEMPLO PERFIL A PARTIR DEL PROGRAMA TENUEVO1
 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 32

Z(M) W(%) H DEUT. O-18 T(°C) POR

Z(M)	W(%)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	POR
0.15	.0100	.99	-15.60	4.95	25.00	.30
0.20	.0130	.99	-23.60	2.45	25.00	.30
0.25	.0330	.99	-28.20	0.12	25.00	.30
0.30	.0550	.99	-30.40	-1.90	25.00	.30
0.35	.0770	.99	-38.40	-3.62	25.00	.30
0.44	.1300	.99	-33.80	-4.19	25.00	.30
0.45	.1300	.99	-38.90	-4.38	25.00	.30
0.50	.1500	.99	-36.40	-4.35	25.00	.30
0.55	.1500	.99	-32.50	-4.25	25.00	.30
0.60	.1500	.99	-36.10	-4.37	25.00	.30
0.70	.1700	.99	-29.20	-4.68	25.00	.30
0.80	.1700	.99	-34.10	-4.38	25.00	.30
0.90	.1700	.99	-28.30	-4.24	25.00	.30
1.00	.1700	.99	-28.50	-4.17	25.00	.30
1.20	.1800	.99	-26.20	-3.74	25.00	.30
1.40	.1800	.99	-27.90	-4.00	25.00	.30
1.70	.1900	.99	-32.60	-3.69	25.00	.30
2.10	.1900	.99	-29.90	-4.07	25.00	.30
2.30	.1900	.99	-34.40	-4.63	25.00	.30
2.50	.2000	.99	-28.20	-4.82	25.00	.30
2.70	.2000	.99	-28.10	-4.61	25.00	.30
2.90	.2000	.99	-35.30	-4.30	25.00	.30
3.40	.2000	.99	-29.40	-3.40	25.00	.30
3.90	.2100	.99	-29.20	-3.51	25.00	.30
4.45	.2100	.99	-10.40	-4.77	25.00	.30
4.90	.2100	.99	-19.40	-2.97	25.00	.30
5.40	.2100	.99	-23.20	-3.16	25.00	.30
5.80	.2100	.99	-21.30	-3.42	25.00	.30
5.90	.2100	.99	-26.10	-3.71	25.00	.30
6.10	.2100	.99	-24.60	-3.99	25.00	.30
6.60	.2100	.99	-26.40	-4.28	25.00	.30
6.70	.2300	.99	-25.00	-4.28	25.00	.30

FRONTE DE EVAPORACION: 0.01 M
 NIVEL PIEZOMETRICO: 15.00 M
 TEMPERATURA: 25.00 °C
 TORTUOSIDAD: .67
 DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³
 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .35

DELTA D-2 EN EL AIRE: -21.20000
 DELTA O-18 EN EL AIRE: -4.860000
 EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 1.000000
 NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA
 SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE

$$D2 = -24.52 + 1.17 \times D18$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
 REG = 0.1537

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18
EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

D2RES = -39.00
D18RES = -4.85

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION
EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

EVAPORACION = 0.12E-07 M/S
EVAPORACION = 391.8547 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 372668.6 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN
LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.20	-0.418	0.105	-3.284	0.78E-10
0.25	-0.773	0.200	-3.284	0.78E-10
0.30	-1.001	0.281	-3.284	0.78E-10
0.35	-3.664	0.350	-3.284	0.78E-10
0.44	-1.504	0.453	-3.284	0.78E-10
0.45	-5.455	0.462	-3.284	0.78E-10
0.50	-2.197	0.510	-3.284	0.78E-10
0.55	-1.281	0.555	-3.284	0.78E-10
0.60	-2.088	0.600	-3.284	0.78E-10
0.70	-0.870	0.687	-3.284	0.78E-10
0.80	-1.564	0.771	-3.284	0.78E-10
0.90	-0.782	0.854	-3.284	0.78E-10
1.00	-0.801	0.938	-3.284	0.78E-10
1.20	-0.603	1.102	-3.284	0.78E-10
1.40	-0.746	1.263	-3.284	0.78E-10
1.70	-1.296	1.501	-3.284	0.78E-10
2.10	-0.944	1.812	-3.284	0.78E-10
2.30	-1.627	1.967	-3.284	0.78E-10
2.50	-0.773	2.120	-3.284	0.78E-10
2.70	-0.764	2.270	-3.284	0.78E-10
2.90	-1.844	2.420	-3.284	0.78E-10
3.40	-0.891	2.795	-3.284	0.78E-10
3.90	-0.870	3.165	-3.284	0.78E-10
4.45	0.201	3.564	-3.284	0.78E-10
4.90	-0.177	3.891	-3.284	0.78E-10
5.40	-0.393	4.254	-3.284	0.78E-10
5.80	-0.279	4.544	-3.284	0.78E-10
5.90	-0.596	4.617	-3.284	0.78E-10
6.10	-0.486	4.762	-3.284	0.78E-10
6.60	-0.619	5.125	-3.284	0.78E-10
6.70	-0.514	5.195	-3.284	0.78E-10

LA RECTA QUE RESULTA ES:
LOG(-) = -1.7692 + 0.0045 * F(Z)

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
C. REG. = 0.22296

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:
EVAPORACION = 0.78E-10 M/S

EVAPORACION = 2.455992 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 871456.5 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA
DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COTA (M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.20	-0.295	0.105	19.500	0.13E-10
0.25	-0.679	0.200	19.500	0.13E-10
0.30	-1.201	0.281	19.500	0.13E-10
0.35	-2.075	0.350	19.500	0.13E-10
0.44	-2.698	0.453	19.500	0.13E-10
0.45	-3.037	0.462	19.500	0.13E-10
0.50	-2.976	0.510	19.500	0.13E-10
0.55	-2.793	0.555	19.500	0.13E-10
0.60	-3.016	0.600	19.500	0.13E-10
0.70	-4.054	0.687	19.500	0.13E-10
0.80	-3.037	0.771	19.500	0.13E-10
0.90	-2.777	0.854	19.500	0.13E-10
1.00	-2.668	0.938	19.500	0.13E-10
1.20	-2.178	1.102	19.500	0.13E-10
1.40	-2.445	1.263	19.500	0.13E-10
1.70	-2.134	1.501	19.500	0.13E-10
2.10	-2.531	1.812	19.500	0.13E-10
2.30	-3.797	1.967	19.500	0.13E-10
2.50	-5.789	2.120	19.500	0.13E-10
2.70	-3.709	2.270	19.500	0.13E-10
2.90	-2.880	2.420	19.500	0.13E-10
3.40	-1.911	2.795	19.500	0.13E-10
3.90	-1.990	3.165	19.500	0.13E-10
4.45	-4.808	3.584	19.500	0.13E-10
4.90	-1.651	3.891	19.500	0.13E-10
5.40	-1.758	4.254	19.500	0.13E-10
5.80	-1.925	4.544	19.500	0.13E-10
5.90	-2.151	4.617	19.500	0.13E-10
6.10	-2.433	4.762	19.500	0.13E-10
6.60	-2.845	5.125	19.500	0.13E-10
6.70	-2.862	5.195	19.500	0.13E-10

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:
LOG(-) = -2.5118 + -0.0513 * F(Z)

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:
C. REG. = 0.00628

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:
EVAPORACION = 0.13E-10 M/S

EVAPORACION = 0.4186719 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 3.0357872E+07 DIAS

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:

COTA	DEUTERIO	OXIGENO-18
0.1500000	-15.60000	0.0000000E+00
0.2000000	-16.33542	-2.6009560E-02
0.2500000	-16.98306	-4.9502850E-02
0.3000000	-17.51687	-6.9302559E-02
0.3500000	-17.96597	-8.6280346E-02
0.4400000	-18.61233	-0.1112518
0.4500000	-18.67344	-0.1136465
0.5000000	-18.96390	-0.1251125
0.5500000	-19.23804	-0.1360607
0.6000000	-19.50843	-0.1469841
0.7000000	-20.01833	-0.1679311
0.8000000	-20.49556	-0.1879640
0.9000000	-20.96080	-0.2079115
1.0000000	-21.41433	-0.2277732
1.2000000	-22.27192	-0.2665243
1.4000000	-23.07288	-0.3042383
1.7000000	-24.18378	-0.3592477
2.1000000	-25.52209	-0.4302716
2.3000000	-26.14521	-0.4653611
2.5000000	-26.72963	-0.4995818
2.7000000	-27.27804	-0.5329494
2.9000000	-27.80194	-0.5660610
3.4000000	-29.01152	-0.6477337
3.9000000	-30.07366	-0.7265420
4.4500000	-31.09568	-0.8101172
4.9000000	-31.84422	-0.8772352
5.4000000	-32.59309	-0.9505036
5.8000000	-33.13536	-1.008144
5.9000000	-33.26360	-1.022421
6.1000000	-33.51171	-1.050815
6.6000000	-34.08608	-1.120882
6.7000000	-34.19024	-1.134312

EN LA FASE LIQUIDA :

EN EL DEUTERIO :	9.673877	EN EL OXIGENO-18:	3.360721
VARIANZA DEUTERIO:	5.599600	VARIANZA O-18:	0.0430427
EN EL PERFIL TOTAL :			
EN EL DEUTERIO :	9.371568	EN EL OXIGENO-18:	3.410386
VARIANZA DEUTERIO:	5.762704	VARIANZA O-18:	0.9685054

ANEXO 6.

**FICHERO DE RESULTADOS DE LA PARTE SUPERIOR
DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA
I DUNAS, DEL MES DE JUNIO - 89.**

EJEMPLO PERJN2 A PARTIR DEL PROGRAMA TRNUEVO1
 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 24

Z(M) W(%) H DEUT. O-18 T(°C) FOR

Z(M)	W(%)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	FOR
0.15	.0100	.99	-15.60	4.95	25.00	.30
0.20	.0130	.99	-23.60	2.45	25.00	.30
0.25	.0330	.99	-28.20	0.12	25.00	.30
0.30	.0550	.99	-30.40	-1.90	25.00	.30
0.35	.0770	.99	-38.40	-3.62	25.00	.30
0.44	.1300	.99	-33.80	-4.19	25.00	.30
0.45	.1300	.99	-38.90	-4.38	25.00	.30
0.50	.1500	.99	-36.40	-4.35	25.00	.30
0.55	.1500	.99	-32.50	-4.25	25.00	.30
0.60	.1500	.99	-36.10	-4.37	25.00	.30
0.70	.1700	.99	-29.20	-4.68	25.00	.30
0.80	.1700	.99	-34.10	-4.38	25.00	.30
0.90	.1700	.99	-28.30	-4.24	25.00	.30
1.00	.1700	.99	-28.50	-4.17	25.00	.30
1.20	.1800	.99	-26.20	-3.74	25.00	.30
1.40	.1800	.99	-27.90	-4.00	25.00	.30
1.70	.1900	.99	-32.60	-3.69	25.00	.30
2.10	.1900	.99	-29.90	-4.07	25.00	.30
2.30	.1900	.99	-34.40	-4.63	25.00	.30
2.50	.2000	.99	-28.20	-4.82	25.00	.30
2.70	.2000	.99	-28.10	-4.61	25.00	.30
2.90	.2000	.99	-35.30	-4.30	25.00	.30
3.40	.2000	.99	-29.40	-3.40	25.00	.30
3.90	.2100	.99	-29.20	-3.51	25.00	.30

FRONTE DE EVAPORACION: 0.01 M

NIVEL PIEZOMETRICO: 15.00 M

TEMPERATURA: 25.00 °C

TORTUOSIDAD: .67

DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .35

DELTA D-2 EN EL AIRE : -21.20000

DELTA O-18 EN EL AIRE: -4.860000

EXONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 1.000000

NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA

SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE

$$D2 = -25.82 + 1.48 \times D18$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$REG = 0.4930$$

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

$$D2RES = -39.00$$

$$D18RES = -4.85$$

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION

EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

EVAPORACION = 0.12E-07 M/S

EVAPORACION = 391.8547 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 372668.6 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN
LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.20	-0.418	0.095	-2.726	0.85E-10
0.25	-0.773	0.182	-2.726	0.85E-10
0.30	-1.001	0.255	-2.726	0.85E-10
0.35	-3.664	0.318	-2.726	0.85E-10
0.44	-1.504	0.411	-2.726	0.85E-10
0.45	-5.455	0.420	-2.726	0.85E-10
0.50	-2.197	0.463	-2.726	0.85E-10
0.55	-1.281	0.504	-2.726	0.85E-10
0.60	-2.088	0.545	-2.726	0.85E-10
0.70	-0.870	0.624	-2.726	0.85E-10
0.80	-1.564	0.700	-2.726	0.85E-10
0.90	-0.782	0.776	-2.726	0.85E-10
1.00	-0.801	0.852	-2.726	0.85E-10
1.20	-0.603	1.001	-2.726	0.85E-10
1.40	-0.746	1.147	-2.726	0.85E-10
1.70	-1.296	1.362	-2.726	0.85E-10
2.10	-0.944	1.645	-2.726	0.85E-10
2.30	-1.627	1.786	-2.726	0.85E-10
2.50	-0.773	1.925	-2.726	0.85E-10
2.70	-0.764	2.061	-2.726	0.85E-10
2.90	-1.844	2.197	-2.726	0.85E-10
3.40	-0.891	2.538	-2.726	0.85E-10
3.90	-0.870	2.873	-2.726	0.85E-10

LA RECTA QUE RESULTA ES:

LOG(-) = -1.8179 + 0.3669 * F(Z)

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

C. REG. = 0.06983

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

EVAPORACION = 0.85E-10 M/S

EVAPORACION = 2.686163 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 728508.7 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA

DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COIA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.20	-0.295	0.095	2.269	0.10E-09
0.25	-0.679	0.182	2.269	0.10E-09
0.30	-1.201	0.255	2.269	0.10E-09
0.35	-2.075	0.318	2.269	0.10E-09
0.44	-2.698	0.411	2.269	0.10E-09
0.45	-3.037	0.420	2.269	0.10E-09
0.50	-2.976	0.463	2.269	0.10E-09
0.55	-2.793	0.504	2.269	0.10E-09
0.60	-3.016	0.545	2.269	0.10E-09
0.70	-4.054	0.624	2.269	0.10E-09
0.80	-3.037	0.700	2.269	0.10E-09
0.90	-2.777	0.776	2.269	0.10E-09
1.00	-2.668	0.852	2.269	0.10E-09
1.20	-2.178	1.001	2.269	0.10E-09
1.40	-2.445	1.147	2.269	0.10E-09
1.70	-2.134	1.362	2.269	0.10E-09
2.10	-2.531	1.645	2.269	0.10E-09
2.30	-3.797	1.786	2.269	0.10E-09
2.50	-5.789	1.925	2.269	0.10E-09
2.70	-3.709	2.061	2.269	0.10E-09
2.90	-2.880	2.197	2.269	0.10E-09
3.40	-1.911	2.538	2.269	0.10E-09
3.90	-1.990	2.873	2.269	0.10E-09

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:
 $\text{LOG}(-) = -2.1650 + -0.4407 * F(Z)$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:
 C. REG. = 0.10020

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:
 EVAPORACION = 0.10E-09 M/S

EVAPORACION = 3.266696 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 498656.6 DIAS

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:

COIA	DEUTERIO	OXIGENO-18
0.1500000	-15.60000	0.0000000E+00
0.2000000	-16.40314	-0.1992779
0.2500000	-17.10841	-0.3730998
0.3000000	-17.68826	-0.5151691
0.3500000	-18.17505	-0.6338415
0.4400000	-18.87395	-0.8032441
0.4500000	-18.93992	-0.8191733
0.5000000	-19.25322	-0.8946826
0.5500000	-19.54853	-0.9656348
0.6000000	-19.83943	-1.035314
0.7000000	-20.38697	-1.165899
0.8000000	-20.89818	-1.287106
0.9000000	-21.39535	-1.404335

1.000000	-21.87887	-1.517706
1.200000	-22.78994	-1.729568
1.400000	-23.63690	-1.924385
1.700000	-24.80497	-2.189513
2.100000	-26.20123	-2.500691
2.300000	-26.84698	-2.642353
2.500000	-27.44998	-2.773274
2.700000	-28.01337	-2.894362
2.900000	-28.54928	-3.008389
3.400000	-29.77747	-3.265211
3.900000	-30.84454	-3.482841

EN LA FASE LIQUIDA :

EN EL DEUTERIO :	8.884352	EN EL OXIGENO-18:	2.216944
VARIANZA DEUTERIO:	6.011334	VARIANZA O-18:	1.060695
EN EL PERFIL TOTAL :			
EN EL DEUTERIO :	8.514171	EN EL OXIGENO-18:	2.330821
VARIANZA DEUTERIO:	6.146727	VARIANZA O-18:	1.173227

ANEXO 7

**FICHEROS DE RESULTADOS DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS
DE LA PARCELA I DUNAS, DEL MES DE ENERO - 90.**

 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA A PARTIR DEL PROGRAMA TPNU001

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 18

Z(M) W(%) H DEUT. O-18 T(°C) POR

Z(M)	W(%)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	POR
0.15	.0100	.99	-43.90	-5.17	10.00	.30
0.30	.0700	.99	-49.50	-8.08	10.00	.30
0.45	.1500	.99	-47.30	-6.69	10.00	.30
0.60	.1700	.99	-47.90	-6.05	10.00	.30
0.75	.1900	.99	-51.20	-6.63	10.00	.30
0.90	.1900	.99	-50.00	-5.77	10.00	.30
1.05	.1900	.99	-52.40	-6.61	10.00	.30
1.20	.2000	.99	-56.20	-7.71	10.00	.30
1.35	.2000	.99	-57.50	-6.37	10.00	.30
1.50	.2000	.99	-67.60	-9.04	10.00	.30
1.80	.2000	.99	-69.40	-8.67	10.00	.30
2.10	.2100	.99	-58.70	-7.63	10.00	.30
2.40	.2100	.99	-49.70	-7.17	10.00	.30
2.70	.2200	.99	-46.10	-6.59	10.00	.30
3.30	.2200	.99	-40.00	-5.47	10.00	.30
3.90	.2300	.99	-42.30	-3.77	10.00	.30
4.20	.2300	.99	-48.50	-6.71	10.00	.30
4.50	.2400	.99	-44.70	-6.38	10.00	.30

FRENTE DE EVAPORACION: 0.01 M

NIVEL PIEZOMETRICO: 15.00 M

TEMPERATURA: 10.00 °C

TORTUOSIDAD: .67

DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .45

DELTA D-2 EN EL AIRE : -33.20000

DELTA O-18 EN EL AIRE: -5.780000

EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 1.000000

NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA

SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18

 LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18
 EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE

$$D2 = -17.48 + 5.05 \times D18$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$REG = 0.6307$$

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18
 EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

$$D2RES = -75.00$$

$$D18RES = -10.00$$

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION
 EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

$$EVAPORACION = 0.24E-08 \text{ M/S}$$

EVAPORACION = 75.0009 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 9231481. DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN
LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.30	-0.199	0.447	-10.493	0.19E-10
0.45	-0.116	0.679	-10.493	0.19E-10
0.60	-0.138	0.843	-10.493	0.19E-10
0.75	-0.268	0.993	-10.493	0.19E-10
0.90	-0.218	1.136	-10.493	0.19E-10
1.05	-0.319	1.279	-10.493	0.19E-10
1.20	-0.503	1.420	-10.493	0.19E-10
1.35	-0.575	1.557	-10.493	0.19E-10
1.50	-1.436	1.694	-10.493	0.19E-10
1.80	-1.714	1.969	-10.493	0.19E-10
2.10	-0.646	2.238	-10.493	0.19E-10
2.40	-0.206	2.502	-10.493	0.19E-10
2.70	-0.073	2.761	-10.493	0.19E-10
3.30	0.118	3.269	-10.493	0.19E-10
3.90	0.050	3.768	-10.493	0.19E-10
4.20	-0.160	4.013	-10.493	0.19E-10
4.50	-0.026	4.253	-10.493	0.19E-10

LA RECTA QUE RESULTA ES:

$$\text{LOG}(-) = -0.5734 + 0.0953 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$\text{C. REG.} = 0.05310$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.19E-10 \text{ M/S}$$

EVAPORACION = 0.5962613 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 9866638. DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA
DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.30	-0.923	0.447	-8.763	0.23E-10
0.45	-0.378	0.679	-8.763	0.23E-10
0.60	-0.201	0.843	-8.763	0.23E-10
0.75	-0.360	0.993	-8.763	0.23E-10
0.90	-0.133	1.136	-8.763	0.23E-10
1.05	-0.354	1.279	-8.763	0.23E-10
1.20	-0.746	1.420	-8.763	0.23E-10
1.35	-0.286	1.557	-8.763	0.23E-10

1.50	-1.616	1.694	-8.763	0.23E-10
1.80	-1.290	1.969	-8.763	0.23E-10
2.10	-0.712	2.238	-8.763	0.23E-10
2.40	-0.535	2.502	-8.763	0.23E-10
2.70	-0.348	2.761	-8.763	0.23E-10
3.30	-0.064	3.269	-8.763	0.23E-10
3.90	0.255	3.768	-8.763	0.23E-10
4.20	-0.384	4.013	-8.763	0.23E-10
4.50	-0.288	4.253	-8.763	0.23E-10

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:

$$\text{LOG}(-) = -0.7256 + 0.1141 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:

$$C. \text{ REG.} = 0.09069$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.23E-10 \text{ M/S}$$

$$\text{EVAPORACION} = 0.7271135 \text{ MM/A}$$

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 6757486. DIAS

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:

COTA	DEUTERIO	OXIGENO-18
0.1500000	-43.90000	0.0000000E+00
0.3000000	-45.19719	-0.4973335
0.4500000	-45.84828	-0.7453651
0.6000000	-46.30143	-0.9173470
0.7500000	-46.70818	-1.071265
0.9000000	-47.09155	-1.215936
1.0500000	-47.46972	-1.358263
1.2000000	-47.83524	-1.495461
1.3500000	-48.18847	-1.627702
1.5000000	-48.53711	-1.757886
1.8000000	-49.22085	-2.012213
2.1000000	-49.87408	-2.253954
2.4000000	-50.49824	-2.483779
2.7000000	-51.09560	-2.702656
3.3000000	-52.22545	-3.113683
3.9000000	-53.28286	-3.494731
4.2000000	-53.78371	-3.673953
4.5000000	-54.26455	-3.845232

EN LA FASE LIQUIDA :

EN EL DEUTERIO : 7.604607 EN EL OXIGENO-18: 4.769014

VARIANZA DEUTERIO: 5.494640 VARIANZA O-18: 1.838634

EN EL PERFIL TOTAL :

EN EL DEUTERIO : 7.182129 EN EL OXIGENO-18: 4.791291

VARIANZA DEUTERIO: 5.616767 VARIANZA O-18: 1.789191

ANEXO 8.

**FICHERO DE RESULTADOS DE LA PARTE SUPERIOR
DE LOS PERFILES DESTRUCTIVOS DE LA PARCELA
I DUNAS, DEL MES DE ENERO - 90.**

EJEMPLO PEREN2 A PARTIR DEL PROGRAMA TRNUEVO1
 DATOS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA

EL NUMERO DE DATOS EN ESTE PERFIL ES: 11
 Z(M) W(%) H DEUT. O-18 T(°C) POR

Z(M)	W(%)	H	DEUT.	O-18	T(°C)	POR
0.15	.0100	.99	-43.90	-5.17	10.00	.30
0.30	.0700	.99	-49.50	-8.08	10.00	.30
0.45	.1500	.99	-47.30	-6.69	10.00	.30
0.60	.1700	.99	-47.90	-6.05	10.00	.30
0.75	.1900	.99	-51.20	-6.63	10.00	.30
0.90	.1900	.99	-50.00	-5.77	10.00	.30
1.05	.1900	.99	-52.40	-6.61	10.00	.30
1.20	.2000	.99	-56.20	-7.71	10.00	.30
1.35	.2000	.99	-57.50	-6.37	10.00	.30
1.50	.2000	.99	-67.60	-9.04	10.00	.30
1.80	.2000	.99	-69.40	-8.67	10.00	.30

FRENTE DE EVAPORACION: 0.01 M
 NIVEL PIEZOMETRICO: 15.00 M
 TEMPERATURA: 10.00 °C
 TORTUOSIDAD: .67
 DENSIDAD DEL AGUA: 1000.0 KG/M³
 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE: .45

DELTA D-2 EN EL AIRE : -33.20000
 DELTA O-18 EN EL AIRE : -5.780000
 EXPONENTE DEL EXCESO DEL RATIO DE DIFUSION: 1.000000
 NO HAY DATOS DEL AGUA METEORICA
 SE TOMARA LA RELACION UNIVERSAL: D2= 10 + 8 * D18

LA RECTA DE REGRESION ENTRE LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y EL OXIGENO-18 EN LA FASE LIQUIDA ES LA SIGUIENTE

$$D2 = -16.67 + 5.33 \times D18$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:
 REG = 0.6439

LOS VALORES DELTA DEL DEUTERIO Y DEL OXIGENO-18 EN EL AGUA DE ALIMENTACION SON LOS SIGUIENTES:

D2RES = -75.00
 D18RES = -10.00

LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN M/S EN LA ZONA DE FASE VAPOR SON LOS SIGUIENTES

LA EVAPORACION RESULTANTE EN EL PERFIL ES LA SIGUIENTE:

EVAPORACION = 0.24E-08 M/S
 EVAPORACION = 75.0009 MM/A

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 9231481. DIAS

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 343852.4 DIAS

LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES EN FASE LIQUIDA SON:

COTA	DEUTERIO	OXIGENO-18
0.1500000	-43.90000	0.0000000E+00
0.3000000	-55.11609	-2.023967
0.4500000	-59.23162	-2.906325
0.6000000	-61.62310	-3.472404
0.7500000	-63.48485	-3.948720
0.9000000	-65.02155	-4.371443
1.050000	-66.35316	-4.764637
1.200000	-67.48524	-5.123191
1.350000	-68.45007	-5.450500
1.500000	-69.29102	-5.755841
1.800000	-70.66287	-6.306419
EN LA FASE LIQUIDA :		
EN EL DEUTERIO :	9.771959	EN EL OXIGENO-18: 2.749650
VARIANZA DEUTERIO:	4.798815	VARIANZA O-18: 1.359759
EN EL PERFIL TOTAL :		
EN EL DEUTERIO :	8.883599	EN EL OXIGENO-18: 2.969682
VARIANZA DEUTERIO:	5.369073	VARIANZA O-18: 1.471393

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN
LA ZONA DE FASE LIQUIDA SEGUN EL DEUTERIO

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.30	-0.199	0.403	0.901	0.20E-09
0.45	-0.116	0.612	0.901	0.20E-09
0.60	-0.138	0.760	0.901	0.20E-09
0.75	-0.268	0.895	0.901	0.20E-09
0.90	-0.218	1.024	0.901	0.20E-09
1.05	-0.319	1.153	0.901	0.20E-09
1.20	-0.503	1.279	0.901	0.20E-09
1.35	-0.575	1.403	0.901	0.20E-09
1.50	-1.436	1.527	0.901	0.20E-09
1.80	-1.714	1.774	0.901	0.20E-09

LA RECTA QUE RESULTA ES:

$$\text{LOG}(-) = 0.6538 + -1.1103 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION DE ESTA RECTA ES:

$$\text{C. REG.} = 0.70854$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.20E-09 \text{ M/S}$$

$$\text{EVAPORACION} = 6.259972 \text{ MM/A}$$

EL TIEMPO CARACTERISTICO DEL PERFIL ES: 89515.38 DIAS

RESULTADOS DEL CALCULO DE LA EVAPORACION EN LA ZONA
DE FASE LIQUIDA SEGUN EL OXIGENO-18

COTA(M)	LN (--)	F(Z)	ZI	E (M/S)
0.30	-0.923	0.403	1.781	0.10E-09
0.45	-0.378	0.612	1.781	0.10E-09
0.60	-0.201	0.760	1.781	0.10E-09
0.75	-0.360	0.895	1.781	0.10E-09
0.90	-0.133	1.024	1.781	0.10E-09
1.05	-0.354	1.153	1.781	0.10E-09
1.20	-0.746	1.279	1.781	0.10E-09
1.35	-0.286	1.403	1.781	0.10E-09
1.50	-1.616	1.527	1.781	0.10E-09
1.80	-1.290	1.774	1.781	0.10E-09

LA RECTA RESULTANTE ES LA SIGUIENTE:

$$\text{LOG}(-) = -0.0206 + -0.5613 * F(Z)$$

EL COEFICIENTE DE REGRESION ES:

$$\text{C. REG.} = 0.22902$$

LA EVAPORACION MEDIA RESULTANTE EN ESTE PERFIL ES:

$$\text{EVAPORACION} = 0.10E-09 \text{ M/S}$$

$$\text{EVAPORACION} = 3.223360 \text{ MM/A}$$