

SECADO DEL MINERAL LIMONITICO DE LOS YACIMIENTOS DE LA SIERRA MENERA
(TERUEL Y GUADALAJARA, ESPAÑA)

Fernández-Rubio, R.* Sastre, J. L.**

ABSTRACT: The iron ore mined in the "Ojos Negros" mines retains a certain quantity of moisture, despite on the spot drainage by means of pumping in boreholes. This moisture can give rise to problems in the manipulation and treatment of the ore. In this paper the percentages of the different types of water content (retention, capillary and gravity) have been studied in different hydrogeological conditions of the ore deposit: below or above the original water level; before and after drainage in the mines; and in areas exposed to the air. We describe several standardized series of experiments conducted on industrial scale. Then we analyse the effects on the moisture content of removal of the mineral, pile depth, orientation, also with respect to wind and sun radiation, atmospheric pressure, rainfall, temperature and relative humidity of the air.

RESUME: Le minéral de fer exploité dans les mines de "Ojos Negros", malgré le drainage *in situ*, au moyen de pompages en sondages, conserve un pourcentage d'humidité qui peut poser des problèmes dans leur manipulation et traitement. On étudie les pourcentages des différents types d'eau (rétention, capillaire et gravifique) dans les différentes conditions hydrogéologiques du gisement (au-dessous ou au-dessus du niveau piézométrique, avant et après le drainage *in situ*; aéré). On décrit une série d'essais d'aération à échelle industrielle et on analyse les effets sur l'humidité, en conséquence du remuement; profondeur dans la pile; localisation en ce qui concerne le vent et l'insolation; pression atmosphérique; pluie; température et humidité relative de l'air.

RESUMEN: El mineral de hierro explotado en las minas de "Ojos Negros", no obstante el drenaje *in situ*, mediante bombeos en sondeos, conserva un porcentaje de humedad que puede plantear problemas en su manipulación y tratamiento. Se estudian los porcentajes de los diferentes tipos de agua (retención, capilar y gravífica), en las distintas condiciones hidrogeológicas del yacimiento (bajo o sobre el nivel piezométrico; antes y después del drenaje; oreado). Se describen una serie de ensayos de oreo, a escala industrial, y se analizan los efectos sobre la humedad, como consecuencia del removido; profundidad en el apile; localización con respecto al viento e insolución; presión atmosférica; lluvia; temperatura y humedad relativa del aire.

* Grupo de Trabajo de Hidrogeología. Universidad de Granada. Apartado de Correos 556. Granada (España).

** Compañía Minera de Sierra Menera S. A. Ojos Negros, Teruel (España)

SIAMOS-78. Granada (España)

PLANTEAMIENTO

La Compañía Minera de Sierra Menara S. A. explota un conjunto de minas, que se localizan a cotas superiores a 1.300 m, a lo largo de la alineación montañosa, de directriz NNW-SSE, que marca la divisoria hidrológica e hidrogeológica entre la cuenca atlántica y la mediterránea, en las provincias de Teruel y Guadalajara (figura 1)

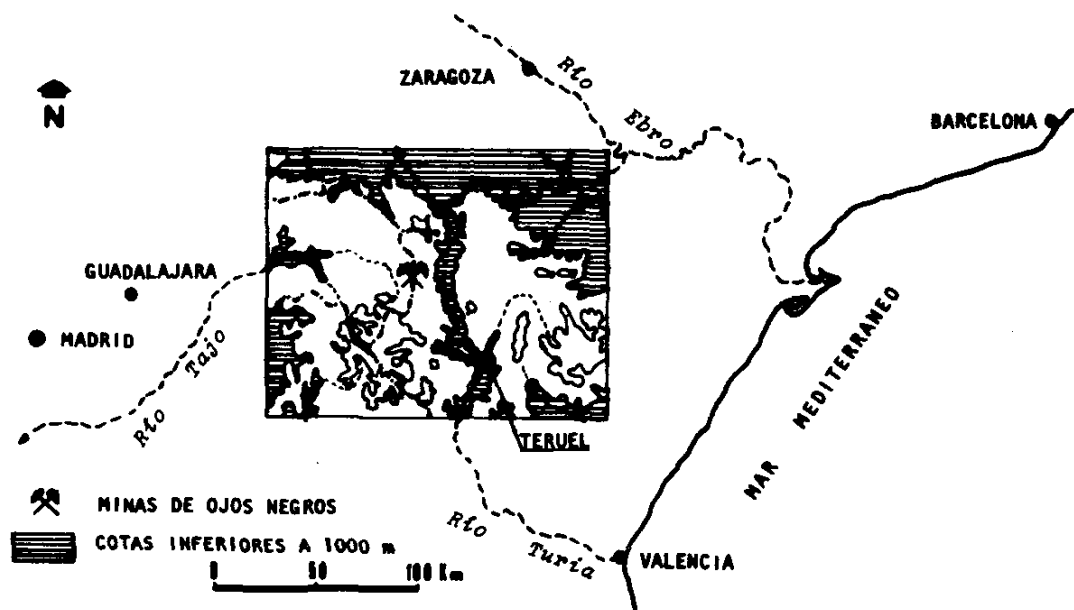


Figura 1. Plano de situación.

Estos yacimientos se ubican en el Asghillense (Ordovícico), y están constituidos, fundamentalmente, por goethita (con ley media superior al 50 % de Fe), que cambia lateralmente a arcilla o a formaciones carbonatadas (con todos los términos entre la dolomía y la magnesita). Al techo se localizan cuarzoarenitas (y localmente pizarras) del Valentiense, mientras que al muro lo hacen carbonatos y margas briozóicas, que descansan sobre areniscas y grauwas del Caradociense. El conjunto tiene a su techo pizarras del Ludlowiense-Wenlokiense, y al muro también pizarras del Llandeiliense (Figura 2).

Grandes masas de este mineral, compartimentadas por fallas, se encuentran bajo nivel piezométrico, lo que ha exigido la puesta a punto de un dispositivo de drenaje, mediante bombeos en sondeos, cuya eficacia está suficientemente contras-

SIAMOS-78. Granada (España)

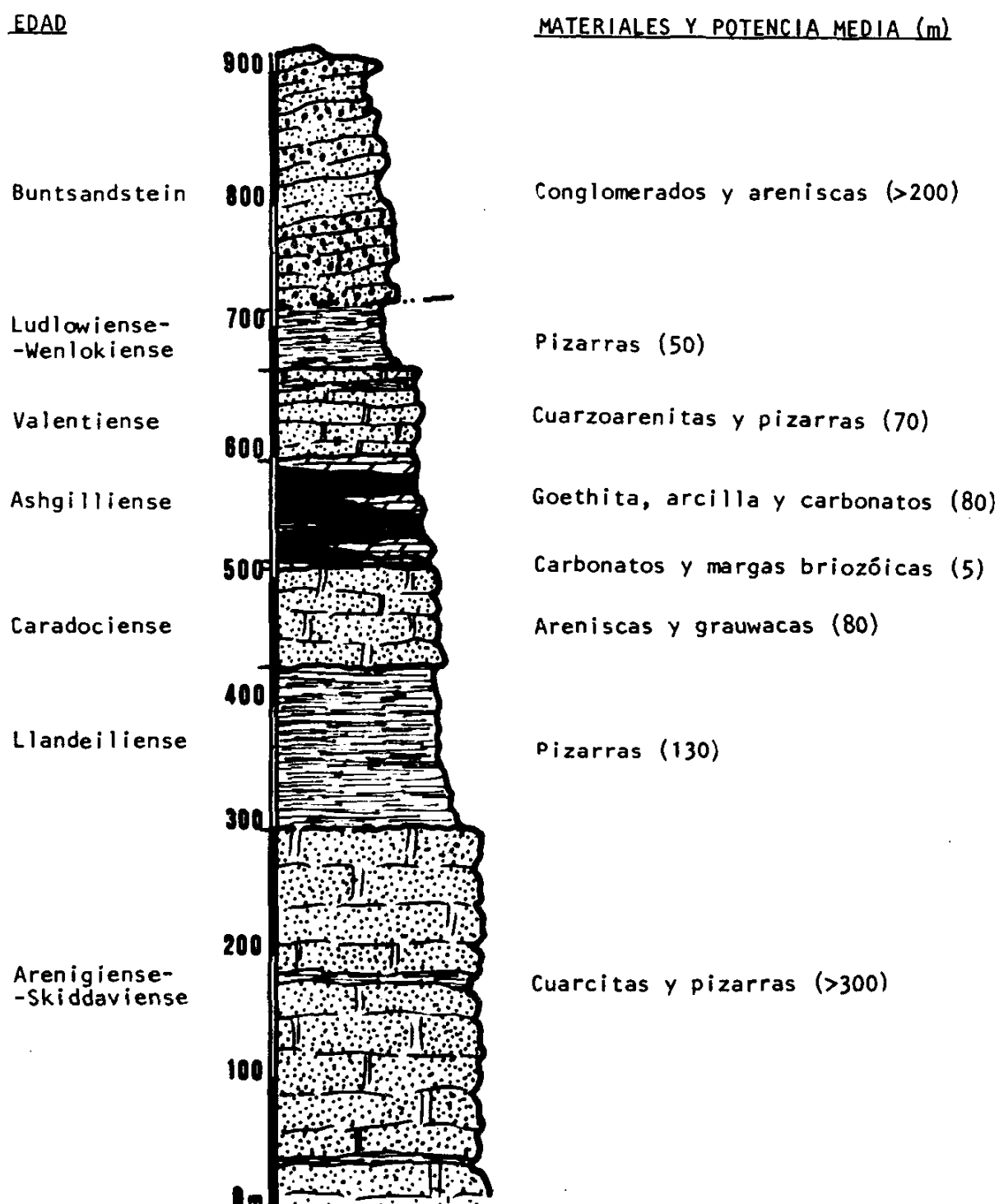


Figura 2. Columna estratigráfica

SIAMOS-78. Granada (España)

tada por varios años de explotaciones.

No obstante este drenaje, el mineral retiene un porcentaje de humedad que, cuando supera al 19 %, puede plantear problemas de manipulación en la Planta de Homogeneización y Cribado.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL MINERAL

Los hidróxidos de hierro que nos ocupan tienen textura pulverulenta, con acusada heterometría y abundancia de tamaños finos (Figura 3), de tal manera que el mineral presenta porosidad capilar y subcapilar (BOGOMOLOV, 1958), lo que condiciona una notable retención de agua en los poros, y una porosidad total muy superior a la eficaz.

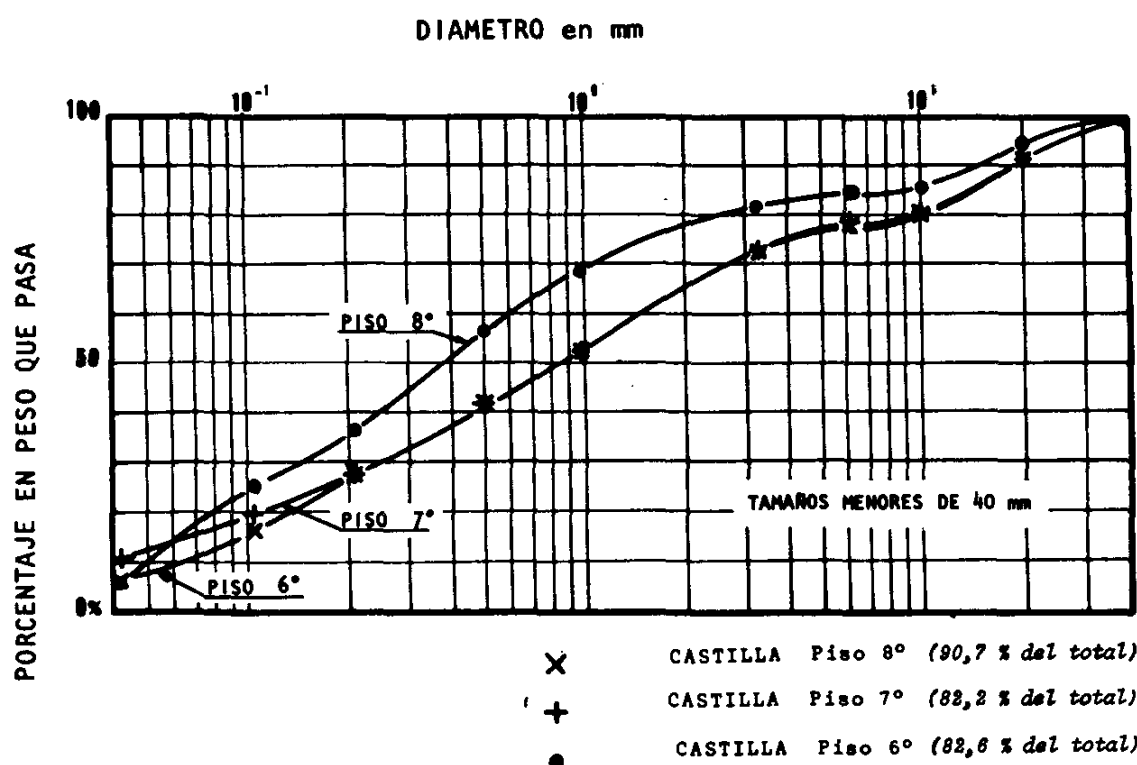


Figura 3. Curvas granulométricas acumulativas (medias de 12 muestras por curva).

Coherentes con estos datos son los resultados de los ensayos de permeabilidad, realizados *in situ*, y que han proporcionado para la conductividad hidráulica de esta goethita valores medios de 10^{-5} cm/seg (FERNANDEZ-RUBIO, 1974), los cuales

SIAMOS-78. Granada (España)

corresponden, en la clasificación de CASAGRANDE (1940), a *drenaje pobre*.

En estas condiciones, y de acuerdo con la información acumulada en las explotaciones, y las medidas que hemos realizado en laboratorio, podemos establecer el siguiente cuadro (FERNANDEZ-RUBIO, 1975):

	PORCENTAJES DE AGUA EN PESO			
Tipo de agua en la goethita	in situ bajo nivel piezométrico	in situ drenada	drenada y oreada	sobre nivel piezométrico natural
Retención	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15
Capilar	8 - 10	8 - 10	3 - 6	
Gravífica	15 - 18			
Total	33 - 43	18 - 25	13 - 21	10 - 15

El *agua de retención*, higroscópica y capilar, es beneficiosa al evitar problemas ambientales en la manipulación del mineral (formación de polvo).

Por lo que respecta al *agua capilar*, y especialmente en los minerales de grano más fino, es necesaria una desecación, para evitar los problemas que ocasiona el tratamiento del mineral (tupido de cribas y atasco de molinos).

El *agua gravífica* del mineral se consigue eliminar, en general, mediante los bombeos en sondeos de captación, ubicados en los carbonatos karstificados del Ashgillense, en contacto con el mineral (con un bombeo específico, en 1977, de 325 litros/día/tm de mineral, para una explotación de 8.000 tm/día de mineral). En todo caso, y dada la baja conductividad hidráulica de esta goethita, y la consiguiente lentitud del *goteo*, se requiere efectuar este drenaje con suficiente antelación en el tiempo, antes de la explotación.

A consecuencia de estas distintas categorías de agua, se establece una diferenciación muy neta, en las explotaciones, entre el mineral que se localiza encima del nivel piezométrico natural (*zona no saturada*), con humedad comprendida, en general, entre el 10 y el 15 %, de aquel otro mineral que se encontraba bajo dicho nivel piezométrico, y que si bien ha sido drenado por los bombeos, retiene cierta cantidad de *agua capilar*, por lo que su humedad in situ alcanza valores entre el 18 y el 25 %.

Así pues, una vez conseguida la puesta a punto del dispositivo de drenaje del *agua gravífica*, mediante los referidos bombeos desde los carbonatos, se planteaba la necesidad de reducir el *agua capilar* residual.

SIAMOS-78. Granada (Español)

ENSAYOS DE SECADO EN TROMEL

Con objeto de estudiar, desde el punto de vista técnico y económico, la posibilidad de secado del mineral en tromel, con una contracorriente de aire caliente, se realizaron siete ensayos en una planta experimental (KOERTING, 1976).

En estos ensayos, a partir de un mineral con humedad media del 20,6 %, se obtuvo un producto final con humedad del 10,8 %, lo que exigió un consumo de 970 kcal por kilo de agua evaporada.

La conclusión de estas pruebas fué negativa, debido a que el tratamiento origina un importante aumento de tamaños finos, supone un coste elevado de combustible, y la producción es reducida en comparación con el tonelaje que se debería tratar.

ENSAYOS DE SECADO POR OREO

Ubicación

Con el doble objetivo de rebajar la humedad, y de favorecer la homogeneización del mineral, se decidió la realización de ensayos controlados de oreo, en condiciones ambientales (FERNANDEZ-RUBIO y SASTRE, 1976).

Estos ensayos se han efectuado con mineral drenado por el bombeo, procedente de las explotaciones de la Mina Castilla (piso 8º) y de la Mina Corral (piso 5º), sobre un tonelaje de unas 1700 toneladas en el primer ensayo, y de 350 en el segundo.

Los ensayos se realizaron sobre una amplia superficie explanada, en una escombrera de estériles, a la cota 1.300 m, en un sector sin obstáculos para los vientos del Norte, Este y Sur.

Manipulación del mineral

El primer ensayo se realizó con cinco apiles (números 1 a 5), de 64 x 5 m de base y de 2 m de altura. El segundo ensayo se efectuó sobre un apile semejante (número 6). Estos apiles, con superficie de oreo de aproximadamente 400 m², se dispusieron con el eje mayor en dirección Este-Oeste.

En el primer ensayo los apiles fueron sometidos, en diferentes fechas, a un removido mediante pala, mientras que no se alteró la situación del apile 6

Número de apile	1	2	3	4	5	6
Fecha de colocación	26/10/76					07/11/76
Fecha de manipulación	27/10	28/10	02/11	03/11	04/11	no
Días transcurridos	1	2	7	8	9	no

SIAMOS-78. Granada (España)

Control de humedad

En los cinco primeros apiles (primer ensayo), se efectuó una toma de seis muestras diarias, para cada uno de los cuatro costados, a profundidades de 0 - 30 cm, 30 - 60 cm y 60 - 90 cm. Igualmente, en el sexto apile (segundo ensayo), se tomaron seis muestras diarias sobre los costados Norte y Sur, y cuatro sobre los Este y Oeste, a profundidades de 0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm.

Los resultados de los análisis de humedad se expresan en las tablas 1 y 2.

Control meteorológico

Para analizar la posible incidencia de las condiciones atmosféricas se instaló, en el área de ensayo, el siguiente instrumental de observación:

- Pluviómetro Hellman
- Termómetro de máxima y mínima
- Termohigrómetro
- Barómetro

Los datos registrados, durante los ensayos, se expresan en las tablas 1 y 2.

Estas observaciones suplementaron a las que se realizan, de manera sistemática, para el control de las precipitaciones en las áreas de explotación (Figura 4).

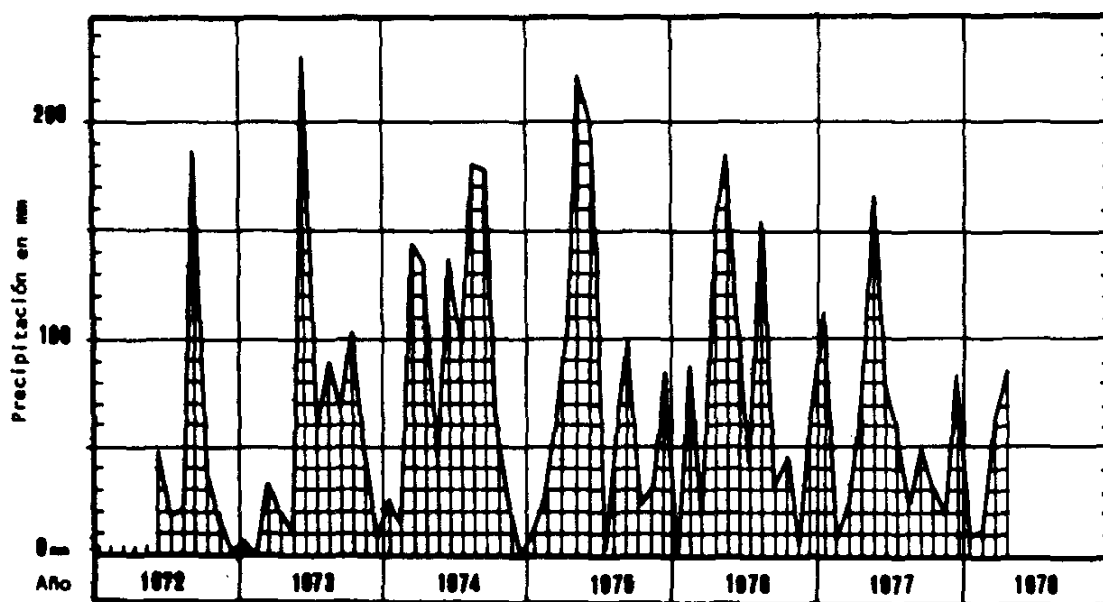


Figura 4. Precipitaciones mensuales en Sierra Menera (Mina Castilla)

SIAMOS-78. Granada (Españo)

DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo con los factores controlados, vamos a considerar, sucesivamente:

- *Efectos antrópicos*
 - . *removido del apile*
- *Efectos de localización*
 - . *orientación*
 - . *profundidad*
- *Efectos climáticos*
 - . *presión atmosférica*
 - . *lluvia*
 - . *temperatura*
 - . *insolación*
 - . *humedad atmosférica*

No podemos considerar el efecto de la velocidad y dirección del viento, por no disponer de dicha información en el área de ensayo.

Aunque discutiremos por separado cada uno de estos factores, es lógico pensar en un efecto combinado de los mismos, con mayor o menor intensidad de cada uno de ellos, y así lo señalaremos en su momento.

Efectos del removido del apile

Según hemos expuesto anteriormente, los apiles del primer ensayo (1 a 5), fueron sometidos a removido en las fechas que se indican .

En la tabla 1 se expresan los análisis diarios de humedad, para cada apile de este primer ensayo, y se identifican en letra cursiva los que corresponden al día siguiente a mezclar el apile con pala.

En el apile 1 la remoción coincidente con un día de lluvia no supuso aumento de humedad, si no todo lo contrario. En el apile 2, en día sin lluvia, baja la humedad 1,7 unidades. En los apiles 3 y 4, removidos durante la lluvia, se advierte un aumento de humedad de 2 y 2,5 unidades, superior a la de los apiles no removidos durante dicha lluvia.

Para interpretar estos datos, esenciales, pensamos que hay que tener en cuenta que, en el caso del apile 1, se partía de una humedad media del mineral alta (22,3 %), mientras que en la segunda lluvia, a pesar de ser más escasa, el mineral se encontraba ya más seco (18,8 % en el apile 3, y 17,8 % en el apile 4).

Si bien son insuficientes los datos disponibles para establecer conclusiones definitivas, sobre el efecto de deshumectación por removido del apile, si parece atestiguar la conveniencia de no remover el mineral en días de lluvia.

SIAMOS-78. Granada (España)

Efecto de la orientación

Como se ha indicado anteriormente, los apiles se dispusieron con su eje mayor en dirección E - W, lo cual condiciona el máximo desarrollo superficial en los costados Norte (*umbría*) y Sur (*solana*).

También hay que indicar la escasa superficie de las extremidades Este y Oeste, lo que implica una menor representatividad del muestreo en ellas (toma de sólo cuatro muestras, frente a seis en los otros costados), especialmente después de realizar tomas en varios días sucesivos, ya que la reducida superficie de dichas extremidades se encuentra agujereada por la introducción del tomamuestras.

Hecha esta salvedad, y por lo que al segundo ensayo se refiere, único en el que se ha muestreado independientemente en cada costado del apile, se observa con nitidez (Figura 6), un secado más eficaz en el flanco orientado al Sur, que en el orientado al Norte, ya que en el primero la humedad media pierde 3,6 unidades, y en el segundo sólo 0,7 unidades (para la media total ha supuesto un descenso de 2,6 unidades).

Este secado del costado Sur del segundo ensayo, es semejante al obtenido para la media del primer ensayo, con los cinco apiles (2,2 unidades), que se muestrearon siempre sobre el costado Sur.

Se confirma, por tanto, el secado más intenso del borde de los apiles orientados al Sur (*solana*).

Efecto de la profundidad

Uno de los aspectos más concluyentes, en los dos ensayos realizados, es el relativo al aumento del secado en las capas más superficiales (tablas 1 y 2 y figuras 5 y 6).

Con referencia al efecto de profundidad hay que tener en cuenta que, según DAVIS y DE WIEST (1971), la acción evaporante es inferior a un metro en suelos arenosos, e inferior a tres metros en suelos arcillosos. Para otros autores esta acción evaporante se reduce, como promedio, a un metro en regiones templadas, y a dos metros en zona árida. Aquí tendríamos que tener en cuenta una mayor penetración del efecto de secado, por el aumento de porosidad, consecuencia del arranque, transporte y apile del mineral.

Efecto de la presión atmosférica

Durante el periodo de observación las variaciones de la presión atmosférica han sido, realmente, muy reducidas, ya que sólo han oscilado entre 768 mm y 778,8 mm.

Los resultados adquiridos no permiten establecer una relación con el efecto de secado, que puede estar más condicionado por otros factores climáticos.

TABLA 1

PRIMER ENSAYO DE ORO EN GOETHITA						(APILES 1 a 5)		Año 1976			
% HUMEDAD		DIAS	27/10	28/10	29/10	30/10	02/11	03/11	04/11	05/11	12/11
APILE 1	00 - 30 cm		22,1	22,0	19,7	18,7	16,2	14,2	14,1	14,4	14,7
	30 - 60 cm		22,3	20,3	21,5	20,5	17,2	18,6	19,2	17,2	16,5
	60 - 90 cm		22,5	22,0	21,3	20,2	18,2	20,0	20,8	19,8	18,5
	media general		22,3	21,4	20,8	19,8	17,2	16,6	18,0	17,1	16,6
APILE 2	00 - 30 cm		21,6	23,6	21,7	19,8	16,2	17,1	17,6	17,5	15,0
	30 - 60 cm		21,8	23,4	21,6	21,1	16,3	18,9	20,1	20,1	16,2
	60 - 90 cm		22,1	23,0	21,5	21,7	20,3	20,5	20,4	20,4	19,6
	media general		21,8	23,3	21,6	20,9	17,6	18,8	19,4	19,3	16,9
APILE 2	00 - 30 cm		19,9	23,5	21,6	19,4	17,3	19,6	18,0	18,7	16,4
	30 - 60 cm		21,7	23,0	21,8	20,2	18,1	21,6	20,0	20,8	16,5
	60 - 90 cm		21,8	23,2	22,6	22,3	20,9	21,3	20,2	16,4	16,1
	media general		21,1	23,2	22,0	20,6	18,8	20,8	19,4	18,6	16,3
APILE 4	00 - 30 cm		20,6	23,7	21,3	18,0	18,3	15,5	20,7	18,9	14,6
	30 - 60 cm		19,6	23,0	21,6	20,4	19,6	18,4	19,0	20,9	17,8
	60 - 90 cm		18,9	23,4	22,3	22,0	21,3	19,4	21,3	21,0	18,1
	media general		19,7	23,2	21,7	20,1	19,7	17,8	20,3	20,2	16,8
APILE 5	00 - 30 cm		21,6	23,5	22,2	18,1	16,6	17,0	16,9	19,9	20,2
	30 - 60 cm		22,4	23,7	22,5	21,6	18,2	20,6	19,6	21,3	20,7
	60 - 90 cm		22,9	23,4	22,6	22,3	22,3	21,7	21,5	21,5	21,1
	media general		22,3	23,5	22,4	20,7	19,0	19,8	19,3	20,9	20,7
DATOS GLOBALES	media 00 - 30 cm		21,2	23,3	21,3	18,8	16,9	16,7	17,5	17,9	16,2
	media 30 - 60 cm		21,6	22,7	21,8	20,8	17,9	19,6	19,6	20,1	17,5
	media 60 - 90 cm		21,6	23,0	22,1	21,7	20,6	20,6	20,8	19,8	18,7
	media general		21,5	23,0	21,7	20,4	18,5	19,0	19,3	19,3	17,5
DATOS EXCLUIDO REMOVIDO	media 00 - 30 cm		21,2	23,6	21,2	18,8	16,9	16,0	16,7	17,4	16,2
	media 30 - 60 cm		21,6	23,3	21,8	20,8	17,9	19,1	19,7	19,8	17,5
	media 60 - 90 cm		21,6	23,3	22,2	21,7	20,6	20,4	20,7	19,4	18,7
	media general		21,5	23,4	21,8	20,4	18,5	18,5	19,0	17,8	17,5
Temperatura máxima (°C)			*	*	13,0	8,0	10,0	11,0	9,0	11,0	11,0
Temperatura mínima (°C)			*	*	3,5	1,0	4,0	4,0	5,0	7,0	5,0
Pluviometría (mm)			0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0
Humedad relativa (%)			*	*	66,5	98,0	98,0	82,3	83,5	90,5	81,0
Presión atmosférica (mm)			*	*	772,0	768,0	772,0	771,2	770,5	772,2	770,0
Hora de toma			9h30	9h30	9h30	9h30	9h30	9h30	9h30	9h30	9h30

* sin datos

en cursiva valores excluidos del cálculo

TABLA 2

SEGUNDO ENSAYO DE ORO EN GOETHITA (APILE 6)							Año 1976					
% HUMEDAD \ DIAS		08/11	09/11	10/11	11/11	12/11	13/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11
COSTADO NORTE	00 - 10 cm	21,5	20,7	19,1	21,7	23,3	21,4	21,9	21,6	18,3	19,7	20,6
	10 - 20 cm	21,4	21,3	19,1	21,8	23,1	20,5	22,3	19,8	20,6	20,4	21,1
	20 - 30 cm	21,2	22,0	21,2	17,5	22,6	21,3	21,9	20,6	21,9	20,2	20,4
	media general	21,4	21,3	19,8	20,3	23,0	21,1	22,0	20,7	20,3	20,1	20,7
COSTADO SUR	00 - 10 cm	21,1	21,0	18,4	19,1	19,0	14,1	17,0	13,0	12,8	13,8	15,1
	10 - 20 cm	21,4	20,4	19,3	18,6	21,2	19,1	19,5	18,9	17,8	17,6	18,3
	20 - 30 cm	22,0	20,5	19,3	19,3	21,1	20,1	20,7	19,4	19,9	19,8	20,3
	media general	21,5	20,6	19,0	19,0	20,4	17,8	19,1	17,1	16,8	17,1	17,9
COSTADO ESTE	00 - 10 cm	18,5	21,7	20,8	20,5	19,9	19,3	14,7	18,0	14,4	17,8	18,4
	10 - 20 cm	21,2	21,5	19,5	19,9	20,2	18,9	18,1	15,1	18,9	20,3	18,5
	20 - 30 cm	22,5	21,4	18,9	20,6	20,3	19,6	19,9	19,1	18,9	20,4	20,6
	media general	20,7	21,5	19,7	20,3	20,1	19,3	17,6	17,7	17,4	19,5	19,2
COSTADO OESTE	00 - 10 cm	23,3	22,3	20,0	22,4	21,4	19,0	18,8	16,4	15,9	11,7	16,2
	10 - 20 cm	22,5	22,3	18,3	18,7	21,8	21,5	20,9	20,0	19,2	17,6	18,5
	20 - 30 cm	22,4	*	17,1	17,3	21,1	21,0	20,9	20,9	20,0	19,1	20,0
	media general	22,7	22,3	18,5	19,5	21,4	20,5	20,2	19,1	18,4	16,1	18,2
MEDIA GLOBAL	00 - 10 cm	21,1	21,4	19,6	20,9	20,9	18,5	18,1	17,3	15,3	15,8	17,6
	10 - 20 cm	21,6	21,4	19,5	19,7	21,6	20,0	20,2	18,5	19,1	19,0	19,1
	20 - 30 cm	22,0	21,3	19,1	18,7	21,3	20,5	20,9	20,0	20,2	20,0	20,3
	general	21,6	21,4	19,3	19,8	21,3	19,7	19,7	18,6	18,2	18,2	19,0
Temperatura máxima (°C)		15,5	12,0	11,0	8,0	11,0	11,0	11,0	9,0	11,5	11,0	7,0
Temperatura mínima (°C)		2,0	6,5	3,5	0,5	5,0	2,0	1,0	-1,5	-0,5	0,0	-2,0
Pluviometría (mm)		2,9	0,8	1,3	1,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Humedad relativa (%)		84,0	95,0	99,5	99,5	81,0	96,0	91,0	66,0	72,0	71,0	84,0
Presión atmosférica (mm)		770,5	769,5	768,5	770,0	770,0	773,0	773,5	778,8	774,5	774,0	769,0
Hora de toma		11 ^h 00	10 ^h 00	10 ^h 00	10 ^h 25	12 ^h 25	11 ^h 00	10 ^h 45	17 ^h 00	16 ^h 00	16 ^h 00	16 ^h 00

* sin datos

SIAMOS-78. Granada (Españo)

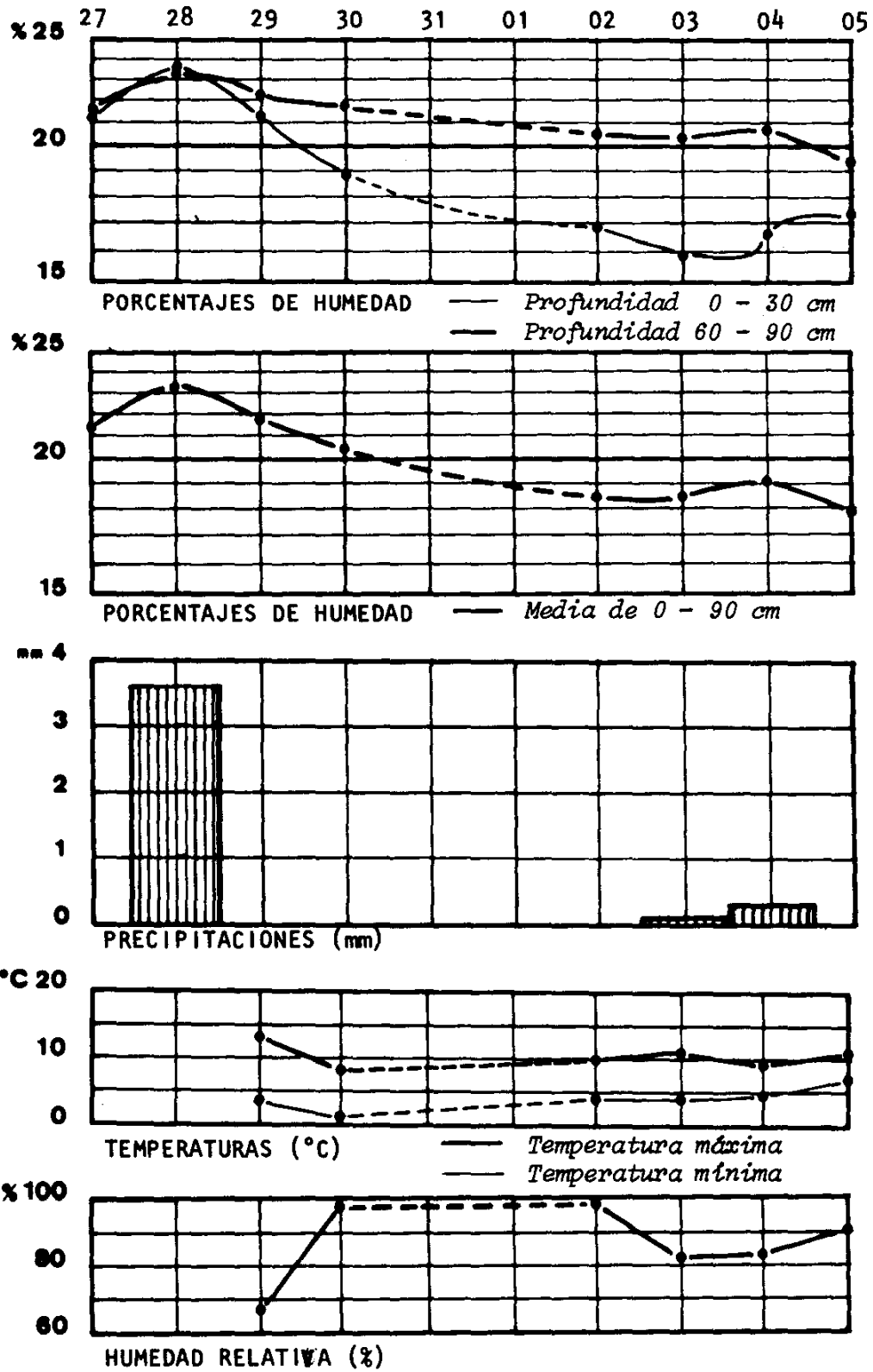


Figura 5. Resultados y observaciones del primer ensayo.

SIAMOS-78. Granada (Españo)

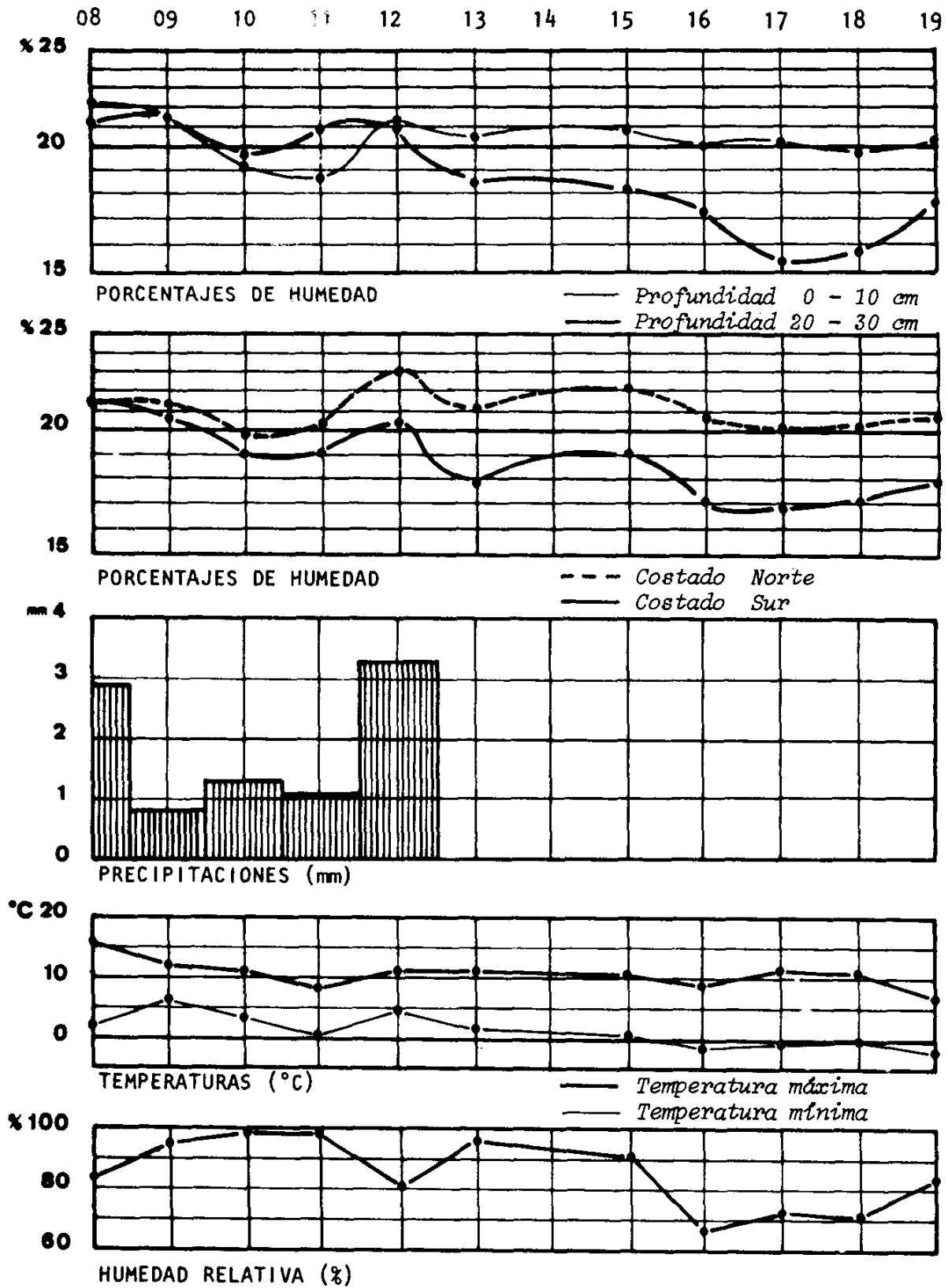


Figura 6. Resultados y observaciones del segundo ensayo.

SIAMOS-78. Granada (España)

Efecto de la lluvia

Indudablemente es uno de los factores cuyo control ofrece mayor interés.

Ya hemos señalado, anteriormente, el efecto desfavorable del removido de los apiles durante los días de lluvia, y hay que considerar aún que éste debe ser más acentuado en lluvias cuya intensidad supere a la capacidad de infiltración del mineral en el apile, ya que en este caso favoreceríamos la mezcla del agua con el mineral.

Pero posiblemente el efecto más interesante que se pone de manifiesto (Figura 7), es que si bien las lluvias se acusan, en general, por un aumento de humedad del mineral, también se constata que con lluvias como las que han tenido lugar durante algunos días del primer ensayo (aisladas y poco intensas), la curva de secado, en escala semilogarítmica, muestra una recuperación al trazado que se definiría de no haber tenido lugar dicho aguacero.

Puesto que no han tenido lugar lluvias intensas durante los ensayos realizados, no podemos definir los efectos que estas ocasionarían.

Efecto de la temperatura

La temperatura debe tener una incidencia doble, ya que, por una parte, el aumento de temperatura supone un incremento del poder evaporante de la atmósfera y, por otra parte, la disminución de temperatura (especialmente durante la noche), incrementa la condensación en el mineral de la humedad ambiente (efecto del que nos ocuparemos en el epígrafe siguiente).

Con respecto a la evaporación por temperatura hemos de señalar que, durante la realización de los ensayos, las temperaturas medias han oscilado entre 2,5° y 8,75 °C, que hemos de considerar como bajas, aunque normales para la época en la que se han realizado los ensayos.

En estas condiciones la temperatura, como factor evaporante, no es decisiva, aunque se puedan observar ciertos descensos de humedad, correlativos a aumentos de temperatura (por ejemplo día 13/11).

Efecto de la insolación

Si bien no se ha controlado la insolación que, como factor de radiación solar, condiciona la evaporación, no obstante, a partir de los datos publicados por el Centro del Ebro del Servicio Meteorológico Nacional (1975 y 1976), se puede inferir que, en la época de los ensayos las horas de insolación han estado por debajo de la media anual (Figura 8).

Efecto de la humedad atmosférica

La humedad atmosférica juega un papel muy destacado para la evaporación, tanto por condicionar la tasa de evaporación (*humedad relativa*), como por el efecto de

SIAMOS-78. Granada (España)

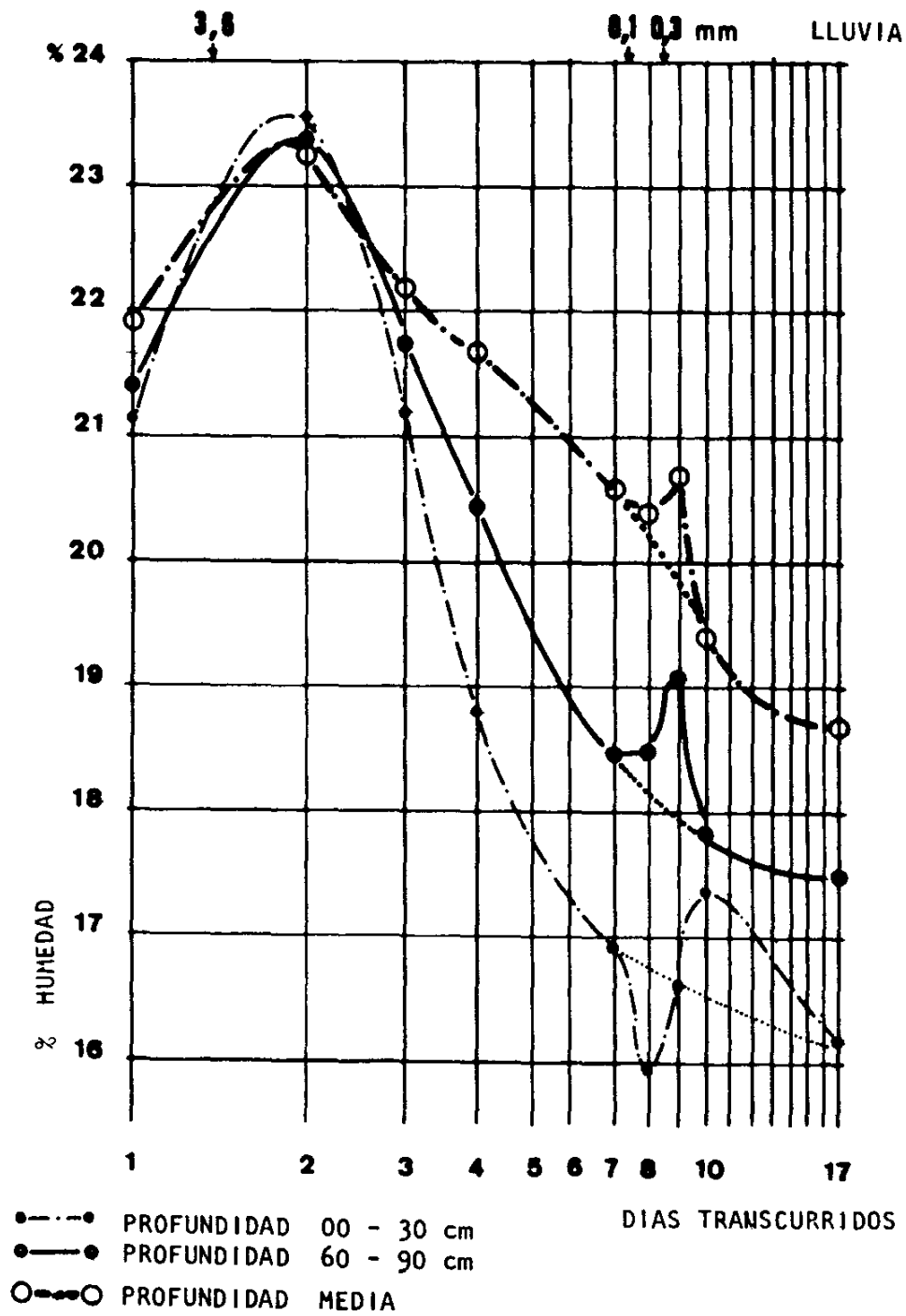


Figura 7. Evolución del secado por oreo en el tiempo

SIAMOS-78. Granada (España)

de *aportación oculta* de dicha humedad (durante la noche), al producirse la condensación en la superficie del mineral (rocío; escarcha; helada).

Hay que tener en cuenta que este efecto de condensación, en contacto con el suelo frío, se produce sobre toda la superficie de los poros del mineral, por lo que esta aportación oculta hay que multiplicarla por un factor de superficie, que en la bibliografía se estima entre 6 y 7, y que aquí podría incluso ser mayor, por la esponjosidad de este mineral removido.

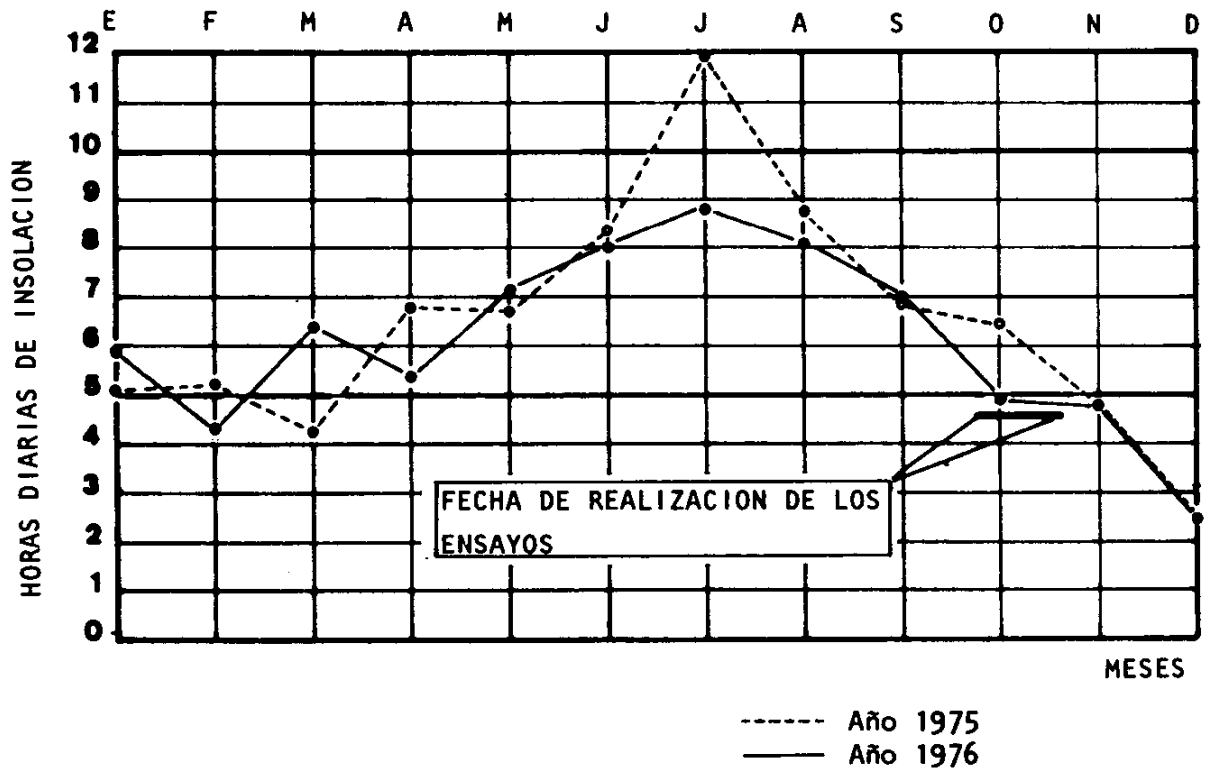


Figura 8. Horas diarias de insolación.

En estas condiciones, el efecto combinado de un aumento de humedad relativa atmosférica, y un descenso de temperatura (especialmente cuando esta es inferior a 0°C), debe implicar un incremento del contenido de humedad del mineral, y una reducción de la evaporación, que prácticamente se anula durante dicha condensación. Esto se comprueba, por ejemplo, el 19/11, con un aumento de humedad, y el 16/11, con un descenso de humedad ambiental.

La medida de esta *aportación oculta* ofrece ciertas dificultades y requeriría de un control mediante un drosómetro.

SIAMOS-78. Granada (España)

CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

En estos ensayos no se controló la evaporación, ni la dirección e intensidad del viento, y dada la importancia de dichos factores, se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional, en su Centro del Ebro, un equipamiento muy completo, incluidos evaporímetros y anemocinómetros, que permitirá en un futuro estudios más completos. No obstante, consideramos que, de los ensayos ya realizados, parece confirmarse la eficacia del método, para conseguir un descenso de humedad que en este caso ha oscilado entre 1.6 y 5.8 unidades (para los 6 apiles).

Por otra parte, y con respecto al tiempo conveniente de mantener el apile, no creemos se justifique prolongarlo (sin lluvia), durante más de dos semanas, ya que si bien la tasa de evaporación potencial diaria puede ser de 1 a 4 mm en invierno, y de 3 a 12 mm en verano, el proceso de evaporación supone una disminución de la humedad del mineral, y en consecuencia parece amortiguarse logarítmicamente la deshumectación (Figura 7).

También se pone en evidencia el interés del removido del mineral, siempre que no coincida con las lluvias, muy irregularmente distribuidas, con precipitaciones copiosas, aunque dispersas.

En consecuencia la Dirección Técnica de Compañía Minera de Sierra Menara S. A. ha programado introducir, en el Plan de Explotación, a partir de julio de 1978, un circuito de secado por oreo, para un ciclo de renovación de 4.000 tm/día de mineral, que serán extendidas y removidas sobre una superficie de 24.000 m², con una altura de 0,6 m. En dicho programa se incluye el control riguroso de los factores condicionantes, de acuerdo con la experiencia ya recogida.

BIBLIOGRAFIA

BOGOMOLOV, G. 1958. Hydrogéologie et Géologie de l'Ingénieur. Ed. de la Paix. Moscú. 278 p.

CASAGRANDE, A. 1940. Seepage through dams. *Jour. of Boston Soc. Civ. Engrs.* 295-337.

DAVIS, S. N. ; DE WUEST, R. J. M. 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel. Barcelona. 563 p.

FERNANDEZ-RUBIO, R. 1970. El agua en la mineralización de Castilla (Informe interno CMSM). Sierra Menara (Teruel). 6 p.

FERNANDEZ-RUBIO, R. 1974. Hidrogeología de la Mina Castilla (Sierra Menara, Guadalajara). Doc. Invest. Hidrol. Barcelona. 16 : 139-173.

FERNANDEZ-RUBIO, R. 1975. Posibilidad de acelerar el drenaje de la Mina Castilla. (Informe interno CMSM). Granada. 6 p.

FERNANDEZ-RUBIO, R. ; SASTRE, J. L. 1976. Ensayo de secado de mineral limonítico por oreo (Informe interno CMSM). Madrid-Granada. 16 p.

SIAMOS-78. Granada (España)

KOERTING, J. 1976. Ensayos de evaluación de pérdidas y degradación, realizados en el tromel Huther. SIDETECNICA (informe para CMSM). Madrid. 11 p.

SASTRE, J. L. ; FERNANDEZ-RUBIO, R. 1977. Bases para un programa hidrogeológico en la CMSM (informe interno CMSM). Ojos Negros (Teruel). 6 p.

S. M. N. 1975-1976. Valores diarios de la insolación en la cuenca del Ebro. Ministerio del Aire. Centro del Ebro. Zaragoza. Bol. 9, 12, 17, 21, 26, 29.