

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA
MONOGRAFIAS
N.º 11

CUEVA DE ALTAMIRA

ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS
DE LA SALA DE POLICROMOS.
INFLUENCIA DE LA PRESENCIA HUMANA
Y CRITERIOS DE CONSERVACION



MINISTERIO DE CULTURA

DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA
MONOGRAFIAS
N.º 11

CUEVA DE ALTAMIRA

ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS
DE LA SALA DE POLICROMOS.
INFLUENCIA DE LA PRESENCIA HUMANA
Y CRITERIOS DE CONSERVACION

MINISTERIO DE CULTURA

DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS
SUBDIRECCION GENERAL DE ARQUEOLOGIA Y ETNOGRAFIA

1.ª edición: Madrid, 1984.
Printed in Spain. Impreso en España.
Edita: Ministerio de Cultura, Dirección General
de Bellas Artes y Archivos.
Subdirección General de Arqueología y Etnología.
Pza. del Rey, 1. 28071 Madrid. Tel.: 429 24 44.
Distribución: San Mateo, 13. 28004 Madrid. Tel.: 448 07 73.
I.S.B.N.: 84-7483-397-3.
Dep. Legal: M-1664-1985.
Imprime: Colomar, s.c.l. Tel.: 619 79 56.

INDICE

La humedad natural de la cueva de Altamira. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, J. R. Solana, J. Soto.	7
La ventilación natural de la sala de pinturas de la cueva de Altamira. Contenido de Radon. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto.	21
Estudio del equilibrio gas carbónico-agua-carbonato cálcico, en las aguas que bañan las pinturas de Altamira. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, J. R. Solana, J. Soto.	35
Influencia de la presencia de visitantes sobre las temperaturas de la sala de policromos. Tiempos de recuperación. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto.	65
Influencia de la presencia de personas en la humedad y en la concentración de anhídrido carbónico en la sala de pinturas de Altamira. Tiempos de recuperación. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto.	81
Influencia de la presencia de personas sobre los procesos de deterioro de la pintura de Altamira. Criterios de conservación. E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto.	95

LA HUMEDAD NATURAL DE LA CUEVA DE ALTAMIRA

**E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez,
L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto ***

* Departamento de Física Fundamental.
Facultad de Ciencias.
Universidad de Santander.

INTRODUCCION

Desde que iniciamos nuestros estudios, el techo de la Sala de Policromos está constantemente bañado en agua tanto en verano como en invierno. Esta agua va deslizándose hacia las protuberancias más acusadas y siguiendo los desniveles del techo alcanza determinados puntos desde los que gotea hacia el suelo. Esta situación explica los altos niveles de humedad absoluta, es decir, de gramos de vapor de agua contenidos por metro cúbico de aire de la Sala, o lo que es lo mismo, el que las presiones parciales de este vapor sean muy próximas a la presión saturante^{1,2}.

Como ya se expuso en un trabajo anterior¹, se han medido las humedades relativas en varios puntos del interior de la Cueva, mediante sondas que proporcionan un registro continuo en banda de papel, con errores relativos del 5 por 100. Además se han realizado medidas más precisas con un psicrómetro portátil con errores del 1 por 100.

Los siete metros de espesor de los estratos de calcarenitas compactas, que separan verticalmente el techo policromado de la superficie exterior^{3,4}, no pueden impedir que una pequeña fracción de la precipitación del exterior los atraviese aflorando hasta el techo. Como las calcarenitas no son porosas ni higroscópicas, el agua discurre merced a un sistema de grietas y fisuras de muy diverso espesor. Hemos puesto a punto un método, basado en las diferencias de concentración de tritio en el agua de lluvia y en el agua de goteo interior, con el fin de obtener la velocidad del flujo de agua y aunque todavía no hemos llegado a conclusiones definitivas, existen razones para sospechar que es muy pequeña.

En cualquier caso, el flujo de agua en la Sala es suficiente para dar cuenta, durante el período estudiado, de los valores de humedad encontrados, así como de las masas de agua que pudieran intervenir en los procesos de condensación y evaporación natural.

Los procesos de evaporación y condensación de agua son siempre complejos debido a fenómenos de interfase, por lo que hay que suponer que lo son todavía más en el techo de la Sala de Pinturas bañado por agua en régimen laminar, en el que pesan el espesor de la capa límite y el efecto pared, con una textura abundante en redes capilares, con irregularidades de diferentes pendientes, con formación lenta de gotas, etc. Por esta razón queremos subrayar que algunos de los resultados numéricos que a este respecto se exponen en el presente trabajo hay que contemplarlos como estimaciones límites, en el contexto de modelos simplificadores, dentro de hipótesis aceptables avaladas por los datos experimentales.

EL FLUJO DE AGUA

En un trabajo anterior¹ ya indicábamos que hemos elegido para su estudio nueve puntos de goteo bien significativos, como representativos del aporte de agua que tiene lugar en la Sala. El agua se recoge en probetas graduadas y numeradas, durante tiempos bien conocidos, que nos permiten calcular el caudal medio mensual de cada punto de goteo durante las épocas en las que la Cueva no es visitada.

En siete de dichos puntos el caudal es prácticamente constante durante todo el año con fluctuaciones anuales inferiores al 5 por 100. En los otros dos puntos existen fluctuaciones superiores que no permiten afirmar que el flujo sea constante, aportando, además, el 50 % del caudal total. El descenso de caudal que experimentan estos dos puntos de goteo se corresponden con la época de verano en la que la evapotranspiración supera a la pluviometría⁵, lo que hace disminuir la humedad del terreno y la infiltración. Sin embargo, es en esa época, cuando el aire que penetra en la Sala de Pinturas tiene una humedad igual o superior a la de saturación a la temperatura de la roca, como veremos después, por lo que la humedad del aire de la Sala no se ve afectada por esta disminución de caudal. En otoño e invierno el caudal que se recoge en el interior de la Sala aumenta a expensas de un predominio de la pluviometría, reponiendo la humedad perdida en el terreno. El caudal total de estos nueve puntos es de aproximadamente siete litros por mes, con un error de ± 1 litro. Teniendo en cuenta que existen más puntos de goteo, aunque no tan significativos, podríamos aventurar que el caudal máximo del agua de goteo no supera los 12 litros mensuales, aunque evidentemente no se puede evaluar el «caudal real» que atraviesa la Sala, ya que también existe agua de condensación y de evaporación que se contabiliza o no, agua que desliza por las paredes y que escapa a toda medida.

Un aspecto de extraordinaria importancia en relación al deterioro de las pinturas es el que se refiere al tiempo que tarda en renovarse la película de agua que baña la superficie policromada del techo. Suponiendo que goteasen 400 cm³ de agua al día, hemos calculado el tiempo medio de permanencia del agua en el techo; es decir, el tiempo que debe transcurrir para que la película de agua que empaña el techo sea sustituida totalmente por otra. Si admitimos un goteo de 12 l. mensuales y que el techo tiene 140 m² de superficie, se obtiene para una película plana del área citada, de espesor medio de 50 μ , un tiempo de permanencia de 18 días, y de 9 días si la película fuese sólo de 25 μ , evidentemente cuando no se tienen en cuenta los fenómenos de condensación y evaporación que pueden tener lugar en la superficie rocosa del techo.

Es obvio que para cada zona del techo existirá un tiempo de permanencia diferente debido a que cada una presentará un espesor distinto de agua, como consecuencia de la diferente textura de la superficie y de la diferente topografía. Estas consideraciones están perfectamente comprobadas por el hecho de que cada uno de esos 9 puntos de goteo presenta un caudal distinto y, además, a simple vista se observan zonas «menos húmedas» que otras. Sin embargo, a la hora de sacar conclusiones sobre el carácter incrustante de las aguas o sobre el tiempo de recuperación de la concentración del ion calcio, que se ha diluido a consecuencia de la condensación de vapor de agua, hay que operar con valores límites de los tiempos de permanencia.

RESULTADOS DE LAS MEDIDAS

Medidas de la humedad relativa realizadas desde julio del 80 a junio del 81 demuestran que durante todo este período los valores medios mensuales son siempre superiores en la Sala de Pinturas que en el Hall, variando en aquélla desde 99,2 a 96,9 por 100 y en

el Hall desde 97,8 a 94,3 por 100, aventurando una cifra decimal (*). En la figura 1 se muestran los valores de la humedad relativa h_o y h_H para la Sala de Pinturas y para el Hall, durante el período de tiempo citado.

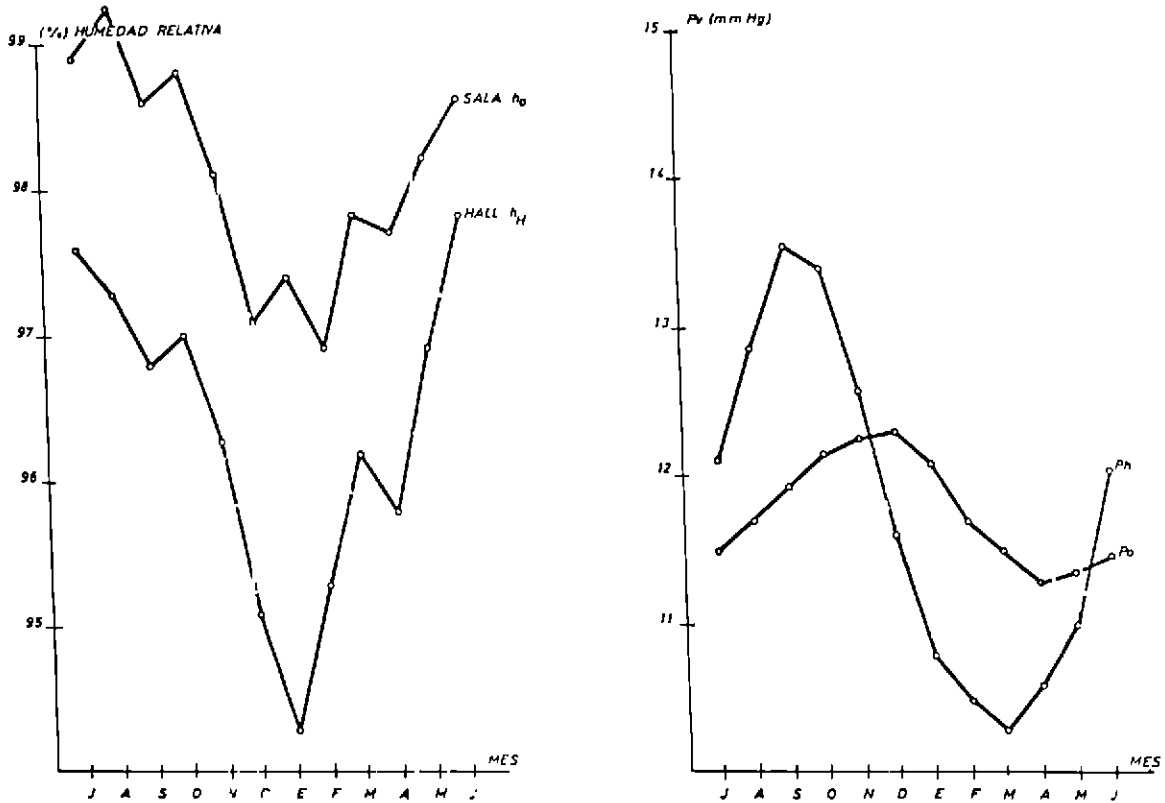


Figura 1.—Variación de la humedad relativa de la Sala de Pinturas h_o y del hall h_H .

Figura 2.—Presión de vapor de agua media mensual para la Sala de Polícromos P_o y para el hall P_H .

Por otra parte, la humedad absoluta de la Sala es superior a la del Hall desde mediados de noviembre hasta el mes de mayo con valores que oscilan a lo largo del año desde una presión de vapor de agua de 11,3 mm. Hg a 12,3 mm. Hg, siendo mucho más acusados los máximos y mínimos de humedad del Hall, que oscilan entre 10,3 mm. Hg y 13,5 mm. Hg, como se muestra en la figura 2. Las variaciones de la humedad absoluta, en g/m^3 , para la Sala y para el Hall pueden obtenerse de ella. Sin embargo, aunque el campo de temperaturas es diferente en ambos recintos, la diferencia que existe entre la presión saturante a la temperatura del techo y la del vapor de agua, de cada una de estas salas, experimenta una variación paralela a lo largo de todo el año, resultando que desde sep-

(*) Se ha mantenido la cifra decimal que se obtiene en los promedios.

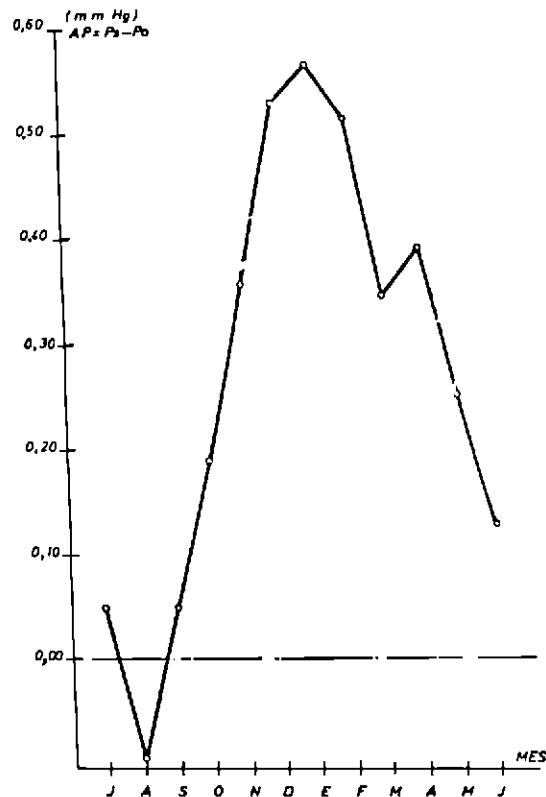
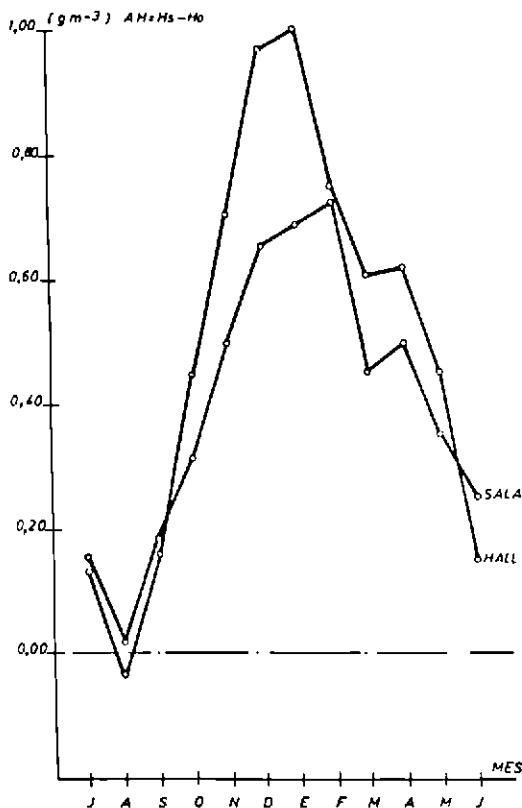


Figura 3.—Diferencia entre la humedad saturante H_s a la temperatura del techo y la del aire H_a a la temperatura del techo y la del aire H_o para la Sala de Policromos y para el hall.

Figura 4.—Déficit de la humedad respecto a la saturante a la temperatura media de la roca en la sala de Policromos.

tiembre a mayo el déficit de humedad respecto a la saturante es siempre mayor en el Hall que en la Sala de Policromos. Para ambos recintos la presión de vapor existente en el ambiente está más lejos de la presión saturante durante los meses que van de diciembre a febrero; en cambio, ambos recintos alcanzan la presión de saturación durante el verano por lo que en esta época podría producirse condensación natural del vapor de agua. Estos resultados se muestran en las figuras 3 y 4.

Por otra parte, también se han realizado medidas de humedad en las diferentes galerías de la Cueva. En las figuras 5 y 6 se puede observar cómo varía el valor medio mensual de la humedad relativa del aire en las principales salas. En todos los casos, la humedad relativa oscila entre el 96 y el 99 por 100, experimentando un ligero aumento en los meses de verano y una leve disminución en el invierno, como ocurre con la Sala de Pinturas. Pero además se observa que a medida que nos alejamos de la Boca de la Cueva, las variaciones de humedad son más pequeñas. Precisamente el hecho de que la humedad de las diversas galerías de la Cueva permanezca prácticamente constante, unido a las oscilaciones de temperatura que origina la onda térmica en los techos de las mismas, permitiría describir los procesos de evaporación y condensación si se conociese la ventilación en cada sala. Como veremos después, esto lo hemos realizado para la Sala de Pinturas. En las figuras 7 y 8 se muestran las variaciones anuales que experimenta el déficit de humedad; o sea, la diferencia entre la presión de vapor saturante a la temperatura media de las superficies rocosas que delimitan cada sala y la presión existente en ella, tomando como siempre valores medios mensuales.

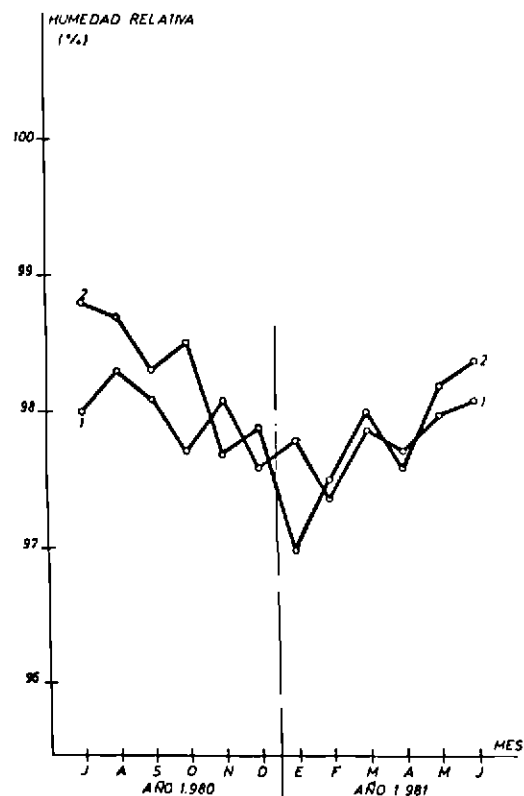
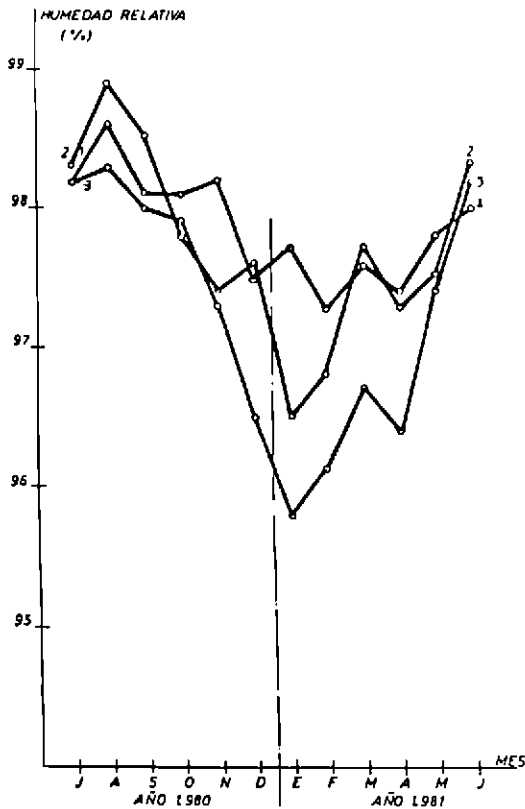
Existen dos salas, la Gran Sala y el pasillo de acceso a la misma, para las que este ciclo temporal evaporación-condensación no sigue las evoluciones de las restantes salas por el hecho de que las temperaturas del aire y del techo son prácticamente iguales y las más bajas, lo que hace que en estas dos salas no tengan lugar procesos de condensación. Todo parece indicar que ambas salas, las más profundas de la Cueva, pueden contemplarse como dos grandes reservas de aire más frío que el resto de la Cueva y en donde el aire apenas se renueva.

DESCRIPCION FENOMENOLOGICA DE LA HUMEDAD NATURAL DEL AIRE DE LA SALA DE PINTURAS SIN VISITAS

En la Sala de Polícromos, en estado natural sin visitantes, existe en cualquier momento un campo de temperaturas bien conocido⁶, definido por la temperatura del aire de la Sala θ_a y por la temperatura θ_r de las paredes rocosas que lo contienen. Al mismo tiempo, el flujo de agua entrante mantiene una humedad relativa h_a que, si no fuese por la ventilación existente, llegaría a ser saturante a la temperatura de la roca, alcanzándose el

Figura 5.—Variación de la humedad relativa en las salas siguientes: 1, pasillo Sala de Polícromos; 2, segundo ramal; 3, pasillo Gran Sala.

Figura 6.—Variación de la humedad relativa en las siguientes salas: 1, Gran Sala; 2, Sala de los Muros.



equilibrio. Estas tres variables pueden ser representadas por sus valores medios mensuales, ya que varían muy lentamente, de modo que, a la hora de conocer cómo se modificaría la humedad de la Sala por la introducción de visitantes, tomaríamos estos valores medios como valores iniciales.

En la tabla I se expresan los valores medios de estas tres magnitudes O_o , O_r y h_o , correspondientes a un año (julio 80-junio 81), así como de las humedades absolutas H_o , las presiones parciales de vapor P_o y las humedades de saturación y las presiones de vapor saturante, H_s y P_s , a la temperatura media de la roca (la primera cifra decimal de h_o la hemos aventurado a partir de los promedios, así como las centésimas de H).

Trabajando, como siempre, con valores promedios admitiremos que la humedad relativa del aire h_o , durante cada mes, se debe al equilibrio dinámico que se origina como consecuencia de la evaporación del agua de la Sala, que va teniendo lugar mientras no se alcance la presión de vapor saturante, y la ventilación del recinto, que va evaporando el aire del mismo. En condiciones estacionarias, mientras la humedad relativa permanezca constante, la producción $\phi = \dot{H}_e \cdot V$, o gramos de vapor de agua que se evaporan por hora (V = volumen de la Sala), será igual a la pérdida de masa de vapor, también por hora, debida a la ventilación de la Sala. De acuerdo con las hipótesis, ampliamente comprobadas a lo largo de nuestro estudio, consideraremos que el aire que renueva al de la Sala procede del Hall pero este aire no es seco, sino que posee una humedad, H_H que, para el modelo de intercambio de masa de aire considerado, supondremos que es el valor medio mensual correspondiente.

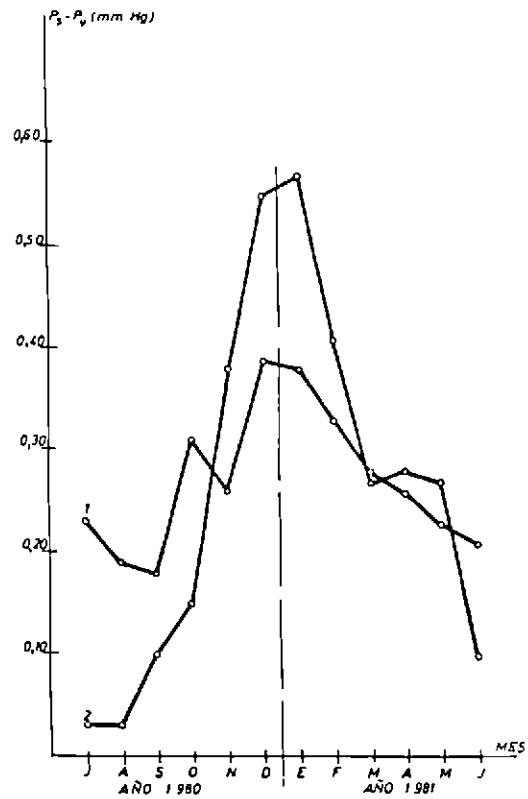
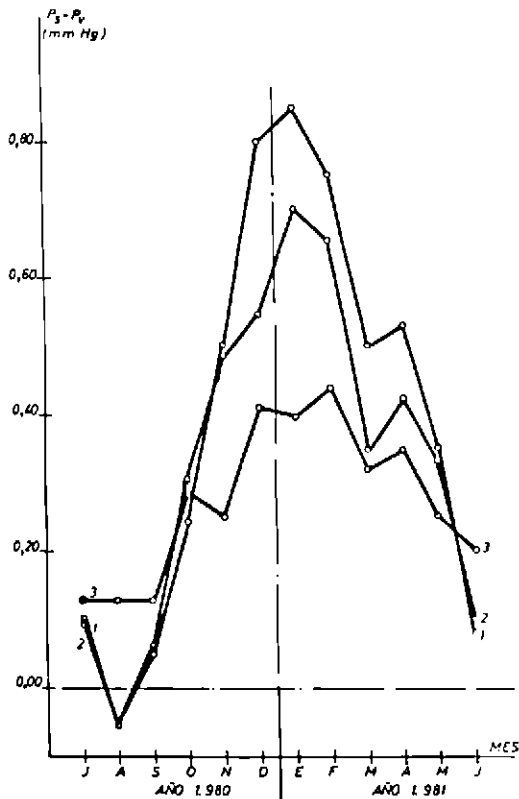


Figura 7.—Variación anual que experimenta la diferencia $P_s - P_v$ para las siguientes salas: 1, pasillo Sala de Polícromos; 2, segundo ramal; 3, pasillo Gran Sala. Siendo P_s la presión de vapor saturante a la temperatura de la roca y P_v la presión de vapor existente.

Figura 8.—Variación anual que experimenta la diferencia $P_s - P_v$ para las salas: 1, Gran Sala; 2, Sala de Muros. Siendo P_v la presión de vapor existente y P_s la presión de vapor saturante a la temperatura de la roca.

TABLA I
Sala de Polícromos

Año	Mes	θ_a (° C)	θ_r (° C)	h_o %	H_o g/m ³	H_s g/m ³	P_o mm. Hg	P_s mm. Hg
1980	Julio	13,5	13,4	98,9	11,69	11,74	11,48	11,53
	Agosto	13,7	13,4	99,2	11,87	11,78	11,67	11,57
	Septiembre	14,1	14,0	98,6	12,14	12,15	11,90	11,95
	Octubre	14,4	14,5	98,8	12,34	12,54	12,16	12,35
	Noviembre	14,6	14,8	98,1	12,41	12,77	12,23	12,59
	Diciembre	14,8	15,0	97,1	12,43	12,96	12,26	12,79
1981	Enero	14,5	14,8	97,4	12,25	12,81	12,07	12,63
	Febrero	14,1	14,4	96,9	11,88	12,50	11,70	12,31
	Marzo	13,7	13,8	97,8	11,62	12,04	11,50	11,84
	Abril	13,4	13,6	97,7	11,40	11,86	11,26	11,65
	Mayo	13,4	13,5	98,2	11,52	11,78	11,32	11,57
	Junio	13,5	13,5	98,6	11,64	11,78	11,45	11,57

La producción de humedad ϕ , por evaporación, es proporcional a la superficie interior A de la Sala ($A \simeq 450 \text{ m}^2$) y a la diferencia entre la humedad saturante H_s , a la temperatura de la roca y la humedad absoluta H_o existente, o sea,

$$\phi = K_E \cdot A (H_s - H_o) \quad (1)$$

donde K_E a su vez depende de la intensidad de la ventilación Q . Por otra parte, supondremos que la ventilación va haciendo que el aire de la Sala se vaya mezclando con el que procede del Hall a razón de Q metros cúbicos de aire por hora, por lo que la variación $\dot{H}_v V$ que experimenta en dicho tiempo la humedad absoluta de la sala por este hecho vendrá dada por:

$$V \cdot \dot{H}_v = Q \cdot (H_H - H_o) \quad (2)$$

En condiciones estacionarias el término de producción de humedad ϕ debe ser igual al término de ventilación $\dot{H}_v V$, pero con el signo cambiado:

$$\phi = - \dot{H}_v V$$

Resulta entonces que la producción podría calcularse cada mes, en condiciones naturales, sin visitantes, conociendo la ventilación, deducida de los datos de la actividad media mensual del Rn-222⁷. En la tabla II se muestran los valores medios de las mismas magnitudes de la tabla I, pero referidas al Hall, durante el mismo intervalo de tiempo.

Con este modelo podemos intentar el cálculo de la producción que nos proporciona la (2) en gramos de agua que se evaporan por hora, para mantener la humedad H_o del estado estacionario de la Sala. Sin embargo, este planteamiento no puede aplicarse tan sencillamente cuando se tiene en cuenta la (1), ya que, dentro del error, hemos comprobado que siempre es $H_s \geq H_o$, en la Sala de Pinturas, por lo que siempre es $\phi \geq 0$, o sea, se produciría principalmente evaporación, y, en cambio, mediante la expresión (2) se obtiene $\phi < 0$, durante seis meses al año, resultado incompatible con el anterior. Esta incoherencia se justifica plenamente al considerar que hemos supuesto un intercambio «directo» de aire entre el Hall y la Sala, cuando realmente lo que ocurre es que durante el lento trayecto del aire, desde el Hall a la Sala de Pinturas, la humedad H_H se va modificando. Ahora bien, las diferencias $H_s - H_o$, medidas en la Sala, son bien precisas, y como podemos asignar a estas diferencias un error de $0,1 \text{ gm}^{-3}$, podría admitirse que en aquellas épocas en la que $H_s - H_o < 0,1$ podría tener lugar el proceso de condensación.

Podemos entonces suponer con gran aproximación que $\phi = 0$ durante los meses de julio, agosto y septiembre. Por otra parte, si bien no podemos asignar valores precisos a la

evaporación, sin embargo sí que podemos establecer valores límites, dados por $Q (H_o - H_H)$, para aquellos meses, como diciembre y desde enero a mayo, inclusive, para los que $H_o > H_H$.

Por otra parte, cuando se considera la (1) como una expresión de la producción de vapor de agua en la Sala, hay que considerar que K_e depende fuertemente de la ventilación Q , como ya hemos comentado. Entonces, teniendo en cuenta los valores de ϕ máx. en las situaciones bien conocidas, pueden estimarse también los valores máximos de la evaporación para los restantes meses. Con estas consideraciones hemos realizado los cálculos necesarios para obtener una estimación de los valores máximos que podría alcanzar la evaporación, en l/mes, considerando situaciones mensuales estacionarias.

En los cálculos realizados se ha supuesto que, siendo casi análogos los valores medios mensuales que presentan las variables que definen el ecosistema en años diferentes, la intensidad de la ventilación media mensual, en $m^3 h^{-1}$ de aire, fue la misma en el intervalo de tiempo considerado que durante el año 1983, en el que realizaron las medidas de Q (*) y que se expusieron en un trabajo anterior⁷. Resulta así que la máxima evaporación tendría lugar en febrero, con 8,7 l/mes.

Teniendo en cuenta el caudal de agua recogido en cada uno de los nuevos puntos de goteo que hemos supuesto que representaban el 60 por 100 del que realmente aflora en la Sala de Pinturas, hemos evaluado de nuevo para cada mes el caudal medio, habida cuenta de que durante los meses en que predomina la evaporación el agua recogida es menor que la que arriba a la Sala. Los resultados se muestran en la figura 9, que en realidad nos proporciona el flujo máximo de agua que podría infiltrarse en la Sala de Pinturas por el techo. De aquí resultaría que las fluctuaciones máximas de flujo serían del orden del 48 por 100, perfectamente compatible con los que sufre la pluviometría, que son del 90 por 100.

Por último, en la figura 10 se representa la evaporación máxima estimada $\phi_{máx}$, así como la diferencia entre la presión de vapor en equilibrio y la presión de vapor saturante a la temperatura de la roca, $P_s - P_o$, en mm. Hg., durante todo un año, para la Sala de Pinturas.

TABLA II
Hall

Año	Mes	θ_{aH} (° C)	θ_{rH} (° C)	h_H %	H_H g/m ³	H_{SH} g/m ³	P_H mm. Hg	P_{SH} mm. Hg
1980	Julio	14,5	14,3	97,6	12,27	12,41	12,09	12,23
	Agosto	15,5	15,0	97,3	13,00	12,96	12,85	12,79
	Septiembre	16,4	16,1	96,8	13,66	13,82	13,54	13,67
	Octubre	16,2	16,4	97,0	13,53	14,08	13,40	13,94
	Noviembre	15,3	15,6	96,3	12,72	13,41	12,56	13,25
	Diciembre	14,3	14,8	95,1	11,80	12,77	11,63	12,59
1981	Enero	13,3	13,8	94,3	11,00	12,00	10,81	11,80
	Febrero	12,7	13,2	95,3	10,71	11,56	10,50	11,34
	Marzo	12,3	12,6	96,2	10,54	11,15	10,32	10,92
	Abril	12,8	13,0	95,8	10,83	11,45	10,62	11,23
	Mayo	13,1	13,2	96,9	11,16	11,60	10,96	11,38
	Junio	14,4	14,3	97,8	12,23	12,38	12,05	12,19

(*) Durante el período 1980-81 no disponíamos todavía del dispositivo de medición de la actividad de radon.

CONCLUSIONES

Entonces, de los estudios realizados respecto a la humedad y a la presencia constante de humectación en el techo policromado y a los procesos de evaporación podemos concluir lo siguiente:

a) El agua que humedece el techo policromado tiene su origen en la filtración constante del agua de lluvia a través de las grietas y fisuras de los 7 m. de espesor de techo y a los intercambios de masas de aire con distintos índices de humedad.

b) Puede estimarse que el flujo medio de agua entrante que atraviesa la Sala desde el techo es del orden de los 12 litros por mes, suficiente para dar cuenta de la humedad de Sala y de las masas de agua que pudiesen intervenir en los procesos de evaporación.

c) Considerando que por término medio, como máximo, aflorasen 400 centímetros cúbicos de agua diarios que no se evaporan, sobre los 140 metros cuadrados de techo de la Sala, puede estimarse que el tiempo de permanencia del agua en el techo oscilaría entre 9 y 18 días, según que consideremos una película de agua de espesor medio de 25 micras o de 50 micras.

d) En cualquier instante del año la humedad relativa de la Sala es superior a la del Hall de la Cueva, oscilando en la Sala entre el 97 y el 99 por 100.

e) Las variaciones de la presión de vapor de agua a lo largo del año, tanto en la Sala de Pinturas como en el Hall, son de tipo periódico, estando desfasados los valores máximos aproximadamente en tres meses.

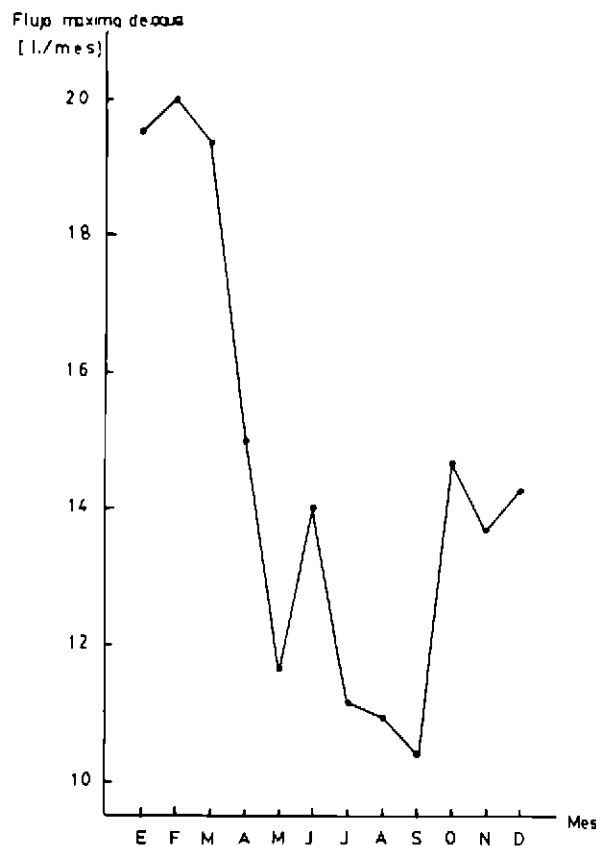


Figura 9.—Variación anual que experimenta el flujo máximo de agua en la Sala de Polícromos (l./mes), habida cuenta de la evaporación.

f) Durante los meses que van de mayo a noviembre la presión de vapor de la Sala es inferior a la del Hall, siendo superior en los seis meses restantes.

g) La humedad absoluta de la Sala iguala a la del Hall en noviembre y en mayo, siendo la presión de vapor superior en 1,6 mm. Hg en el Hall durante el mes de septiembre y superior en la Sala en enero, con una diferencia de 1,5 mm. Hg.

h) La diferencia entre la humedad saturante a la temperatura del techo y la humedad del aire en ambas salas experimenta variaciones periódicas que son simultáneas, siendo mayores en el Hall que en la Sala de Pinturas.

i) Para las diferentes salas de la Cueva, las medidas de humedad realizadas demuestran que los valores medios mensuales de las diferencias entre la presión de vapor correspondiente y la presión saturante a la temperatura de la roca varían periódicamente durante todo un año, con amplitudes muy pequeñas, evidenciando los débiles intercambios de aire entre ellas.

j) A medida que la Sala está más alejada de la Boca de la Cueva tanto menores son las amplitudes de estas diferencias. La elevada y prácticamente constante humedad de estas salas, sometidas a las oscilaciones de temperatura de la onda térmica, hace que las amplitudes citadas puedan alcanzar durante el verano valores negativos y, por lo tanto, la posibilidad de condensación, excepto en las dos salas más profundas, que son la Gran Sala y el pasillo de acceso a la misma, que constituyen dos grandes reservas de aire frío y húmedo, prácticamente estanco.

k) En particular una descripción válida sería que durante el verano el aire del exterior, más cálido y húmedo, penetra en la Cueva, llegando a producir condensación, tanto en el Hall como en la Sala de Pinturas; en cambio, en invierno al penetrar aire más frío y

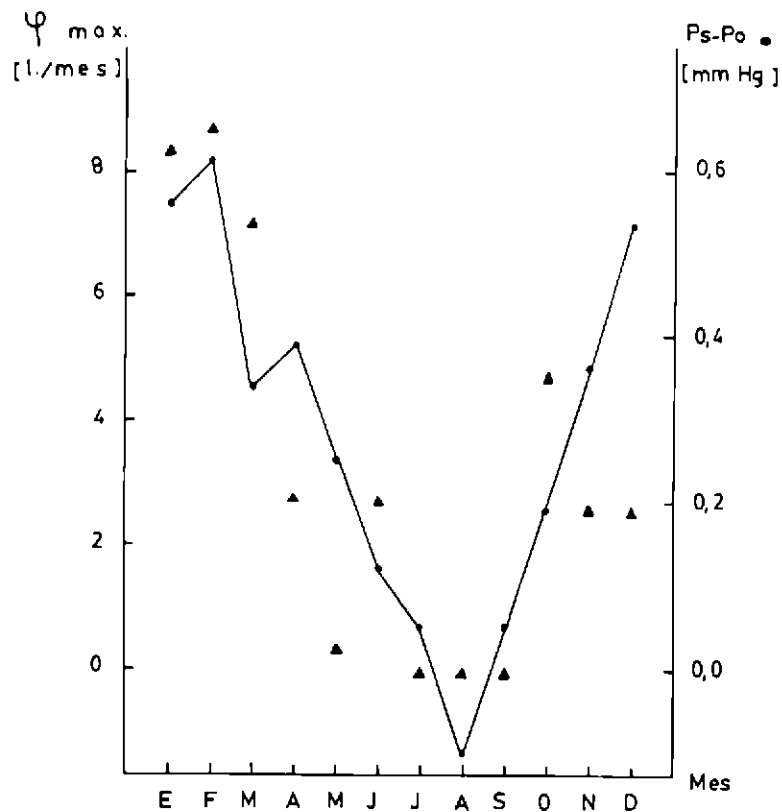


Figura 10.—Variación anual que experimentan la evaporación en la Sala de Pinturas, φ máx. (l./mes); así como la diferencia $P_s - P_o$ (mm.Hg), siendo P_s la presión saturante y P_o la presión existente.

menos húmedo, se origina en la Sala un descenso de la humedad relativa al elevarse la temperatura del aire al contacto con la roca más caliente.

// Aunque los procesos de evaporación y condensación en las condiciones de la Sala de Pinturas son muy complejos, admitiendo estados estacionarios en los que la evaporación o la condensación compensan las variaciones de humedad que provocaría la ventilación, se obtienen resultados coherentes con las medidas realizadas.

La máxima evaporación a lo largo del año no alcanzaría los $2 \cdot 10^2$ l/m² de vapor de agua al mes, y mucho menos la condensación, cantidad inferior a la sensibilidad del evaporímetro situado en la Sala.

BIBLIOGRAFIA

1. VILLAR, E., et al., *Flujos de materia en la Cueva de Altamira*. Monografía del C. I. y M. de Altamira. Ministerio de Cultura (1983).
2. VILLAR, E., et al., *Microclima de la Sala de Policromos de la Cueva de Altamira*. «Rev. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales», tomo LXXVI, cuaderno 3.º, pág. 686 (1982).
3. Planos de Altamira FOESTRA. Patronato de las cuevas prehistóricas de la provincia de Santander (1975).
4. HOYOS, M., et al., *Características geológicas cársticas de la Cueva de Altamira*. Instituto de Geología del CSIC, informe geológico (1981).
5. VILLAR, E., et al., *Estudio del equilibrio gas carbónico-agua-carbonato cálcico, en las aguas que bañan las pinturas*. Monografía del C. I. y M. de Altamira, informe del Ministerio de Cultura, pendiente de publicación (1983).
6. VILLAR, E., et al., *El campo de temperaturas en la Cueva de Altamira*. Monografía del C. I. y M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983).
7. VILLAR, E., et al., *La ventilación natural de la Sala de Pinturas de la Cueva de Altamira. Contenido de radón*. Monografía del C. I. y M. de Altamira, informe del Ministerio de Cultura, pendiente de publicación (1983).