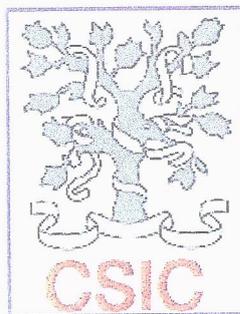


# **MEMORIA FINAL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-KÁRSTICAS Y MICROAMBIENTALES DE LA CUEVA DE "TITO BUSTILLO", RIBADESELLA**

**Manuel HOYOS GOMEZ  
Vicente SOLER JAVALOYES  
Juan C. CAÑAVERAS JIMENEZ  
Sergio SANCHEZ MORAL  
Enrique SANZ RUBIO**

**Departamento de Geología  
Museo Nacional de Ciencias Naturales  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas**



**DICIEMBRE, 1996**

## ÍNDICE

### 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Objetivos
- 1.2. Metodología

### 2. CARACTERÍSTICAS MORFOKÁRSTICAS

- 2.1. Características Litológicas y Estructurales
- 2.2. Características Geomorfológicas
- 2.3. El Karst de Ardines

### 3. EL CLIMA

### 4. EL AGUA KÁRSTICA

- 4.1. La circulación subaérea
- 4.2. Características hidroquímicas de las aguas superficiales relacionadas con el río San Miguel.
  - 4.2.1. Contaminación
- 4.3. La circulación subterránea
  - 4.3.1. Características hidroquímicas de las aguas kársticas en el interior de la cueva.

### 5. LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN

- 5.1. Área de Protección Total.
- 5.2. Área de Protección de la Circulación Subterránea Kárstica.
- 5.3. Área de Protección de la Circulación de Agua Subaérea.
- 5.4. Conclusiones en relación con las Áreas de Protección.

### 6. RÉGIMEN DE VISITAS

### 7. CONDICIONES MICROAMBIENTALES

- 7.1. Sistema de medidas.
- 7.2. Variaciones en los parámetros ambientales.
  - 7.2.1. Temperatura
  - 7.2.2. Humedad Relativa
  - 7.2.3. CO<sub>2</sub>
  - 7.2.4. Radón
  - 7.2.5. Conclusiones respecto a la influencia de las visitas en los parámetros ambientales.

### 8. MACRO Y MICROALTERACIONES DEL PANEL DE LAS PINTURAS

- 8.1. Composición de las pinturas
- 8.2. Macroalteraciones
- 8.3. Microalteraciones

### 9. CONCLUSIONES

La distribución espacial en la cueva de todos los elementos del sistema queda reflejada en la figura 7.2. El sistema se programó para que cada hora midiese y registrase una medida de cada sensor.

Como elemento para poner de manifiesto los procesos de renovación de aire en la cueva se han utilizado las variaciones de la concentración del gas Radón 222, cuya emisión puede considerarse como constante por unidad de superficie y tiempo, y no se ve afectado como el CO<sub>2</sub> por la actividad propia del Karst. Para medidas de largo periodo se ha trabajado con detectores comerciales tipo Track-Ech de la firma Landauer, utilizándose éstos con un periodo de integración de un mes. A más corto periodo se han empleado trampas de carbono activo (cannister), expuestas durante tres días, y medidas por espectroscopia de radiación gamma con un detector de INA (TL) de 3 x 3 pulgadas. Asimismo se han efectuado medidas de 15 minutos de integración con un equipo de escentilometría Pylon AB5 provisto de un detector de difusión.

## **7.2 . Variaciones en los parámetros ambientales.**

De todo el periodo de registro, hemos escogido para el estudio de las variaciones de largo periodo, es decir las que tienen carácter estacional y constituyen un ciclo anual, las correspondientes al primer año de medidas automatizadas, esto es, Marzo 1995 a Febrero 1996, por ser el de mayor continuidad en la adquisición de datos.

Un hecho importante a tener en cuenta, y que se vera ampliamente reflejado en apartados siguientes, es que dado el régimen de visitas de la cueva, no se dispone de un ciclo anual completo de variaciones naturales de los parámetros ambientales de la cueva. Este hecho limita en gran medida la evaluación de la influencia de las visitas en la cueva en intervalos temporales amplios (anuales); no obstante, hemos intentado paliar en parte estas deficiencias, apoyándonos en los datos de ciclos anuales obtenidos por el mismo equipo de investigación en La Cueva de Candamo (Hoyos et al., 1994), situada también en el Principado de Asturias, donde sí se pudieron obtener datos

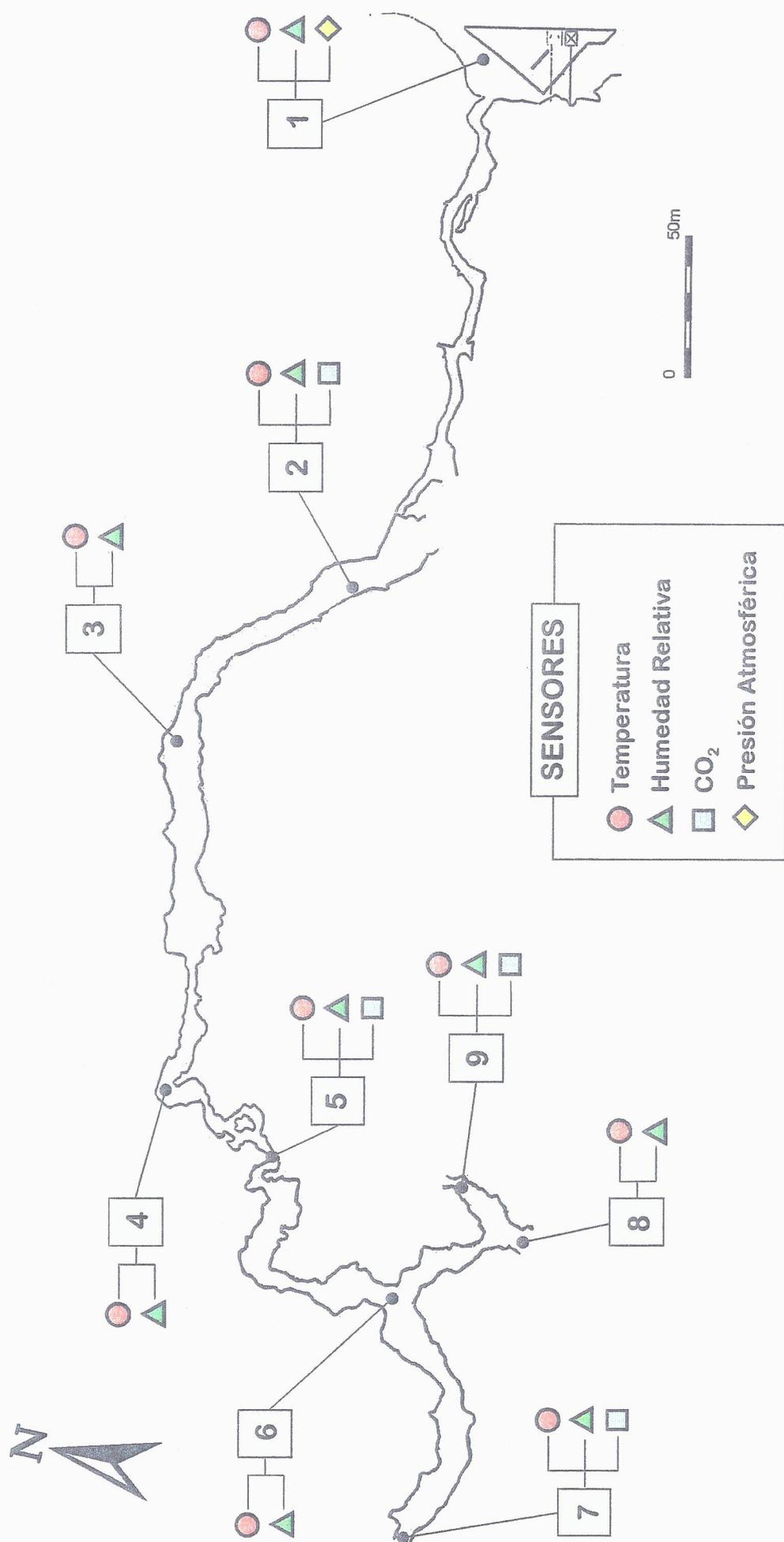


Figura 7.2

ambientales de ciclos anuales sin visitas. Para el análisis de la influencia de las visitas en los parámetros ambientales también se han empleado los datos correspondientes a la temporada 1996.

### 7.2.1. Temperatura

#### Exterior.-

En el exterior de la cueva la temperatura oscila entre los 29°C de temperatura máxima en verano y los 4°C de temperatura mínima a finales del otoño; oscilando las medias diarias entre 17 y 25°C en verano, entre 6 y 22°C en otoño, entre 7 y 15°C en invierno y entre 11 y 21°C en primavera. Las oscilaciones diarias se sitúan entre los 2 y 10°C, dependiendo de las estaciones (figura 7.3)

#### Interior.-

En el interior de la cueva las temperaturas son más homogéneas; en conjunto, la oscilación a lo largo de un ciclo anual no llega a superar los 2°C en ninguna de las salas, siendo menores de 0,5°C en las salas más interiores. En las figuras 7.3 y 7.4 se representan los datos de temperatura de distintas salas a lo largo de un ciclo anual.

En la parte más oriental de la Galería Larga (sensores T2 y T3, fig 7.2) la temperatura varía entre 13,9°C en invierno (sin visitas) a 14,3°C en verano (justo al final de la temporada de visitas). En la parte más occidental de la Galería Larga (sensores T4 y T5, fig 7.2) la temperatura es ligerísimamente menor, variando entre 13,7°C en invierno (sin visitas) a 14,25°C en verano (justo al final de la temporada de visitas). En el cruce de los tres 'brazos' de la cueva (Galería Larga, Sala del Panel de las Pinturas y Sala del Yacimiento) (sensor T6, fig 7.2) la temperatura varía entre 13,35°C en invierno (sin visitas) a 13,85°C en verano (justo al final de la temporada de visitas). En la Sala del Panel de las Pinturas (sensor T9, fig 7.2) la temperatura varía entre 13,35°C en Marzo-Abril (sin visitas) a 14,12°C en verano (justo al final de la temporada de visitas). Por último, en la Sala del Yacimiento (cerca a la Entrada de la Gorgocera) (sensor T7, fig 7.2) es donde se alcanzan las

mayores oscilaciones térmicas a lo largo del ciclo anual, desde 12,5°C en invierno (sin visitas) a 14,25°C a principios de otoño (sin visitas).

Queda pues perfectamente reflejado el efecto de la comunicación de la cueva con el exterior, ya que los sensores T6, T9 y especialmente el T7 presentan las máximas variaciones anuales de temperatura. Del mismo modo se observa un fenómeno de inversión térmica entre las galerías y la Sala del Yacimiento (sensor T7 ) y un fenómeno de avance de esta inversión térmica hacia el interior de la cueva (figura 7.4). Esta Sala presenta temperaturas sensiblemente más bajas todo el año, con respecto a las otras salas excepto en los siguientes intervalos (ver figura 7.2 para situación de los sensores):

- mediados de Mayo a principios de Noviembre, con respecto al Cruce de Salas (sensor T6)
- finales de Junio a principios de Noviembre, con respecto a la Sala del Panel (sensor T9)
- mediados de Julio a principios de Noviembre, con respecto al sensor T5 (Galería Larga)
- finales de Julio a principios de Noviembre, con respecto al sensor T4 (Galería Larga)
- mediados de Agosto a principios de Noviembre, con respecto al sensor T3 (Galería Larga)
- mediados de Septiembre a principios de Noviembre, con respecto al sensor T2 (G. Larga)

Este fenómeno de inversión térmica también se observó en el ciclo anual (sin visitas) de la Cueva de Candamo (Hoyos et al., 1994, en sus figuras 6 y 7), donde desde principios de Enero hasta Julio la parte interior de la cueva está ligeramente más caliente y de Julio a Noviembre/Diciembre se invierte esta situación pasando a estar más caliente la zona de la entrada.

En la figura 7.5 se han representado las variaciones de temperatura en las diferentes salas durante 8 días (16-24 Marzo de 1995) previos al inicio de la Temporada de visitas de 1995. En esta figura, además de observarse el anteriormente mencionado efecto de mayor oscilación térmica hacia la entrada de la cueva (Entrada de la Gorgocera), también se refleja la influencia de las oscilaciones térmicas diarias del exterior de la cueva sobre las diferentes salas interiores:

- Las Salas del Yacimiento y del Cruce (sensores T7 y T6 respectivamente) sufren oscilaciones térmicas diarias en sentido paralelo con respecto al exterior, es decir durante el día las temperaturas de estas salas son mas altas que durante la noche, con un rango de oscilación diaria de 0,2 a 1°C.

- La Sala del Gran Panel (sensores T9 y T8) así como la parte más occidental de la Galería Larga (sensor T5) sufren oscilaciones térmicas diarias en sentido inverso con respecto al exterior, es decir durante la noche las temperaturas de estas salas son relativamente más elevadas que durante el día, con un rango de oscilación diaria de 0,2 a 0,4°C.

El resto de la Galería Larga (sensores T2, T3 y T4) presentan temperaturas tan homogéneas (con oscilaciones térmicas diarias del orden de centésimas de grado) que prácticamente no se aprecia la influencia o no de la temperatura exterior.

Este comportamiento de las temperaturas del interior de la cueva es concordante con el hecho de que la ventilación de la cueva presente unas direcciones de viento W-E, con un sentido hacia el Este, es decir hacia la entrada artificial de la cueva y paralelamente al sentido de la corriente del río San Miguel, que ejerce un efecto de sifón en la ventilación de la cueva al sumirse en ella desde la Gorgocera hasta la ría del Sella.

#### Influencia de las visitas.-

Es suficientemente conocido que cada uno de los visitantes de una cueva produce en el microclima interior de la misma una serie de variaciones debidas a su propio metabolismo. La emisión de calor por radiación a través de la piel varía en función de diversas (p.ej., edad, talla y peso de cada persona). Andrieux (1988) propone 0.36 a 0.46 kcal.m<sup>2</sup>.mn<sup>-1</sup> como valor medio para la emisión de calor de una persona, lo que significaría que, por ejemplo, el aporte de calor mínimo aportado en la Sala del Panel de las Pinturas por un grupo de visitantes (25 personas durante 10 minutos) sería de unas 163 kcal.

# CUEVA DE TITO BUSTILLO

16-24 / Marzo / 1995 (sin visitas)

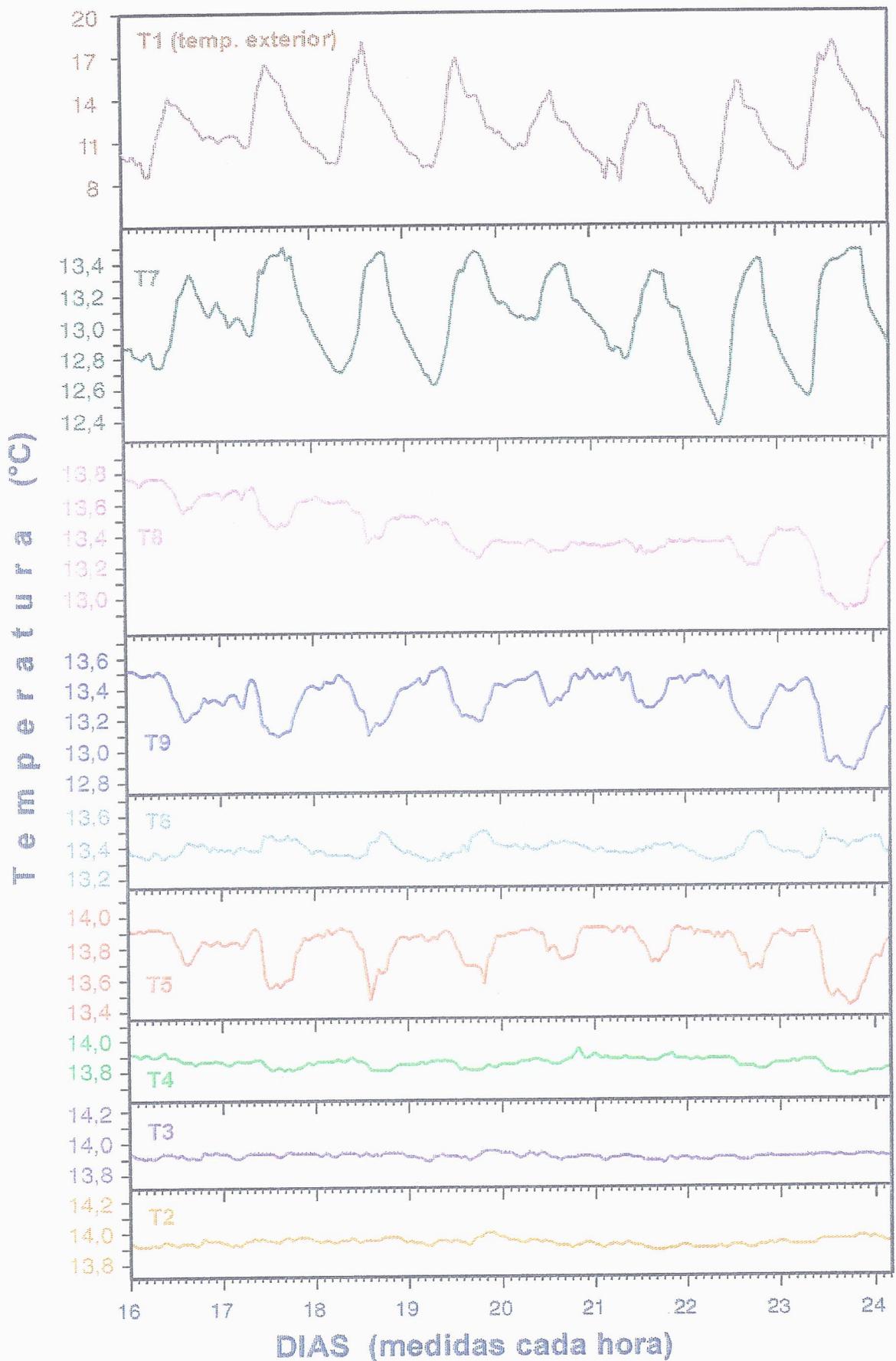


Figura 7.5

Se considera como aumento de temperatura inducido por los visitantes al incremento debido a las radiaciones de calor producidas por éstos, más el producido por la radiación de calor debida a las lámparas de iluminación.

El aumento de temperatura inducido por los visitantes en cada una de las salas de la cueva es evidente como puede observarse en las figuras 7.3, 7.6, 7.7, y 7.8. En la Galería Larga se observan aumentos de temperatura de 0,05 a 0,2°C relacionados directamente con las visitas; siendo de 0,1 a 0,2°C en la Sala del Cruce y de 0,05 a 0,2 en la Sala del Panel. En la Sala del Yacimiento no se observan influencias directas de los visitantes ya que la oscilación térmica diaria de esta sala es lo suficientemente elevada. Un hecho a resaltar es que, como se ha indicado anteriormente, tanto en la Sala del Panel (sensor T9) como en la parte más occidental de la Galería Larga (sensor T5) la tendencia térmica de la sala es a disminuir la temperatura durante el día (que es cuando se realizan las visitas), por lo que el incremento de la temperatura inducido por las visitas es aun mayor que el que se observa en las gráficas.

Durante días sin visitas (un día a la semana) la temperatura de las distintas salas tiende a seguir su tendencia natural; obsérvese en la figura 7.6 (días 10 y 17 de Abril de 1995) como las temperaturas de los sensores T9 y T5 bajan durante el ciclo diurno, aunque con un rango menor que en periodos sin visitas. En esta misma figura 7.6 puede observarse como el efecto de las visitas en la temperatura de las salas es inmediato desde el primer día de visitas, y como este efecto es directamente proporcional al número de visitantes. En la figura 7.7 (en horario solar) puede observarse en detalle este efecto de proporcionalidad entre el número de visitantes y el aumento de temperatura entre la mañana y la tarde, ya que en ambos casos el incremento debido a la iluminación puede considerarse constante, puesto que la cueva permanece iluminada entera o practicamente cuando el flujo de visitantes es continuo; así mismo se observa el cortísimo tiempo de respuesta de la temperatura de la sala tanto a la entrada como a la salida de los visitantes de las diferentes salas.

Desde el momento que acaba la temporada de visitas (mediados de Septiembre) se produce un enfriamiento gradual de las salas (figs 7.3 y 7.7) hasta alcanzar unos rangos de temperatura similares a los que tenían antes de iniciarse la temporada de visitas.

de un ciclo anual sin visitas con el que poder comparar no podemos cuantificar con exactitud este tiempo de recuperación.

#### 7.2.4. Radón ( $^{222}\text{Rn}$ )

La concentración de gas radón se ha empleado como índice de renovación natural de aire en la cueva de Tito Bustillo. La capacidad de ventilación natural de una cueva es uno de los factores mas importantes, junto a los de carácter microambiental, a la hora de evaluar la posible incidencia antrópica de cualquier actividad que se pretenda llevar a cabo en su interior.

De forma aproximativa, se podrían utilizar las variaciones de temperatura y de  $\text{CO}_2$  entre otros parámetros, ahora bien, la difícil evaluación de los ritmos de generación y aporte de  $\text{CO}_2$ , así como sus diversos orígenes, hace que resulte casi imposible emplear las determinaciones de concentración de este gas como índice fiable de ventilación. Por ello se utiliza normalmente como índice cuantitativo la concentración de un elemento radioactivo natural que se genera constantemente como es el Radón.

El Radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) es un gas radioactivo de 3,85 días de vida media que se genera en la cadena del U-238 por desintegración del Ra-226, a su vez él se desintegra por emisión alfa en Polonio-218. Como el uranio está presente en la practica totalidad de los materiales de la corteza terrestre, en cualquiera de ellos existe una concentración de Radón gobernada principalmente por el equilibrio secular de la cadena radioactiva.

Dada su condición gaseosa el Radón se difunde por los poros y diaclasas de los materiales petros de la cueva y escapa a la atmósfera desde las capas mas superficiales del terreno a un ritmo promedio de unos  $0.5 \text{ pCi/m}^2\text{S}$ . Este ritmo puede verse parcialmente afectado por los cambios de presión atmosférica, por las variaciones en el contenido de humedad del suelo, etc. Esta exhalación casi constante de Radón hace que en cualquier cavidad o recinto cerrado se acabe estableciendo una concentración de equilibrio, en la que el Radón, que desaparece por decaimiento radioactivo, es igual

al que emana por la superficie libre que conforma el recinto. Esta concentración máxima es función de la relación superficie/volumen del recinto y de la emisividad de los materiales que lo forman.

Cuando dejan de verificarse las condiciones de estanqueidad, se produce un descenso de la concentración de Radón (por pérdidas a la atmósfera) que es proporcional al ritmo de renovación de aire del recinto y de ahí la posibilidad de utilizar estas medidas como índice cuantitativo de ventilación en cavidades subterráneas.

Normalmente resulta difícil evaluar la concentración teórica de equilibrio (concentración máxima) para una cavidad natural, sobre todo teniendo en cuenta su forma irregular que obliga a simplificar en la estimación de la relación superficie/volumen, y la gran variabilidad de exhalación que puede producirse de forma preferencial a través del sistema de diaclasas, en vez de una forma homogénea desde las paredes de la cueva.

En el caso de la cueva de Tito Bustillo el cálculo de esta concentración máxima de equilibrio resulta prácticamente imposible debido, por una parte a su forma especialmente irregular, y por otra a las comunicaciones naturales con el exterior, en especial la que supone la circulación del río San Miguel. Por ello nos vemos obligados a trabajar en forma de variaciones relativas de concentración.

#### Trabajos de campo y determinaciones analíticas

A finales de septiembre de 1995 se efectuó una primera campaña de medida de radón que nos permitió definir la estrategia a seguir para el estudio del ciclo anual. En esta primera campaña se emplearon técnicas de medida de corto periodo, de una parte emanometría directa de radiación alfa con periodo de integración de 15 minutos y de otra trampas de carbono activo con periodo de integración de 72 horas, estas trampas se miden mediante espectrometría de la radiación de fotones gamma provenientes de la desintegración de los descendientes del radón.

A partir de estos resultados, que presentamos en el apartado siguiente, optamos por la medida en continuo mediante dos detectores de trazas, tipo Track-ech, ubicados junto al Gran Panel de

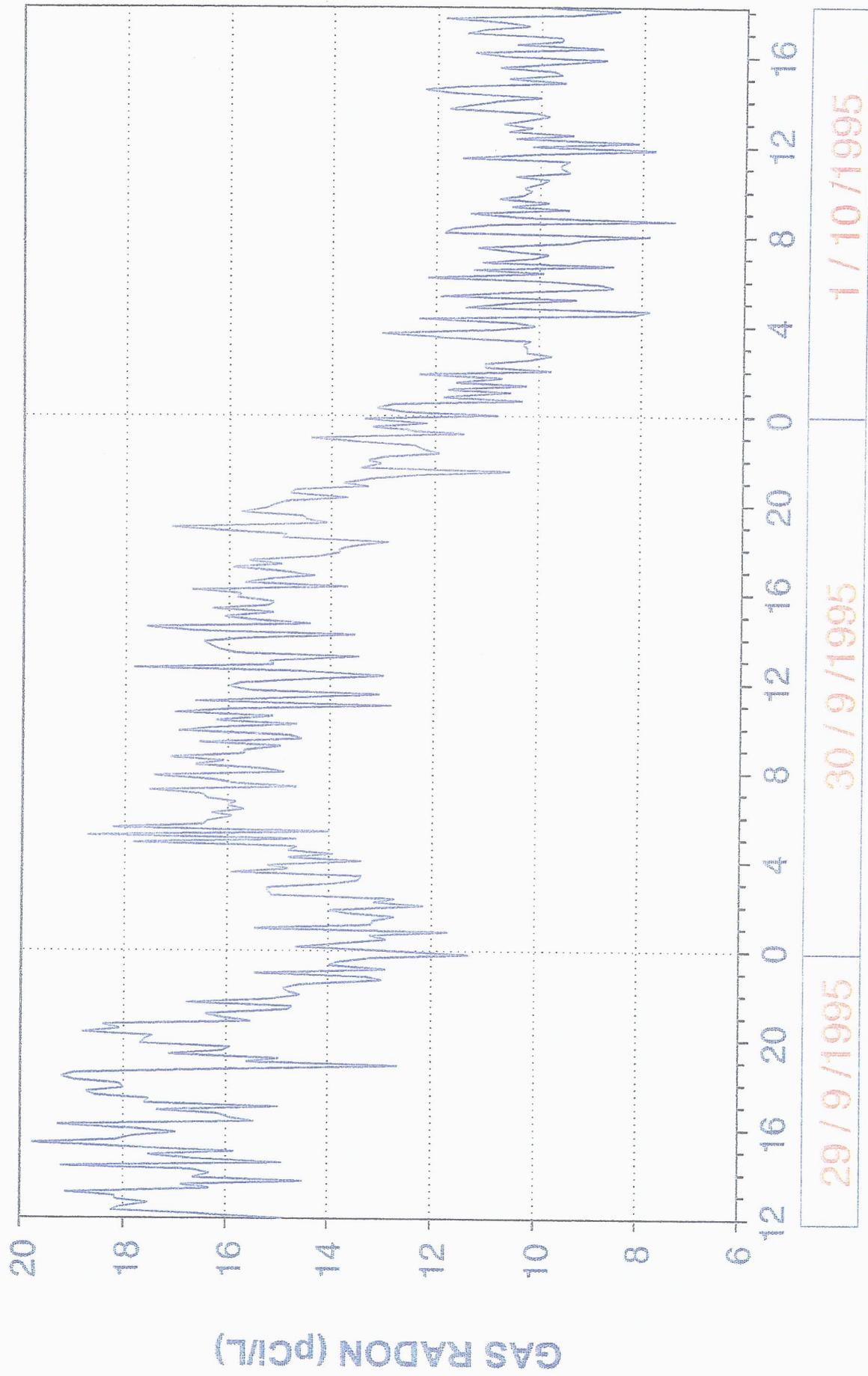
pinturas, y con periodo de integración de un mes. En la Lámina I.B pueden apreciarse algunos de los equipos utilizados en estos trabajos.

En la figura 7.14 presentamos la distribución de concentración de gas radón obtenida con medidas de canister de carbono activo en octubre de 1995. En ella se observa una concentración máxima de 26.4 pCi/l en la denominada "Galería Larga", esta Galería debía de formar un "culo de saco" incomunicado con el exterior, antes de la perforación del túnel artificial que configura la entrada actual, ya que su ventilación es inferior a la de otras zonas de la cueva. El pozo del "Ramu" supone un punto de intercambio con el exterior que se refleja en un descenso de la concentración a 16.7 pCi/l. así como la zona del yacimiento que con 8 pCi/l es claramente la zona mas ventilada de la cueva. En la zona del Gran Panel se midió una concentración de radón de 21.1 pCi/l., el doble que en la excavación, lo que nos indica una menor capacidad de renovación de aire a pesar de la proximidad del río San Miguel, que sifona en las proximidades de dicha Galería. Las medidas de emanometría en esta misma zona, figura 7.15, ponen de manifiesto rápidas oscilaciones de corto periodo que en 2 días hacen reducir la concentración a la mitad (de 20 a 10 pCi/l.); pero a juzgar por los resultados obtenidos durante el periodo anual de registro, figura 7.16, estas oscilaciones no llegan a sobrepasar de forma sostenida los valores medidos en esta campaña.

Es de destacar la ausencia de puntos de concentración de Radón anormalmente elevada, lo cual es indicativo de una moderada y casi uniforme renovación de aire en toda la cueva. Tampoco se observan acumulaciones de carácter estacional en la concentración de radón, a excepción del resultado de mes de noviembre, durante el cual de todas formas la cueva no esta sometida a la acción antrópica de las visitas. Como ejemplo comparativo, y con la intención de poner de manifiesto las buenas características de esta cueva en lo que a procesos de ventilación se refiere, podemos mencionar que en la cueva de San Román de Candamo se llegaron a medir, en el Salón de los Grabados, concentraciones por encima de los 400 pCi/l., es decir unas 20 veces las aquí encontradas, y con un marcado ciclo de variación estacional.



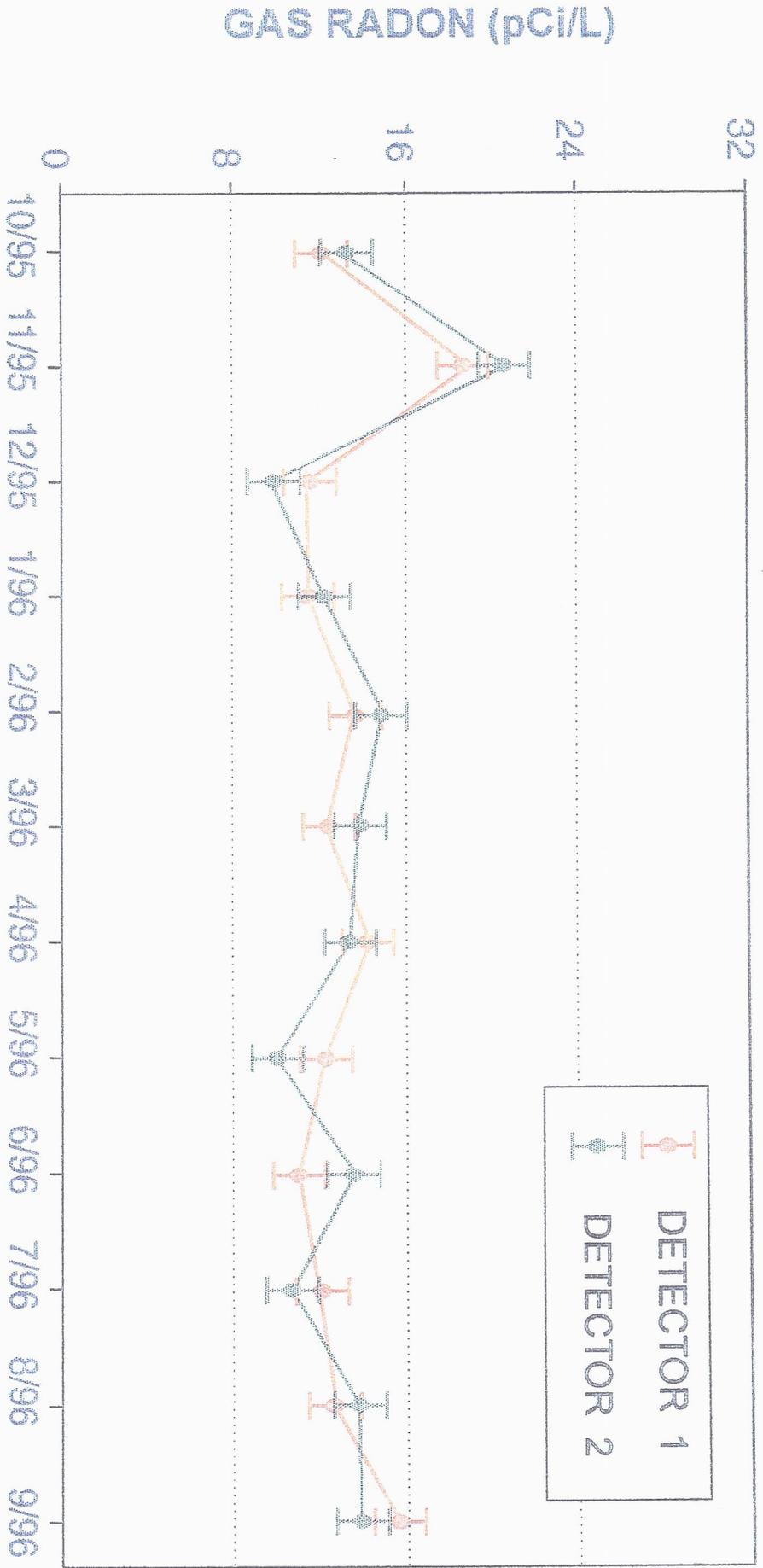
Figura 7.14. Determinaciones de gas radon por espectroscopia de radiacion gamma sobre 'canister' de carbono activo. Octubre /1995. Periodo de integracion: 3 dias.



medidas cada 10 minutos

*Gran panel*

Figura 7.15



MES

Figura 7.16

Gran Panel