

**ESTUDIO PREVIO PUNTUAL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS CUEVAS DE
CANDAMO, EL BUXU, TITO BUSTILLO, EL PINDAL Y LA LOJA.**

**Sergio Sánchez Moral
Juan C. Cañaveras Jiménez
Vicente Soler Javaloyes**

febrero de 2002

ESTUDIO PREVIO PUNTUAL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS CUEVAS DE CANDAMO, EL BUXU, TITO BUSTILLO, EL PINDAL Y LA LOJA.

**Sergio Sánchez Moral
Juan C. Cañaveras Jiménez
Vicente Soler Javaloyes**

El presente informe es resultado de los trabajos de campo realizados en las cuevas de Candamo, El Buxu, Tito Bustillo, El Pindal y La Loja durante el período 30 agosto-4 septiembre de 2001, como respuesta a la propuesta recibida el día 2 de mayo de 2001 por parte de Ana Rodríguez Navarro Directora General de Cultura del Principado de Asturias. Tras las conversaciones establecidas a raíz de dicha propuesta, se fijaron las fechas previamente citadas con la finalidad de obtener una instantánea del estado de conservación de cada una de las cuevas mediante un estudio puntual de cada una de ellas. Para ello se fijaron los siguientes objetivos parciales:

- Medida de parámetros microclimáticos durante un ciclo diario.
- Delimitación de las zonas homogéneas de pigmentación en donde resulte factible la caracterización espectrofotométrica del color.
- Análisis de las condiciones de renovación de la masa de aire mediante determinaciones de ^{222}Rn .
- Localización de los futuros emplazamiento de elementos sensores y equipos de registro microambientales. Dimensionado del cableado de interconexión y alimentación.
- Inspección visual de los niveles de contaminación biológica y del estado de conservación de la roca soporte.
- Elaboración del correspondiente informe.

Asimismo se llevaron a cabo medidas del contenido espectral de la luz artificial utilizado para la visita de la cueva, incluyendo las balizas fijas y linternas de los guías. Las medidas de iluminancia se realizaron con un fotómetro calibrado de la firma INTERNATIONAL LIGHT Inc. Modelo IL 400^a con un detector SEL033 provisto de un filtro fotópico y escotópico.

Además de medidas puntuales realizadas por transectos a lo largo de las principales galerías de la cavidad, en cada una de las cuevas se instaló un sistema portátil de registro de parámetros microclimáticos para la caracterización de sus condiciones microambientales. El equipo se desarrolla en torno a un DATALOGGER autónomo con resolución de 15 bit más signo que recoge las medidas efectuadas por los siguientes sensores:

- Temperatura con sensor tipo Pt-100 y resolución de 1/100 °C, y Humedad relativa del aire con sensor capacitivo.
- CO₂ del aire (1 sensor basado en espectrometría no dispersiva de absorción de infrarrojos de doble haz) con rango de 0 a 7000 ppm y resolución de 10 ppm..
- Variación en la concentración de Radón en aire (1 sensor para medida de ²²²Rn en aire específicamente diseñado y basado en escintilometría de la radiación ALPHA procedente de la desintegración del ²²²Rn, con resolución de 27 Beq./m³).
- Presión Atmosférica: transductor electrónico de membrana de acero inoxidable.

El equipo se completa con una interface de comunicaciones RS232 que enlaza con un PC a través del cual se realiza la recuperación de datos.

Dado el carácter puntual de los registros y del conjunto de las observaciones llevadas a cabo, los resultados obtenidos han de ser contemplados bajo un carácter provisional. No obstante, los trabajos realizados permiten extraer algunas conclusiones suficientemente significativas sobre el estado de deterioro de las cavidades estudiadas, con especial detalle en la conservación del patrimonio cultural que albergan.

CUEVA DE TITO BUSTILLO

Nombre: TITO BUSTILLO

Localización: Ribadesella

Entrada: (N43°27'37" – 5°4'3"W)

Tipo: Artificial, túnel excavado.

Cierre: verjas, puertas metálicas....

Alcance luz exterior: ninguno.

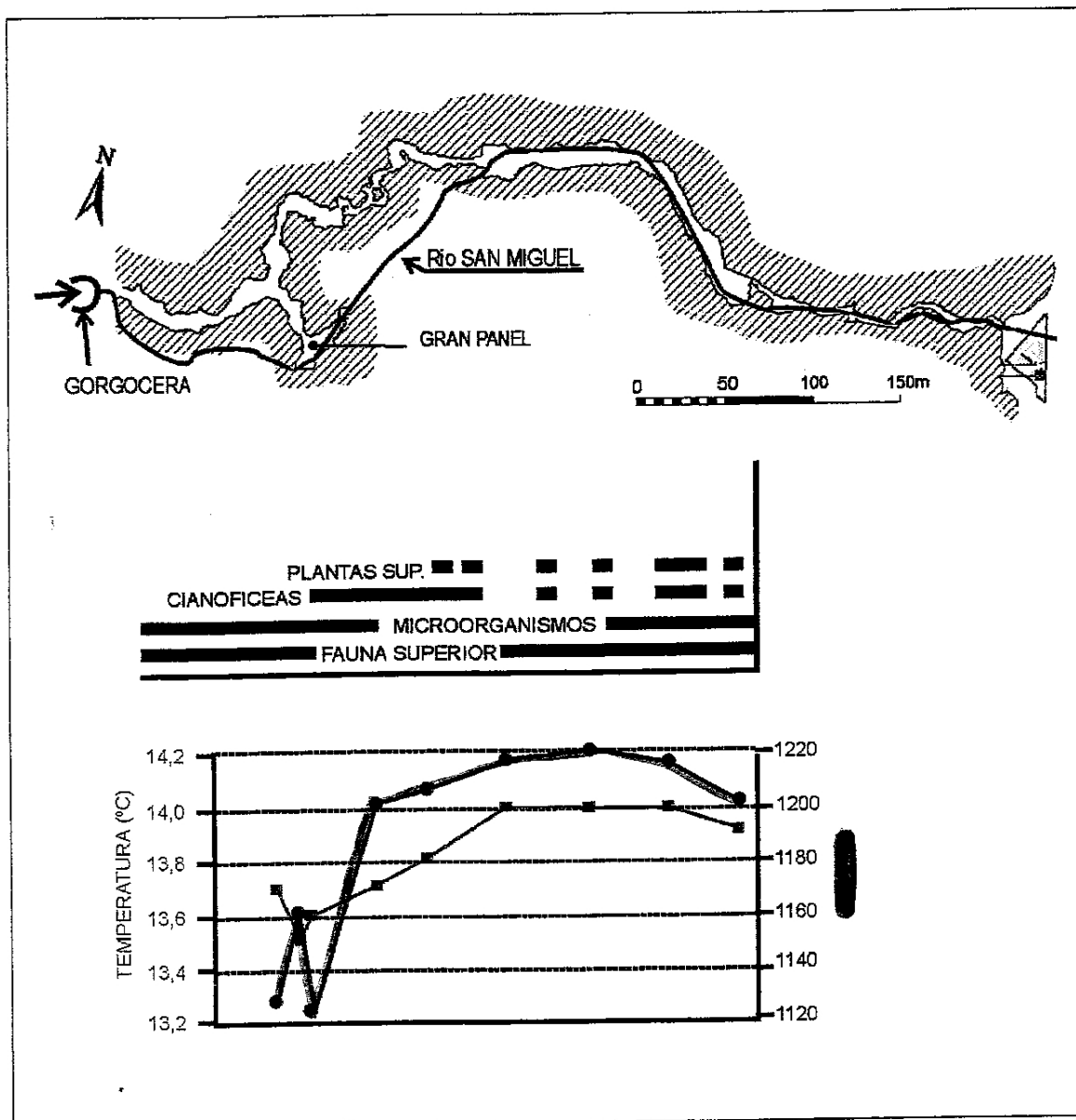


Figura 7. Cueva de Tito Bustillo. Distribución de poblaciones microbiológicas y medidas de CO₂ y Temperatura del aire (2-3/09/01).

Obras de acondicionamiento en el interior de la cueva:

Tipo: túnel, iluminación, pasillos, escaleras, barandillas, etc.

Suelos: acondicionados, húmedos, no levantan polvo.

Otros restos de actividad antrópica reciente: restos de instalaciones eléctricas anteriores, restos de instalaciones de registros medioambientales.

Presencia de actividad biológica:

Tipo: plantas superiores, musgos, murciélagos, insectos, arácnidos, y microorganismos (colonias de cianofíceas, hongos, actinomicetos y otras bacterias).

Distribución: mayor desarrollo en las inmediaciones de los puntos de luz, alarmante desarrollo de microorganismos en la zona del panel (ver esquema).

Agua:

Presencia: río San Miguel, goteos, gours.

Distribución: toda la cueva.

SopORTE:

Tipo: roca (caliza bioclástica).

Estado de alteración: corrosión y colonización microbiológica.

Pinturas/Grabados:

Estado de conservación: procesos de deterioro en progreso alarmante.

Iluminación:

Tipo: Balizas (52 cueva, 15 túnel), focos (3), linternas guía..

Régimen: durante visitas.

Iluminancia:

balizas					
Potencia	lumen	altura	lux	Distancia	
23	1500	75	57,9	70cm	
20	1200	18	443	20cm	
20	1200		601		
20	1200	75	26,3		
15	800	18	610		
15	800	18	190	40cm	

Régimen de visitas:

Periodo de visita: 15 de Junio a 15 de Septiembre (excepto lunes).

Grupos/personas: 2 grupos diarios de 12-13 personas mas guía. Máximo 400 personas/día

Duración: 30-40 minutos (unos 20 minutos frente al Panel)

Microclima:

Transecto: 2/9/01 a 17:00 horas (Figura 7)

Registro continuo: equipo situado frente al Panel principal de pinturas (Figura 8).

Tito Bustillo

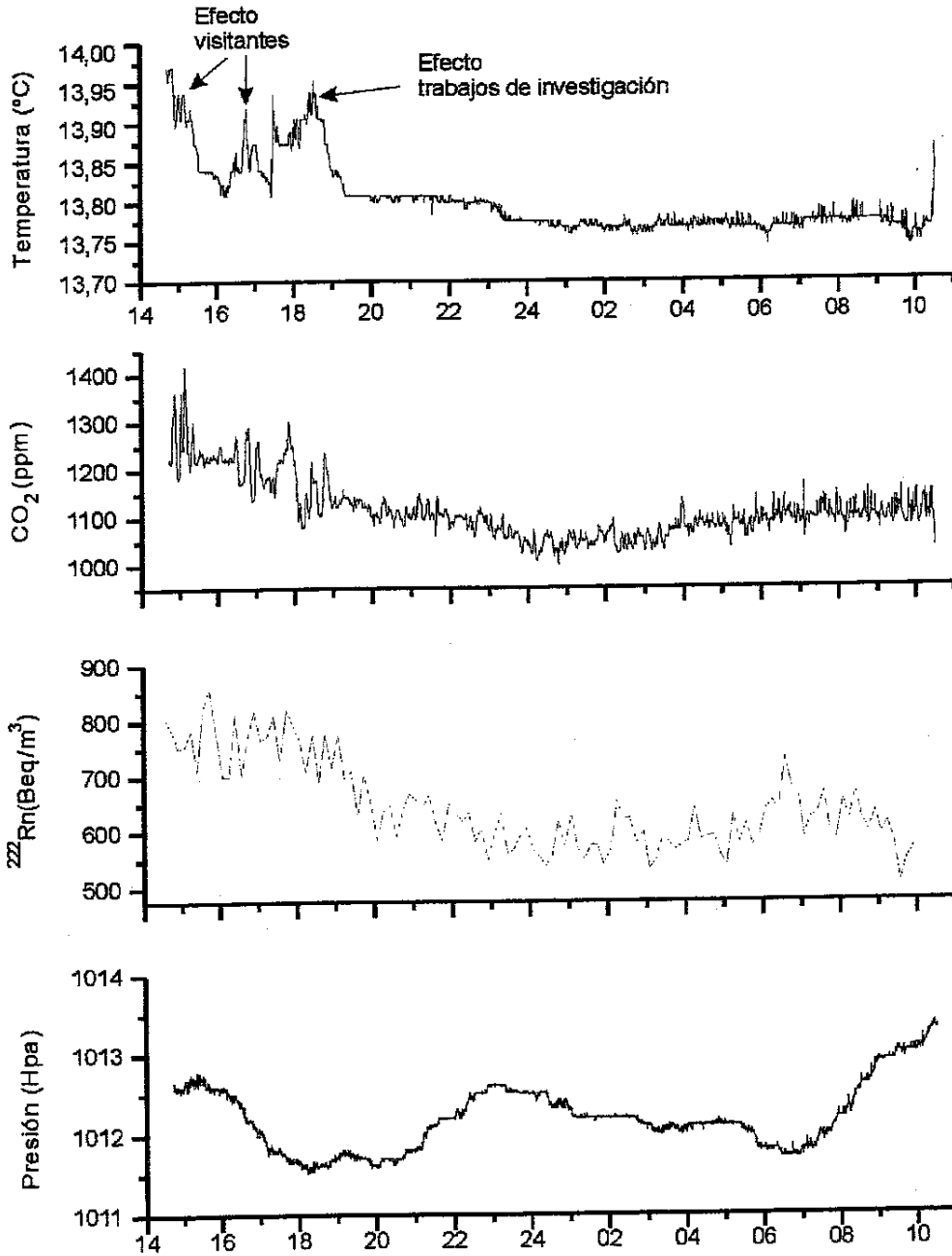


Figura 8. Registro de parámetros microambientales con medidas cada minuto. Comienzo 14:30h del 02/09/01 y final 10:55h del 03/09/2001.

VALORACION DEL ESTADO DE CONSERVACION

Dada la alarmante situación de deterioro que sufre toda la zona visitable de la cueva y en especial el Gran Panel de Pinturas, es importante hacer una serie de consideraciones previas.

A principio de la década de los 90 realizamos un estudio multidisciplinar de las condiciones de conservación en que se encontraba la cueva de Tito Bustillo. Las conclusiones de este estudio, que incluían la delimitación de su área de protección total, así como unas recomendaciones de lo que se estimó el régimen óptimo de explotación de la cueva de cara a las visitas turísticas, se remitió a esa consejería a finales de 1.996 (Memoria final sobre las características geológico-kársticas y microambientales de la Cueva de Tito Bustillo, Ribadesella. (Autores: Hoyos, M.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S. y Sanz Rubio, E.). Entre las recomendaciones hechas en dicho informe respecto al régimen y condiciones de visita, se indicaba:

- a).- Cambiar la iluminación actual por otra de luces frías, así se reduciría al mínimo los aportes de temperatura añadidos. Se reduciría además la proliferación de colonias microbiológicas que son abundantes en las proximidades de cualquier foco luminoso actual.*
- b).- Distribuir los grupos de 25 visitantes a lo largo de las ocho horas de la jornada de trabajo de los guías, ya que frecuentemente el cupo se cubre antes de mediodía.*
- c).- Si se establece la distribución propuesta de los grupos de visitantes, no es necesario que la cueva permanezca toda ella iluminada durante la mañana y tarde, sino que se iría encendiendo y apagando según fuese progresando cada grupo por el interior de la cueva, como ocurre ahora cuando el flujo de visitantes es reducido.*
- d).- En relación con la visita a la Sala del Gran Panel, el tiempo de permanencia debe ser reducido a la mitad, o bien reducir el número de visitantes dividiendo cada grupo en dos grupos, de tal forma que se reduzca el incremento actual de temperatura de 0.5°C. Finalmente, se considera que el periodo de visitas es demasiado largo al cabo del año, como para mantener estos ciclos diarios de alteración de las condiciones naturales.*

En dicho informe, se precisó ya la influencia negativa de las crecidas del río de San Miguel que junto a las aguas de infiltración recogidas en todo el Area de Protección Total de la cueva, incorporan gran cantidad de nutrientes al sistema subterráneo.

Tras nuestro estudio puntual de la cueva (2 al 3/09/01) hemos observado que se han llevado a cabo algunos de esos cambios, si bien, sobre todo en algunos casos, no de forma correcta:

- Cambio de iluminación (a y c): se han sustituido los focos antiguos por balizas de suelo con bombillas de bajo consumo (iluminación fría). En este sentido se puede señalar que el número de balizas instaladas es mucho mayor del necesario para llevar a cabo la visita de la cueva. No obstante el principal efecto negativo de la nueva instalación es el desarrollo de comunidades biológicas complejas (musgos, cianofíceas, etc., incluidas plantas superiores). Estas comunidades aparecen en la zona de influencia de muchas balizas

bajas debido a una colocación deficiente, debido a que la luz incide directamente sobre el sustrato (suelo arcilloso, roca).

Asimismo se ha observado que gran parte de la zona visitable permanece iluminada durante la mayor parte del día en el que entran los visitantes. En este sentido se ha uno de los cambios realizados ha sido individualizar la iluminación de la zona del Gran Panel con objeto de evitar un tiempo excesivo e innecesario de exposición a la luz, pero a pesar de ello el progreso de los procesos de deterioro de las pinturas es alarmante. Se han observado colonias de microorganismos de desarrollo reciente (probables bacterias del tipo actinomiceto, más otras especies no definidas) en la parte inferior del gran panel, colonizando según un patrón coincidente con la incidencia de la luz proyectada por los dos focos empleados para la iluminación de las pinturas.

- Régimen de visitas (b y d): la larga duración de la visita (50 minutos) unida al hecho de que los pases se producen cada 25 minutos, provoca que durante el día el sistema no pueda recuperar los valores de los parámetros microclimáticos previos a la entrada de visitantes. Este hecho induce al efecto acumulativo de la incidencia de los visitantes, ya señalado en el informe de 1996. Los resultados de las mediciones microclimáticas efectuadas muestran variaciones con $\Delta T_{\text{aire}} \approx 0.15^{\circ}\text{C}$ y un $\Delta \text{CO}_2_{\text{aire}} \approx 225\text{ppm}$. Estas modificaciones son de rango similar al observado en los estudios de 1995-96 lo que indica que el régimen de visitas sigue provocando, cuando menos, los mismos efectos negativos que entonces.

En conjunto se puede decir, que el mal estado de conservación de las pinturas rupestres es muy preocupante. La colonización microbiana es especialmente grave en el extremo izquierdo del panel y toda su zona inferior.

De forma similar a la recomendado para Candamo, pero de forma apremiante, sería recomendable la realización de un estudio detallado que permitiera conocer las actuales condiciones microclimáticas de la cavidad (especialmente en la Sala del Gran Panel), así como la evolución de los parámetros ambientales desde 1996 mediante un seguimiento de dichos parámetros durante al menos un ciclo anual. Asimismo es preciso un estudio que permita la identificación y delimitación concreta de las áreas de distribución de las poblaciones microbiológicas, evaluando de forma precisa su estado actual.

CUEVA DE CANDAMO

Nombre: CANDAMO
 Localización: San Román de Candamo
 Entrada: (N43°27'18"-6°4'23"W)
 Tipo: Artificial. Caseta con doble puerta.
 Cierre: Puertas metálicas ranuradas.
 Alcance luz exterior: aproximadamente 20 metros (Figura 1).

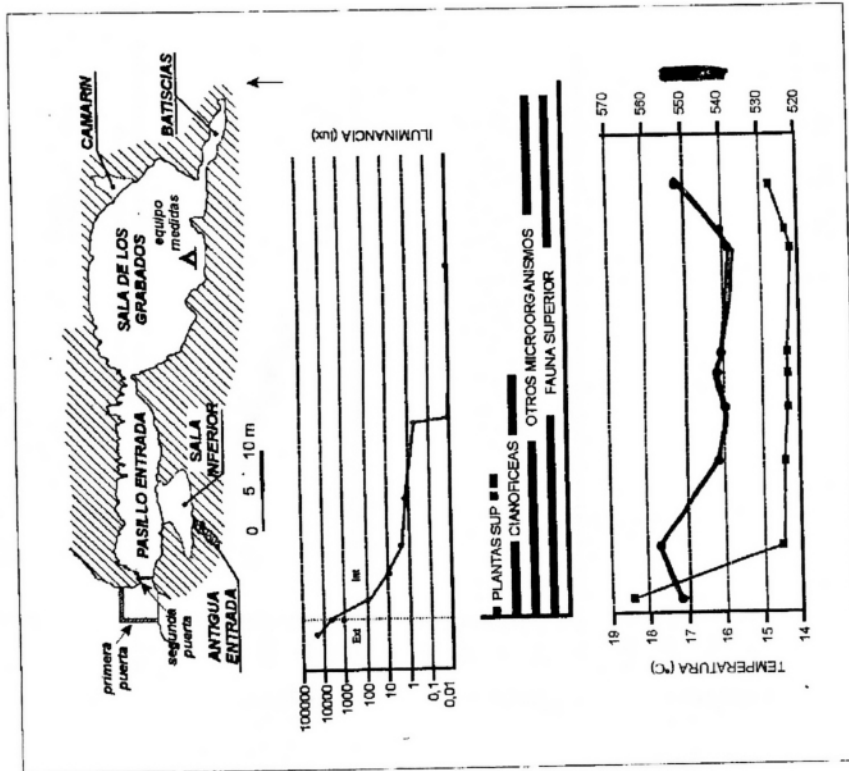


Figura 1. Cueva de Candamo. Resultados de las medidas de iluminancia de la luz exterior que alcanza el interior de la cueva, distribución de poblaciones microbiológicas y medidas de CO₂ y Temperatura del aire (30-31/08/01).

Obras de acondicionamiento en el interior de la cueva:
 Tipo: Pasillos, escaleras de piedra, barandillas metálicas y peldaños excavados en substrato para acceder al Camarín.

Suelos: Húmedos y compactados, no se levanta polvo
 Otros restos de actividad antrópica reciente: Restos de antiguas instalaciones de iluminación.

Presencia de actividad biológica:

Tipo: insectos (dípteros, lepidópteros), arácnidos, y microorganismos (colonias de cianofíceas, hongos, actinomicetos y otras bacterias)
 Distribución: ver Figura 1.

Agua:

Presencia: Muy escasa, goteos dispersos, huellas de escorrentía parietal intermitente.
 Distribución: Galería de entrada, Sala del Panel

SopORTE:

Tipo: Roca (caliza)

Régimen de visitas:

Periodo de visita: 15 de Junio a 15 de Septiembre (excepto lunes).
 Grupos/personas: 2 grupos diarios de 12-13 personas mas guía
 Duración: 30-40 minutos (unos 20 minutos frente al Panel)
 Iluminación:

Tipo: Linternas de mano; luz de tungsteno.

Régimen: una linterna por persona. El panel solo es iluminado por el guía (dos linternas).
 Iluminancia linternas: Máxima: 131-445 lux (a 50cm del panel); 592-691 lux a 2cm del panel; 12,02 lux (camarín); 132 lux (caballito superior panel).
 Difusa: 30-50 lux (a 2 cm del panel);

Microclima:

Transecto: 31/8/01 a 12:00 horas (Figura 1)

Registro continuo: equipo situado frente al Panel principal de pinturas (Figura 2).

VALORACION DEL ESTADO DE CONSERVACION

Tras las observaciones y registros efectuados se puede indicar que, desde el punto de vista inorgánico, el estado de conservación de las pinturas no ha sufrido un deterioro significativo respecto al observado en los estudios llevados a cabo por nuestro equipo a principios de la década de los 90 para el establecimiento del actual régimen de visitas. Esto parece coherente con los datos recabados durante el registro de parámetros microambientales (Figura 2). La entrada de un grupo de 9 visitantes + guía provoca leves variaciones en los principales parámetros ($\Delta T_{amb} \approx 0.15^\circ C$, $\Delta CO_2 \approx 20 ppm$), favorecidas por la alta tasa de renovación del aire de la cavidad en el momento de la visita, como indican las bajas concentraciones de radón en aire registradas. No obstante, para hacer una valoración de dicha influencia actual, así como de la evolución de los parámetros ambientales desde el momento de implantación del actual régimen de visitas, sería aconsejable llevar a cabo un seguimiento de dichos parámetros durante al menos un ciclo anual.

En lo que respecta a los aspectos de deterioro orgánico, existe un gran desarrollo de poblaciones microbiológicas colonizando la cavidad. La presencia de plantas superiores y algas cianofíceas en todo el pasillo de entrada parecen estar en relación directa con la incidencia de la luz exterior debido al actual sistema de cierre de la cueva. Este cierre permite la entrada de luz natural hasta zonas distanciadas 20 metros de la 2ª puerta, debiendo ser modificado este aspecto. La existencia de los organismos citados, junto con numerosos insectos y arácnidos, sirve como base nutriente para el desarrollo y proliferación de otros microorganismos como hongos y bacterias, cuya presencia ha sido detectada en toda la zona visitable. El aspecto más preocupante es la aparición de colonias dispersas de microorganismos en el panel principal de la Sala de los Grabados.

Por todo ello es preciso un estudio que permita la identificación y delimitación concreta de las áreas de distribución de las poblaciones microbiológicas que se desarrollan sobre los muros y techos de la cavidad. Asimismo debería estudiarse su efecto sobre la roca soporte y pinturas y su relación con la hidroquímica de las aguas de infiltración y con la entrada de visitantes.

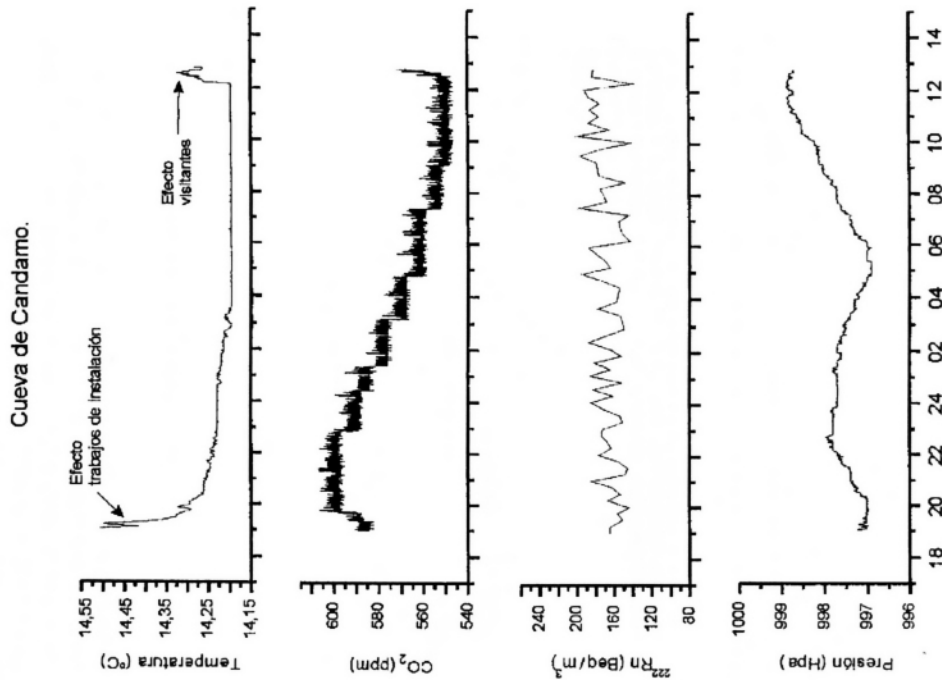


Figura 2. Registro de parámetros microambientales con medidas cada minuto. Comienzo 18:30h del 30/08/01 y final 12:55h del 31/08/2001.

CUEVA DE EL BUXU

Nombre: EL BUXU

Localización: Cardes

Entrada: (N43°21'31,4" - 5°5'59,6"W)

Tipo: Natural re-excavada y agrandada.

Cierre: Puerta metálica (150 x 80cm) con ranuración en mitad superior que no permite la entrada de luz directa (total 84 ranuras circulares de 0,8-1 mm diámetro)

Alcance luz exterior: 0,01 lux a 1m de la puerta (en el exterior a 1 m de la puerta: 209 lux).

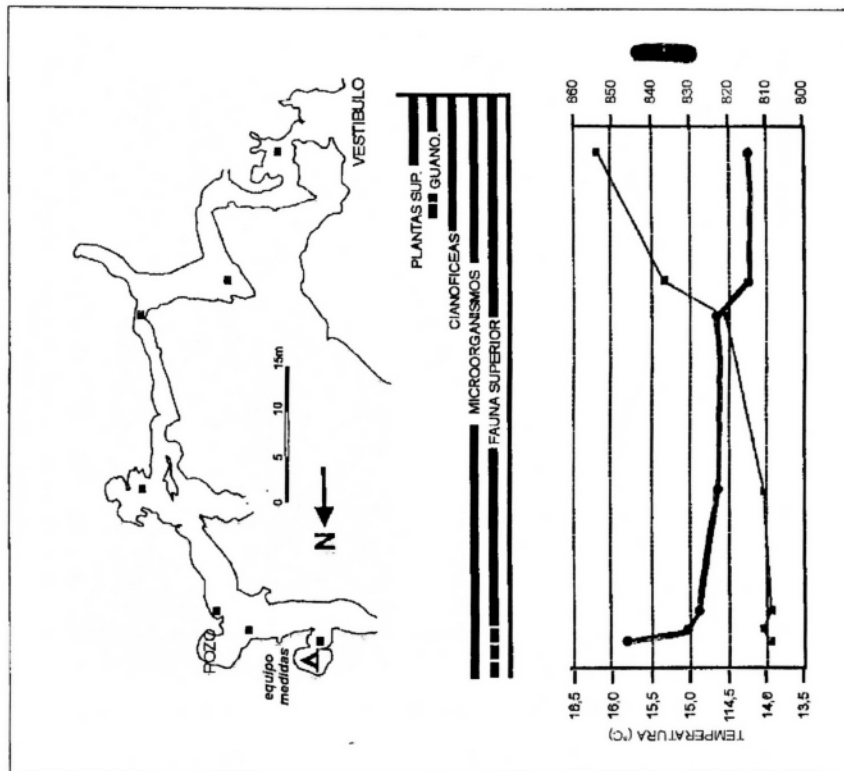


Figura 3. Cueva de El Buxu. Distribución de poblaciones microbiológicas y medidas de CO₂ y Temperatura del aire (31/08/01 al 1/09/01).

Obras de acondicionamiento en el interior de la cueva

Tipo: Iluminación y rebajado de suelos en casi toda la cueva.

Suelos: de grava y arcilla, bastante húmedos, no levantan polvo.

Otros restos de actividad antrópica reciente: existen restos de instalaciones de iluminación previas (madera, cemento, orificios, cables,...).

Presencia de actividad biológica:

Tipo: murciélagos, insectos, arácnidos, y microorganismos (colonias de cianofíceas, hongos, actinomicetos y otras bacterias)

Distribución: mayor desarrollo en la primera mitad de la cavidad; ver Figura 3.

Agua:

Presencia: escasa, goteos intermitentes.

Distribución: disperso.

Soporte:

Tipo: calizas bioclásticas

Estado de alteración: afectado por procesos de microcorrosión.

Pinturas/Grabados:

Estado de conservación: malo. Afectados por procesos de alteración inorgánica (lixiviado, microcorrosión) y orgánica en menor medida.

Iluminación

Tipo: Balizas (17) y focos (4). Más linterna de mano (tungsteno) de guía.

Régimen: Las luces quedan encendidas entre visitas.

Iluminancia: Balizas: 42 lux a 50cm, 14 lux a 100cm, 4 lux a 200cm

Linterna guía (en zona de grabados)

- Directa: Central: 201 lux; difusa: 53 lux; ambiente: 0,74-0,86 lux

- Rasante: Central: 1098 lux; difusa: 42 lux

Régimen de visitas:

Periodo de visita: todo el año (excepto lunes).

Grupos/personas: grupos diarios de 4-5 personas mas guía; máximo de 25 personal al día

Duración: 15 minutos máximo.

Microclima:

Transecto: 1/9/01 a 11:30 horas (Figura 3)

Régistro continuo: equipo situado frente al Panel principal de pinturas (Figura 4).

VALORACION DEL ESTADO DE CONSERVACION

A partir de los datos obtenidos se puede concluir que el microclima de la cavidad es frágil frente a la entrada de visitantes, incluso frente a un régimen de visitantes restringido como el actual. Dicha fragilidad parece estar en relación con las características geomorfológicas de la cueva, que presenta morfología de tubo condicionada por las directrices fundamentales de fracturación del macizo en el que se ubica, y un importante relleno arcilloso kárstico. Durante el período monitorizado (figura 4) se registró el efecto producido por 7 grupos de visitantes más una entrada del grupo de trabajo para la desinstalación del equipo de 1/9/01 y finalmente la entrada del grupo de trabajo para la desinstalación del equipo de medidas. Los resultados obtenidos muestran la influencia de dichas visitas (cujo máximo diario con $\Delta T_{\text{ave}}=0,20^{\circ}\text{C}$ y un valor acumulado del $\Delta\text{CO}_2_{\text{ave}}=250\text{ppm}$). El aspecto más destacado es el efecto acumulativo del incremento de la concentración de CO_2 en aire, en la zona principal de pinturas y grabados junto con la condensación de agua en paredes y techo. Todo ello favorece el desarrollo de procesos de microcorrosión del soporte observado en las áreas de representaciones artísticas.

Dado que las medidas se llevaron a cabo durante el verano, estación del año en la que en condiciones normales la tasa de renovación del aire en cuevas de la comarca Cantábrica es relativamente alta (como indican los valores de Radón), se puede inferir que el efecto negativo de la entrada de visitantes debe ser mayor durante las épocas con menores tasas de intercambio entre la cueva y el exterior. No obstante sería recomendable la realización de un seguimiento similar al recomendado para la cueva de Candamo.

En cuanto a los procesos de deterioro orgánico, parece haber una clara relación entre la proliferación de comunidades microbiológicas y la proximidad a la entrada actual. En la zona del vestíbulo se identificaron acumulaciones de restos fecales de murciélagos (guano) que junto con la presencia de otros restos orgánicos procedentes de obras de acondicionamiento previas (maderas) sirven de base nutriente para el desarrollo y dispersión de las poblaciones microbianas observadas. Asimismo, la mezcla de aguas de infiltración con acumulaciones de guano puede provocar el incremento de la acidez de dichas aguas y favorecer los procesos de disolución y precipitación de minerales carbonatados. De manera similar a lo recomendado para Candamo sería interesante identificar y delimitar la distribución de dichas poblaciones en la cueva.

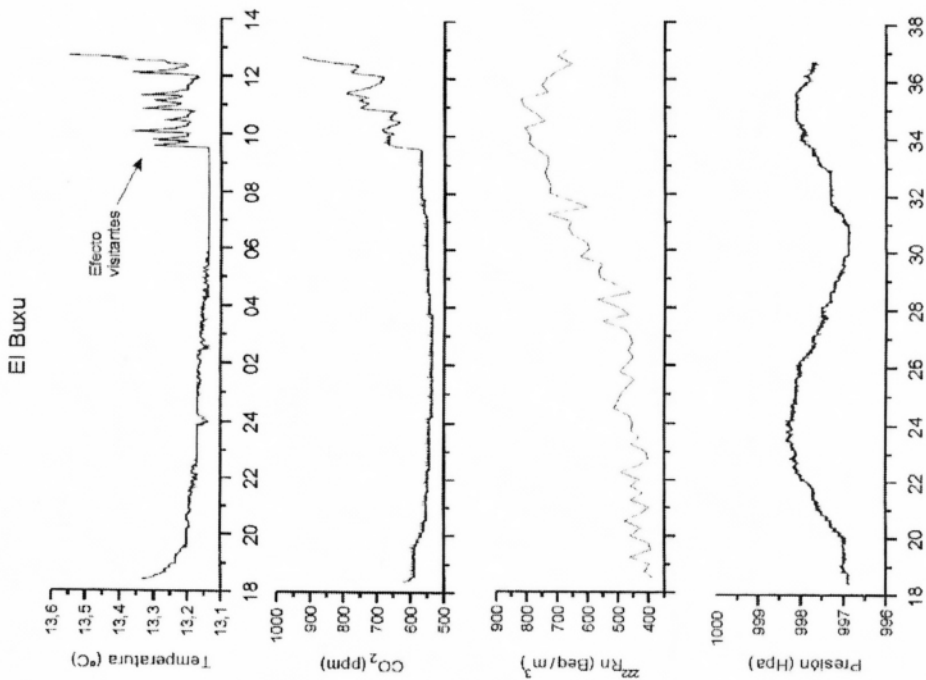


Figura 4. Registro de parámetros microambientales con medidas cada minuto. Comienzo 18:30h del 31/08/01 y final 12:55h del 1/09/2001.

CUEVA DE EL PINDAL

Nombre: **EL PINDAL**
 Localización: Pimiango; Cabo San Emeterio
 Entrada: N43°23'51" W4°31'58"
 Orientación: N80E
 Tipo: natural muy amplia
 Cierre: verja (10m x 2,7 de altura máxima)
 Alcance luz exterior: (decenas de metros, en función de hora y estación, Figura 5)

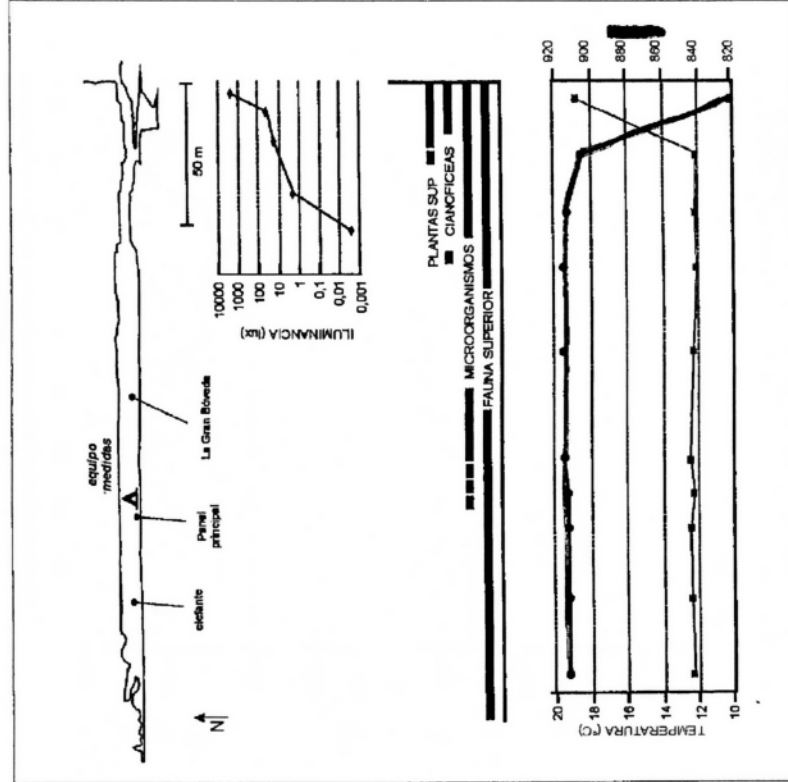


Figura 5. Cueva de El Pindal. Resultados de las medidas de iluminación de la luz exterior que alcanza el interior de la cueva, distribución de poblaciones microbiológicas y medidas de CO₂ y Temperatura del aire (1-2/09/01).

Obras de acondicionamiento en el interior de la cueva:

Tipo: Escaleras de piedra, barandillas, balizas, ...
 Suelos: acondicionados y muy húmedos, no levanta polvo.

Presencia de actividad biológica:

Tipo: murciélagos, insectos, arácnidos, y microorganismos (colonias de cianofíceas, hongos, actinomicetos y otras bacterias).
 Distribución: mayor desarrollo en la primera mitad de la cavidad; no parecen alcanzar a la zona de pinturas principal; ver Figura 5.

Agua:

Presencia: agua de escorrentía parietal, goteos y río intermitente (estacional)
 Distribución: dispersos

Soporte:

Tipo: calizas bioclásticas oscuras ricas en sulfuros de hierro y materia orgánica.
 Estado de alteración: capa de alteración de tonalidades claras.

Pinturas/Grabados:

Estado de conservación: relativamente bueno.

Iluminación:

Tipo: Balizas y focos. Más linterna de mano (tungsteno) de guías.

Régimen de visitas:

Periodo de visita: Todo el año (excepto lunes y martes).

Grupos/personas: grupos máximos diarios de 25 personas mas guía. Máximo diario: 200 personas

Duración: 25-30 minutos

Microclima:

Transecto: 1/9/01 a 18:00 horas (Figura 5)

Registro continuo: equipo situado frente al Panel principal de pinturas (Figura 6).

VALORACION DEL ESTADO DE CONSERVACION

La cavidad se desarrolla a favor de una directriz principal de fracturación, de dirección aproximada E-W. La disposición de las calizas encajantes de la cavidad en planos de estratificación casi horizontales, favorece la caída de grandes bloques de roca permitiendo la apertura de grandes galerías por las que circula el agua libremente; en este sentido se han observado desplomes recientes que han afectado tanto a la roca como a formaciones espeleotémicas. A falta de un estudio geomorfológico de mayor detalle, se puede concluir que el sistema kárstico está conectado hidrologicamente con el mar; este hecho parece condicionar el régimen microclimático de la cueva como muestra la figura 6, donde se observan variaciones periódicas (6 horas) en la concentración de CO₂ en aire, muy probablemente condicionadas por el efecto de las mareas. Estos incrementos naturales son de un rango similar al producido por la entrada de visitantes en la cavidad (ΔCO_2 aire ≈ 100 ppm) y no se reflejan en cambios en la temperatura del aire. El efecto de la entrada de visitas (14 personas en dos grupos) en este último parámetro provoca un leve incremento inferior a 0,02°C. Esta baja incidencia de la entrada de visitantes en los parámetros microclimáticos debe estar relacionada con una alta tasa de intercambio de aire/energía con el exterior favorecida por la gran amplitud de la entrada natural. Sin embargo, los valores de Radón detectados durante el período de medidas son considerablemente altos (≈ 3000 Bq/m³) comparados con los obtenidos en el resto de las cuevas estudiadas (< 900 Bq/m³). Este hecho debe estar relacionado con la situación geológica de la cavidad y con los materiales que constituyen el encajante del sistema kárstico y debería tenerse en cuenta en próximos estudios, dado el alto nivel de radiación existente en una época del año en la que normalmente se deben registrar los valores menores dentro del ciclo anual.

Respecto a los procesos de deterioro orgánico, según nuestras observaciones, existe una incipiente colonización microbiológica de la roca soporte, en zonas próximas al panel de pinturas. La amplia entrada natural favorece la llegada de luz natural en los primeros 50 metros del interior de la cueva, favoreciendo el desarrollo de comunidades heterótrofas que como ya hemos señalado sirven de base nutricional para otras comunidades quimiótrofas.

En resumen y como conclusiones preliminares podemos indicar, que el efecto de la entrada de visitantes en la cavidad en el momento de las mediciones, provoca variaciones de los parámetros microambientales de rango similar o menor que las variaciones originadas por la dinámica natural del sistema kárstico. En conjunto el estado de conservación del arte rupestre está afectado por procesos naturales de lavado por escorrentía paneal, siendo únicamente destacable la proximidad al panel principal de pinturas de comunidades microbiológicas cuyo desarrollo parece progresar desde la zona de la entrada.

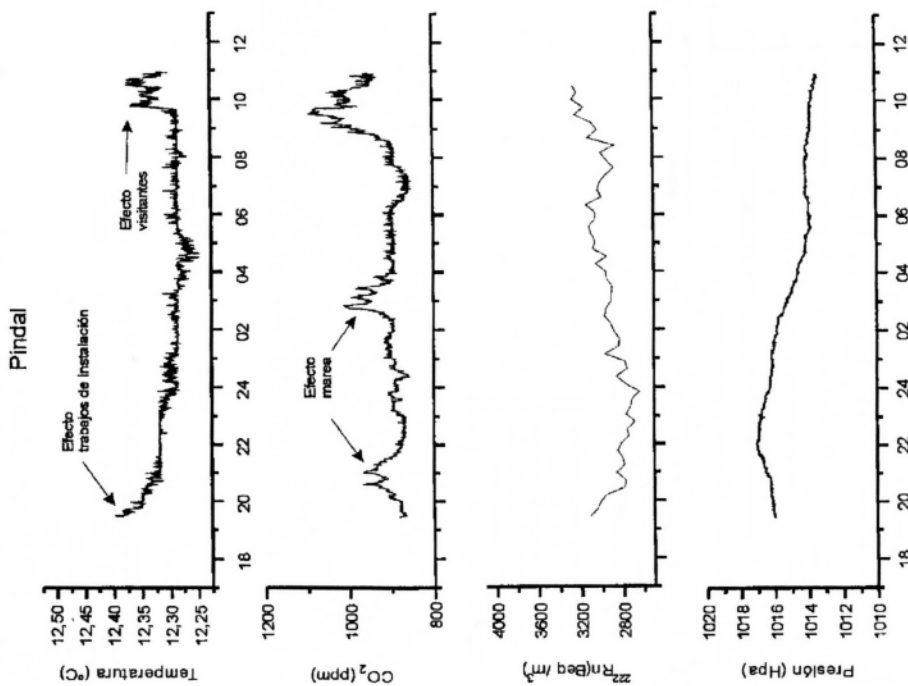


Figura 6. Registro de parámetros microambientales con medidas cada minuto. Comienzo 19:30h del 01/09/01 y final 10:55h del 02/09/2001.

CUEVA DE LA LOJA

Nombre: LA LOJA
 Localización: El Mazo (Peñamellera Baja)
 Entrada: (N43°19'51" - 4°33'34"W)
 Orientación: N60°E
 Tipo: natural
 Cierre: verja (276 x 174cm de anchura y alturas máximas)
 Alcance luz exterior: sin sobrepasar la decena de metros (Figura 9)

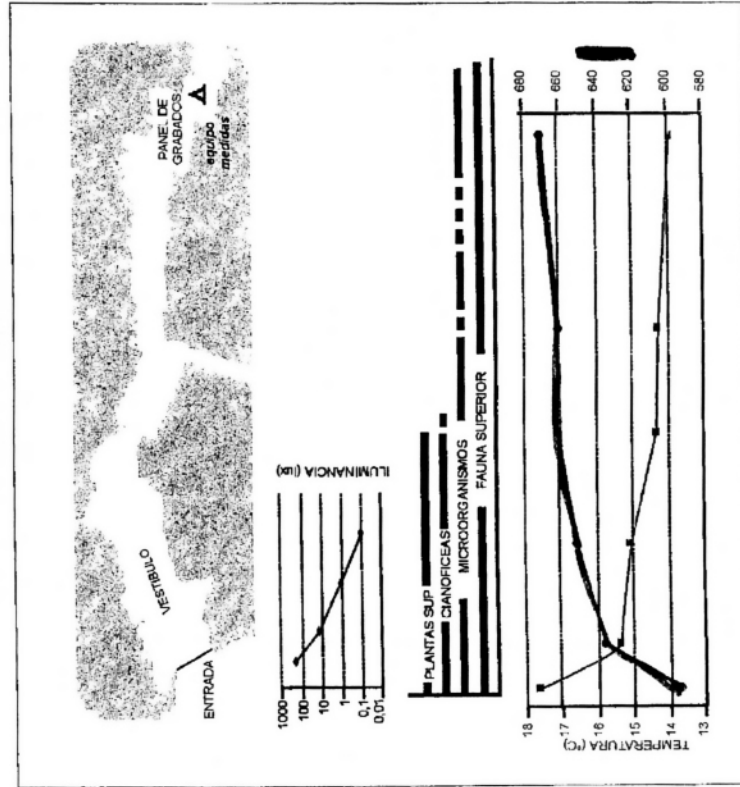


Figura 9. Cueva de La Loja. Resultados de las medidas de luminosidad de la luz exterior que alcanza el interior de la cueva, distribución de poblaciones microbiológicas y medidas de CO₂ y temperatura del aire (3-4/09/01).

Obras de acondicionamiento en el interior de la cueva
 Tipo: acondicionamiento de entrada y suelos. Ausencia de iluminación artificial.

Suelos: gravilla y arcilla.
 Otros restos de actividad antrópica reciente: no.

Presencia de actividad biológica:

Tipo: plantas superiores (raíces), musgos, murciélagos, insectos, arácnidos, y microorganismos (colonias de cianofíceas, hongos, actinomicetos y otras bacterias). Incluso animales superiores (restos de comida, defecaciones, etc.).

Distribución: amplio desarrollo, el panel de los grabados aparece colonizado incipientemente en su zona inferior (Figura 9).

Agua:

Presencia: goteos discontinuos.
 Distribución: toda la cueva.

SopORTE:

Tipo: caliza

Estado de alteración: capas de alteración ricas en óxidos de manganeso, donde se han realizado los grabados.

Grabados:

Estado de conservación: bastante buena.

Iluminación

Tipo: linternas guía.

Régimen: Linternas en panel de grabados
 centro difuso

Iluminancia (lux) 81,6 15,86

Régimen de visitas:

Periodo de visita 156 a 1710 y Semana Santa (excepto lunes).

Grupos/personas: grupo máximo de 10 personas más guía.

Duración: 9-10 minutos.

Microclima:

Transecto: 2/9/01 a 17:00 horas (Figura 9).

Registro continuo: equipo situado frente al Panel principal de grabados (Figura 10).

VALORACION DEL ESTADO DE CONSERVACION

Las representaciones artísticas de esta cueva muestran características especiales debido a su ubicación (panel en altura) y su propia naturaleza, ya que los grabados se han realizado sobre capas de alteración superficial de la roca soporte ricas en óxidos de manganeso. En general su estado de conservación es bueno; se ven afectados por procesos de descamación y de forma incipiente por el desarrollo de comunidades microbiológicas en la zona baja del panel. En este sentido, se puede resaltar que es preocupante la gran cantidad de restos orgánicos presentes en el interior de la cueva que sirven directamente de nutrientes para las comunidades microbiológicas, las cuales colonizan extensamente toda la galería de acceso. Sería recomendable proceder a una limpieza inmediata de toda la zona visitable, retirando todos los restos orgánicos presentes.

En cuanto al registro de parámetros medioambientales, los 2 grupos de 7 personas más guía que entraron durante el período de medidas y se situaron 5 minutos frente al panel de grabados provocaron un $\Delta T_{amb} \approx 0.12^\circ\text{C}$ y un $\Delta\text{CO}_2_{amb} \approx 75\text{ppm}$. Si bien la incidencia de ambos grupos no supone una gran modificación del microclima de la cueva, se debe tener en cuenta que la capacidad máxima de visita de 35 personas debe traducirse en variaciones de mayor rango, sobre todo en el caso de la temperatura, que si podrían afectar a las condiciones microambientales de la cueva. En cuanto a la concentración de CO_2 en aire, los datos no son muy significativos dado que durante el período de registro se estaba produciendo un descenso natural en la concentración de dicho gas en la cavidad; este fenómeno queda confirmado por el fuerte descenso de los valores de Radón, sincrónico a la disminución del CO_2 .

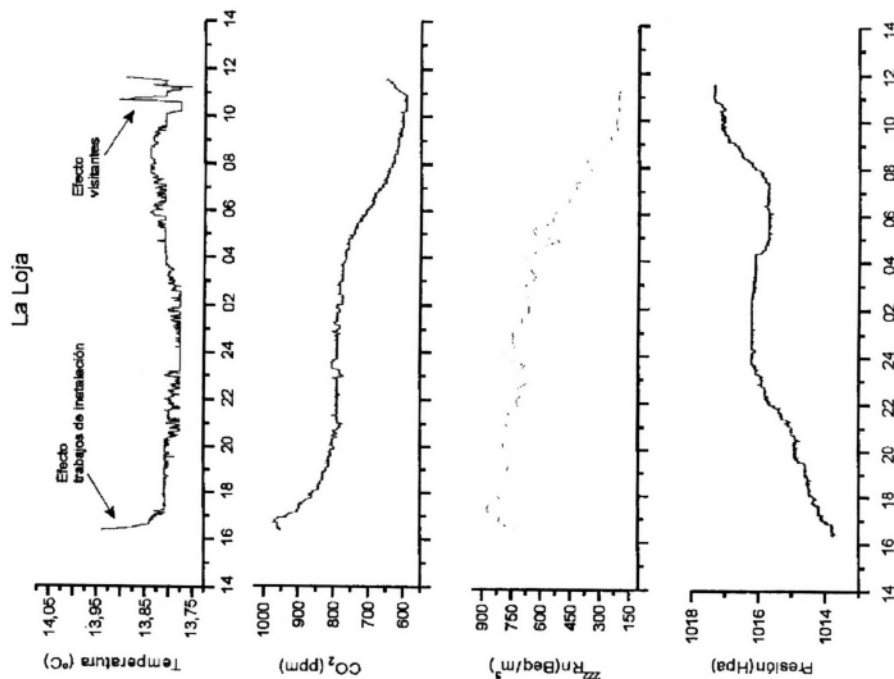


Figura 10. Registro de parámetros microambientales con medidas cada minuto. Comienzo 16:00h del 03/09/01 y final 11:40h del 04/09/2001.

PROPUESTA DE ESTUDIO

De las cinco cuevas analizadas, proponemos el estudio multidisciplinar detallado, con registro del comportamiento microclimático durante un ciclo anual, de las cuevas de Candamo, Tío Bustillo y El Pindal. En cuanto a las cuevas de El Buxu y La Loja aconsejamos un estudio mas sencillo tendente a elaborar una relación de medidas concretas para mejor conservación.

El estudio tendría un duración de dos años, periodo mínimo para garantizar la obtención de un ciclo de al menos 18 meses de medidas, lo que nos permite comprobar la reproducibilidad del ciclo estacional.

Los objetivos concretos de los estudios a realizar, enfocados a la conservación del arte rupestre consisten en determinar en que grado las condiciones kársticas actuales de la cueva son favorables para la conservación del arte rupestre que alberga. Para ello se establece un modelo físico-químico del funcionamiento kárstico de la cueva, en el que se contemplan todos aquellos parámetros que directa o indirectamente están relacionados con las pinturas y su soporte, siendo necesario cubrir una serie de objetivos parciales mediante los siguientes trabajos:

1. La caracterización de las condiciones microambientales naturales y su ciclicidad tanto del exterior (presión atmosférica, temperatura, pluviosidad y humedad relativa) como del interior del recinto en función de diferentes parámetros: temperatura de la aire, humedad relativa, presión parcial de CO_2 , temperatura en la interfase roca-aire etc.
2. Evaluación del efecto combinado de los visitantes en el incremento en CO_2 , humedad del aire, y variaciones en la temperatura que puede incidir directamente en la intensidad de los procesos de alteración (condensación y corrosión parietal, disolución selectiva, expansión-retracción de arcillas) tanto de la roca soporte como de los materiales que constituyen las pinturas.
3. Análisis y registro continuo de la concentración de radón como indicador del grado de renovación de la masa de aire.
4. Caracterización de las propiedades fisico-químicas del agua de infiltración. Seguimiento de las variaciones del flujo de infiltración en puntos representativos.
5. Caracterización petrológica y mineralógica del soporte de las pinturas y espeleotemas, así como de los procesos de crecimiento microcristalino "veladuras" y microdisolución que se observan en algunos puntos. Evaluación del grado de calcificación y/o corrosión del soporte de las pinturas.
6. Análisis espectrofotométrico del color de zonas escogidas con pigmentación homogénea comparativos y localización de los puntos de medida sobre soporte digital. Creación de un registro de espectros que permitan futuros controles del estado de conservación.
7. Identificación de poblaciones microbiológicas que se desarrollan sobre los muros y techos de la cavidad. Datos sobre su efecto en la roca soporte y pinturas y relación con la hidroquímica de las aguas de infiltración.
8. Modelización geoquímica ($CO_2-H_2O-CO_3Ca$) y microclimática integrada en función de las características de la roca soporte, agua de infiltración y parámetros

ANEXO

Propuesta de Estudio

microambientales (naturales y modificados por los visitantes). Evaluación de su incidencia en la conservación de las pinturas en función de la composición y grado de corrosión/calcificación de éstas.

Con objeto de determinar la viabilidad de realizar determinaciones espectrofotométricas del color, de forma que sea posible detectar cualquier alteración temporal que se pudiese producir, hemos inspeccionado detalladamente los trazos más significativos de los paneles de pinturas. El tamaño mínimo aconsejable para poder realizar una determinación de color con garantías de reproducibilidad es de aproximadamente 10mm.de diámetro o lado.

Este requisito lo cumplen sobradamente muchos trazos de los paneles de pintura de El Pindal y Tito Bustillo, siendo más escasos en La cueva de Candamo y prácticamente nulos en El Buxu y La Loja.

De cara a realizar un registro de los parámetros microclimáticos, hemos localizado en las cuevas de Candamo, Tito Bustillo y El Pindal zonas, para el emplazamiento de los equipos de medida, situadas en el interior de la cueva, al abrigo de los goteos y lo suficientemente alejadas de las pinturas como para garantizar una nula influencia en las mismas. La instalación de los equipos en el interior de las cuevas, representa un problema técnico en cuanto a su protección frente a la humedad ambiente se refiere; pero una vez resuelto dicho problema, se garantiza una mayor inmunidad frente al vandalismo o los accidentes, a la vez que se evitan las influencias del ciclo térmico diario y estacional que se suelen manifestar en forma de una pequeña deriva de los elementos de medida.