

**ESTUDIO
SOBRE
LA VIABILIDAD DE APERTURA
DE**

LA CUEVA DEL CARRASCAL

**EN
SANTA OLAJA DE LA VARGA
CISTIerna**

L E O N

**DELEGACION LEONESA
DE LA FEDERACION DE CASTILLA Y LEON DE ESPELEOLOGIA
LEON, JULIO DE 1992.**

INDICE

0. INTRODUCCION	1
1. SITUACION DE LA CUEVA	3
2. UN POCO DE HISTORIA	5
3. GEOLOGIA LOCAL	6
3.1 INTRODUCCION	6
3.2 ESTRATIGRAFIA	7
3.2.1 Devónico	7
3.2.1.1 Complejo La Vid	7
3.2.1.2 Caliza de Santa Lucia	7
3.2.1.3 Pizarras de Huergas	8
3.2.1.4 Caliza de Portilla	8
3.2.1.5 Areniscas de Nocedo	9
3.2.1.6 Pizarras de Fueyo	9
3.2.1.7 Areniscas de La Ermita	10
3.2.1.8 Devónico Superior Indiferenciado	10
3.2.2 Carbonífero	11
3.2.2.1 Carbonífero Pre-Westfaliense D Superior	11
3.2.2.1.1 Formación Alba	11
3.2.2.1.2 Namuriense	12
3.2.2.2 Las Cuencas de Prado-Guardo-Cervera y de Sabero	12
3.2.3 Cretácico	14
3.2.3.1 Tramo Inferior Detritico	14
3.2.3.2 Tramo de Transición	15
3.2.3.3 Tramo Superior Carbonatado	15
3.2.4 Terciario	16
3.2.5 Pliocuaternario: Raña	17
3.2.6 Cuaternario y Formaciones superficiales	17
3.2.6.1 Terrazas	18
3.2.6.2 Vertientes	18
3.2.6.3 Fondos de Valle	18
3.2.6.4 Conos de Deyección	18
3.2.6.5 Aluviones Actuales	19
3.2.6.6 Depósitos Karsticos	19
3.2.6.7 Sedimentos Antrópicos	19
3.3 TECTONICA	19
3.3.1 Tectónica de los materiales Antaterciarios	19
3.3.1.1 Plegaminetos	19
3.3.1.2 Fracturas	21
3.3.1.3 Resumen y Cronología	22
3.3.2 Tectónica Terciaria	22
3.4 GEOMORFOLOGIA	23
3.5 HIDROGEOLOGIA	25
4. DESCRIPCION DE LA CUEVA	26
5. ESPELEOGENESIS	28

6. METEOROLOGIA, CLIMA Y CONSERVACION DEL MEDIO	30
6.1 LA CONSERVACION DEL MEDIO SUBTERRANEO	30
6.2 LA CIRCULACION DEL AIRE EN LAS CAVERNAS	30
6.2.1 El Fenómeno Endotérmico de las Mezclas de dos Masas de Aire con diferentes contenidos de Humedad.....	33
6.3 LA CORROSION Y EL CLIMA SUBTERRANEO	34
6.3.1 Los Diferentes Tipos de Corrosión	35
6.3.1.1 La Corrosión Fisico-Química	35
6.3.1.2 La Corrosión Bioquímica	35
6.3.1.2.1 La Corrosión ligada a la Fermentación de Aportes Orgánicos in- dependientes de la Luz	36
6.3.1.2.2 La Corrosión ligada a la presencia de Vege- tales con Clorofila...	37
6.4 METEOROLOGIA DE LA CUEVA DEL CARRASCAL	40
6.4.1 Metodología e Instrumentación	40
6.4.2 Datos Climáticos / Resultados Estadísticos	42
7. LUGARES DE INTERES	57
7.1 OTRAS CAVIDADES	57
7.2 LUGARES DE INTERES CULTURAL	59
8. CONCLUSIONES	60
8.1 LA CONSERVACION DEL ECOSISTEMA DE LA CUEVA ...	60
8.2 ACCESOS E INPAESTRUCTURA	60
8.3 INVERSIONES FINANCIERAS	61
BIBLIOGRAFIA	63

O. INTRODUCCION

Este trabajo tiene por objeto emitir un informe acerca de las posibilidades de apertura de la Cueva del Carrascal a las visitas turísticas y es consecuencia del escrito de la Excm. Diputación Provincial de León (Secretaría. Negociado de Intereses Generales) de fecha 29 de octubre de 1990, con registro de salida número 15346 de 31 de octubre de 1990, cuyo contenido literal es el siguiente:

'DESTINATARIO: Federación Castellano-Leonesa de Espeleología. (Delegación Leonesa). Apartado de Correos, 718 24080 LEON.'

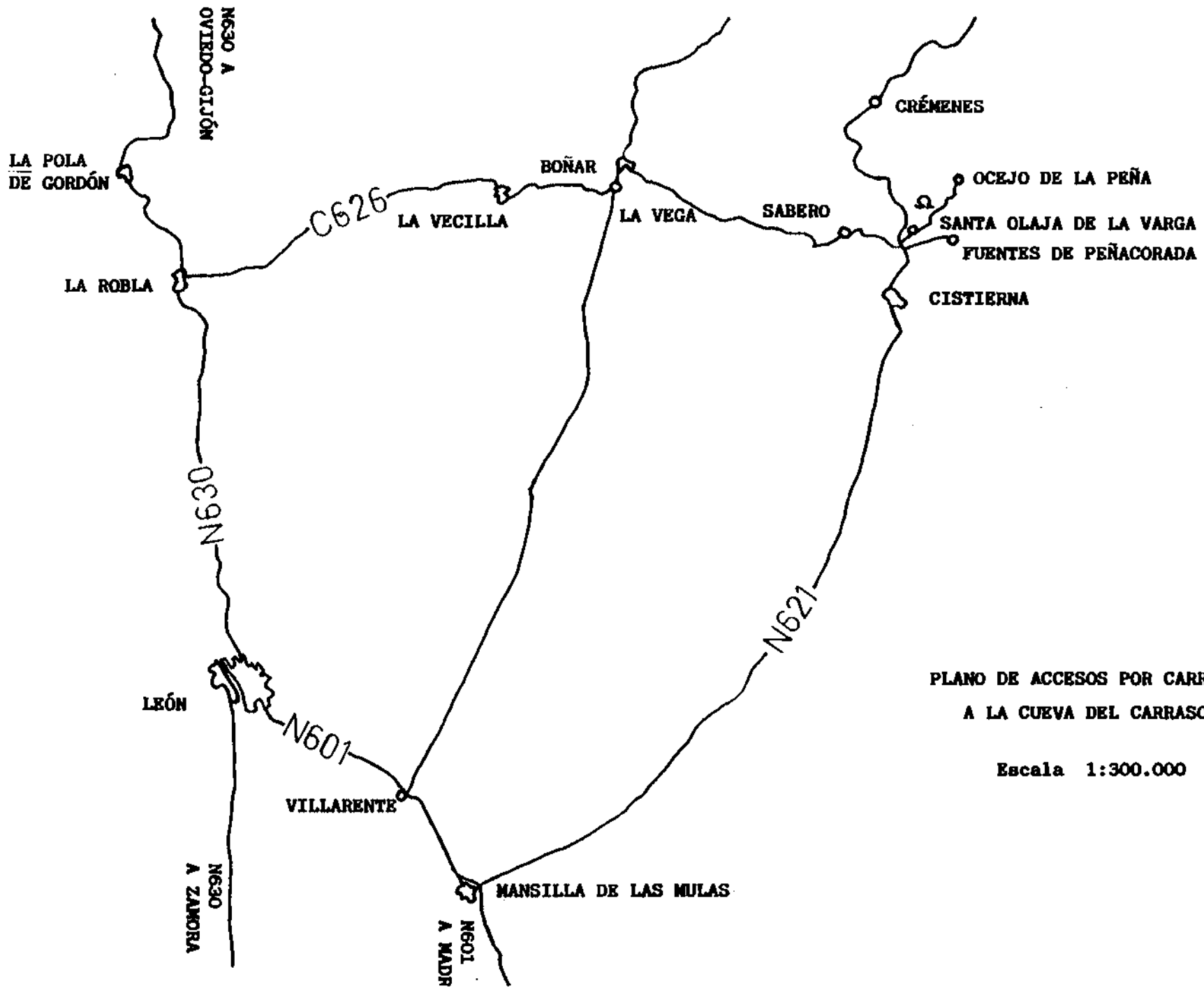
'ASUNTO: Comunicación Decreto. FECHA: 29 de octubre de 1990.'

'Con esta fecha, el Ilmo. Sr. Presidente ha dictado el siguiente Decreto:'

"Vista la propuesta de gasto incoada por la Comisión de Deportes sobre "subvención para proyecto estudio viabilidad de apertura cueva en la zona de Peñacorada", por importe de 175.000 pts., y conocido el informe de la Intervención de Fondos; esta Presidencia, en uso de las atribuciones que le son propias, acuerda su aprobación y que se abone el importe de dicha subvención con cargo a la partida 472.71830-510 del Presupuesto Ordinario."

'Lo que traslado a Ud., para conocimiento y efectos.'

'El Secretario, acct. Fdo: José Manuel Valle Cervero.'



**PLANO DE ACCESOS POR CARRETERA
A LA CUEVA DEL CARRASCAL**

Escala 1:300.000

1. SITUACION DE LA CUEVA

La Cueva del Carrascal se encuentra situada en el término de la entidad local menor de Santa Olaja de la Varga, en el municipio de Cistierna. Para acceder a ella partiendo de la capitalidad del municipio, debemos continuar hacia el Norte por la carretera N-621 y, una vez recorridos aproximadamente seis kilómetros, sobrepasado el cruce de Sabero, a mano derecha en el sentido de la marcha se encuentra el desvío hacia la localidad de Santa Olaja de la Varga.

Desde este lugar debemos continuar, atravesando el pueblo, por el camino que conduce a Ocejo de la Peña, senda sin asfaltar, aunque practicable para cualquier tipo de vehículo, y que no ha muchos años era compartida con la vía estrecha del ferrocarril minero. A la salida de Santa Olaja nos encontramos con un primer túnel y, 1.150 metros más adelante, con otro; superado éste, a unos 350 metros, a nuestra mano izquierda se encuentra "La Riega", un arroyo que desciende desde el Valle de Nuestra Señora. -No hay pérdida posible puesto que es el único antes de alcanzar el antiguo descargadero de carbón hoy abandonado y en ruinas-.

Por la margen izquierda de "La Riega", -a nuestra derecha en el sentido de observación aguas arriba-, serpentea una pista accesible para vehículos todo terreno que conduce hacia el Valle de Nuestra Señora y que deberemos tomar para alcanzar la Cueva del Carrascal. La pista serpentea pendiente arriba adaptándose al terreno, primero entre el pastizal, para penetrar seguidamente en el carrascal o encinar. Casi al final de nuestro trayecto la pista se aproxima a la pared rocosa del Monjo de la Vaca, discurriendo a su costado un corto trecho; cuando comienza a separarse el camino, debemos proseguir la marcha durante un minuto aproximadamente, entonces la pista se desvía ligeramente hacia la derecha; aquí existe una bifurcación hacia la izquierda que nos conducirá hacia nuestro objetivo: La Cueva del Carrascal.

Alcanzar este punto caminando normalmente y con carga moderada supone unos veinte minutos. Si sufrimos un despiste inmediatamente nos daremos cuenta, mejor dicho medio minuto más tarde, puesto que transcurrido dicho lapso de tiempo caminando, la pista gira violentamente hacia la derecha, unos noventa grados. Si esto nos ha ocurrido, no es necesario dar marcha atrás; hacia la izquierda parte una estrecha senda descendente que nos conducirá, igualmente, hacia la cueva.

Bien, desde la bifurcación hacia la izquierda, antes mencionada, tras un minuto de marcha, -aquí el 4 X 4 es inservible-, nos situamos en una pequeña explanada, que aparece cercada con estacas y alambre por la izquierda: Es el Corral de los Novillos; mientras que a la derecha, adosado a un mogote calizo, se encuentra un abrevadero. En el estío es el único punto con agua para nuestros carbureros, pues la riega baja seca ya que las aguas procedentes del valle superior circulan subálveamente.

Prosiguiendo la senda durante seis minutos más, a la derecha y al lado de ella, se abre la Cueva del Carrascal, fácilmente visible, sobre todo la verja metálica de color rojo minio que cerraba la primitiva entrada.

Si tenemos necesidad de aprovisionarnos de agua potable, arriba, en el Valle de Nuestra Señora -diez minutos de marcha- existe una fuente provista de caño. Se encuentra situada hacia el centro del valle, donde se amplía, entre un grupo de carrascas, en el margen derecho. Se localiza con facilidad pues hacia ella se dirige una zigzagueante línea de juncos; a su lado, en una plataforma del terreno ligeramente elevada, hay un tubo de hormigón fácilmente visible que nos sitúa en ella.

2. UN POCO DE HISTORIA

La Cueva del Carrascal, dada su proximidad a una senda transitada de continuo, tanto por el ganado como por sus cuidadores, debió ser conocida por las gentes del lugar desde tiempos remotos. No obstante, como la primitiva entrada -"La Claraboya"- desemboca en el techo de la primera sala de la cavidad, no resulta extraño el que no fuera explorada hasta tiempos relativamente recientes.

A mediados del decenio de los sesenta, hace unos veinticinco años, ante las dificultades técnicas del descenso por "La Claraboya", el Cura Párroco de Santa Olaja de la Varga don Julio de Prado Reyero (comunicación personal), se puso en contacto con el Grupo Espeleológico "Peñalba", de la Sociedad Deportiva Casino de León. Miembros de dicha entidad, entre los que se encontraba nuestro entrañable amigo, ya desaparecido desgraciadamente, Teófilo Alonso, fueron los primeros exploradores conocidos de la espelunca. La prensa provincial de la época se hizo eco de estas primeras exploraciones.

La cavidad, aunque de reducidas dimensiones, está espléndidamente ornada con profusión de estalactitas, estalagmitas y coladas. Por ello en Santa Olaja de la Varga se pensó en la posibilidad de abrir la cueva para ser visitada por los turistas -coincide en el tiempo con los primeros trabajos en La Cueva de Valporquero para su apertura al público y su promoción turística- y se solicitó ayuda económica al Ayuntamiento de Cistierna.

Gracias a una pequeña subvención municipal, Julio de Prado auxiliado por los mozos de la Parroquia, proceden a la instalación de la verja de hierro que cierra la entrada primitiva de la cueva. Igualmente desescombran la sima o pozo que en la actualidad permite el acceso a la cueva, instalando en aquella una escalera de madera, cuyos restos permanecen hoy día en el fondo. Instalan, asimismo, otra escala de madera, aún operativa, en la primera parte de la rampa que sigue al primer pozo, construyendo peldaños con fragmentos de roca para hacer fácilmente transitable la parte final de esta rampa. Ya en el interior, al objeto de salvar un fuerte desnivel ascendente, fueron instalados dos tramos de escalera de material férreo, con sus correspondientes barandillas, y un pasamanos, igualmente de hierro, éste para asegurar el paso sobre un pequeño pozo. Dichas instalaciones interiores se encuentran en perfecto estado de conservación y uso.

Desde aquellas fechas la cueva ha sido visitada esporádicamente tanto por espeleólogos como por "interesados" y, pese al aparente obstáculo del pozo de entrada, visitantes vandálicos han dejado su impronta en las concreciones y cristalizaciones que aparecen mutiladas -afortunadamente no demasiado numerosas-.

3. GEOLOGIA LOCAL

3.1 INTRODUCCION

La zona de nuestro interés, correspondiente a Cistierna, se encuentra situada en la Submeseta Septentrional, en el borde norte de la Cuenca del Duero, en la que destacan, por un lado, las altas sierras paleozoicas situadas al Norte, frente a las planicies que se abren hacia el Mediodía y el Sureste. Dos grandes cursos fluviales, los ríos Esla y Cea, originan depósitos cuaternarios de cierta entidad.

Desde el punto de vista geológico la zona de Cistierna está situada en el borde norte de la Cuenca del Duero, cuyo relleno corresponde a depósitos terciarios y cuaternarios de ambiente continental, que descansan discordantes sobre el Paleozoico del borde sur de la Cordillera Cantábrica.

El Paleozoico aflora en la parte norte de la zona y se dispone en tres conjuntos, con características bien diferenciadas:

- El primero comprende el Devónico y el Carbonífero pre-Westfaliense D Superior. Este se subdivide en otros dos: por un lado los afloramientos situados al Nordeste, que pertenecen a la Unidad del Domo del Valsurvio, ya en la vecina provincia de Palencia y, por otro lado, los restantes materiales que corresponden al autóctono del Manto del Esla.

El Manto del Esla es una estructura muy característica y bien conocida que tiene su principal desarrollo en la zona de Riaño, situada al Norte. La Unidad de Peña Corada, que pertenece al autóctono de dicho manto, está separada de él por una zona de fractura llamada Sabero-Gordón. La relación entre ambas estructuras ha sido ampliamente debatida en la literatura geológica. Recientemente BASTIDA et al. (1976) consideran que la falla Sabero-Gordón había jugado como un desgarre levógiro, desplazando una parte del Manto, la Unidad de Peña Corada, relativamente hacia el Este; apoyados tanto en criterios estructurales como en la observación de las facies de la Caliza de Santa Lucía, llegan a la conclusión de que dicha Unidad pertenece al autóctono del Manto del Esla.

- El segundo, discordante con el anterior, forma parte de los materiales de la cuenca parálica de Prado-Guardo-Cervera, de edad Westfaliense D Superior - Cantabriense.

- El tercero, igualmente discordante sobre los anteriores, aparece al Noroeste de la zona y forma parte de la Cuenca de Sabero, de edad Estefaniense A-B. Esta cuenca parálico-limnica, está ligada a la zona de fractura de Sabero-Gordón.

3.2 ESTRATIGRAFIA

3.2.1 DEVONICO

Se presenta con formaciones muy conocidas a nivel regional, conteniendo, por lo general, una gran riqueza paleontológica, lo que permite precisar bien los límites de los diferentes pisos. Los afloramientos se continúan hacia la zona de Boñar, donde se encuentran yacimientos clásicos del Devónico europeo. Las formaciones, ya clásicas, fueron establecidas por COMTE (1936) en el valle del Bernesga, constituyen una serie continua y de muro a techo son:

3.2.1.1 COMPLEJO DE LA VID

En la zona sólo existe un pequeño afloramiento en el núcleo anticlinal al Oeste de Vegamediana. Dicho afloramiento está constituido por lutitas y margas de color gris-amarillento, con algunos niveles bioclásticos rojizos. El paso a la formación superior es gradual a través de un estrato de calizas arenosas amarillentas y encriníticas. El medio del depósito es marino de baja energía, que aumenta hacia el techo de la formación donde se depositan las facies terrígenas.

La edad establecida regionalmente es Gedinense Superior, para la parte baja, dando las capas más altas fauna correspondiente al Emsiense Superior.

3.2.1.2 CALIZA DE SANTA LUCIA

Es una formación fundamentalmente calcárea, constituida por calizas, dolomías y, en pequeña proporción, términos margosos y arcillosos. Gran parte de los sedimentos son bioclásticos y muestran cambios laterales de facies; localmente presenta zonas de dolomitización secundaria. En la zona se presenta completa, con una potencia de 250 metros, con la siguiente secuencia de muro a techo:

- Miembro Inferior: Calizas grises bien estratificadas, encriníticas, con briozoos, Braquiópodos y Ostrácodos; hacia el techo presenta dolomías con nódulos de chert.

- Miembro Medio: Calizas y dolomías. Las calizas contienen Estromatopóridos, Favosites, Alveolites, Crinoideos y Braquiópodos. Algunos corales se observan en posición de crecimiento.

- Miembro Superior: Similar al Inferior, con calizas, dolomías y margas bien estratificadas. Las calizas, a veces, son rojizas, bioclásticas, con laminación paralela u ondulante y con bioturbación. Contienen Crinoideos, Braquiópodos y, en menor proporción, Corales y Briozoos.

La edad de la formación fue establecida por COMTE (1959) como Emsiense-Couviniense.

3.2.1.3 PIZARRAS DE HUERGAS

Es una formación fundamentalmente terígena, constituida por una sucesión de pizarras y limolitas deleznales de tonos marrones, con intercalaciones de areniscas en estratos decimétricos. Las areniscas, que no llegan a predominar sobre las pizarras, son más abundantes hacia la base, donde se hacen más potentes y, frecuentemente, ferruginosas.

La potencia, algo variable, se puede estimar en unos 150 metros. El medio de depósito es característico de un área de plataforma de bajo gradiente en condiciones de aguas tranquilas y ambiente reductor. Las areniscas pueden corresponder a aportes de un área madre alejada o a cierta inestabilidad de la cuenca. La fauna es escasa y de pequeño tamaño, predominando los organismos de carácter pelágico; se encuentran Braquiópodos, Trilobites, Corales rugosos y Tentaculites. La edad corresponde al tránsito Couviniense-Givetiense.

3.2.1.4 CALIZA DE PORTILLA

Esta formación consiste en una serie carbonatada concordante con las Pizarras de Huerzas. Está constituida por calizas de color gris claro, arrecifales, en bancos irregulares y, a veces, con intercalaciones lutíticas y areniscosas. Su potencia es algo variable y oscila entre 100 y 130 metros.

Al noroeste de Cistierna, encima de las Pizarras de Huerzas, aparece la siguiente serie:

- 5 metros de calizas recristalizadas con oolitos y calizas algo arenosas, rojizas, encriníticas, con fragmentos de Briozoos y Corales solitarios, alternando con tramos pizarrosos y margosos.

- Calizas masivas claras, esparíticas, que destacan ostensiblemente en la topografía. Es un tramo biostrófico con Corales rugosos, Tabulados, Briozoos y Estromatopóridos.

- Calizas bien estratificada, en niveles decimétricos por lo general, a veces arenosas y esparíticas con abundante fauna y nódulos de sílex, presentando circunstancialmente algunos niveles lumaquéllicos.

- Calizas masivas con fauna arrecifal y fragmentos de Braquiópodos; localmente nódulos de sílex y Corales silicificados. Proporciona un relieve topográfico acusado.

- Paso gradual a una caliza bien estratificada, rojiza, esparítica y, a veces, detritica.

El medio de depósito corresponde a una plataforma de poca profundidad, donde alternarían periodos de gran energía en el frente arrecifal con periodos más tranquilos de crecimiento biohèrnico. La edad de la formación es Givetiense-Frasniense.

3.2.1.5 ARENISCAS DE NOCEDO

Representan un cambio de ambiente que acaba con el arrecifal. Se depositan concordantes sobre las calizas del tramo anterior. Están constituidas por areniscas, a veces cuarcitas, pizarras y algunos lentejones calizos, que localmente tienen alguna importancia aunque escasa continuidad lateral; frecuentemente las areniscas pasan a calizas arenosas.

Al Noroeste de Cistierna se presenta, de muro a techo, la siguiente serie:

- 2 metros de areniscas amarillentas de grano grueso con huecos de descalcificación, intercaladas con lutitas, a veces margosas.

- 3 metros de estrato de caliza arenosa, rojiza, encrinítica con Braquiópodos.

- 35 metros de alternancia de lutitas, limolitas y cuarcitas con laminación y estratificación cruzadas.

- 40 metros de cuarcitas bien estratificadas con un nivel limolítico al techo que contiene Braquiópodos, Lamelibranquios y Crinoideos.

La potencia del tramo es muy variable regionalmente; entre 70 y 500 metros. El medio de depósito se corresponde con una plataforma poco profunda y alta energía.

3.2.1.6 PIZARRAS DE FUEYO

En el estratotipo del Valle del Bernesga se denominó así a una formación con estructura lenticular de pizarras negruzcas con nódulos sideríticos, de unos 100 metros de potencia. Esta formación es, por lo tanto, difícil de seguir, ocupando generalmente las laderas cubiertas por coluviones.

En nuestra zona su potencia es más reducida que en el Bernesga; unos 25 ó 30 metros. Los contactos con las formaciones adyacentes son graduales; de muro a techo la serie consta de: lutitas versicolores, limolitas y areniscas en estratos decimétricos con laminaciones cruzadas, ripples simétricos y estructuras de muro, slumping, etc. Las pizarras presentan nódulos ferruginosos oscuros con macrofauna; las

capas más limosas tienen abundante flora, siempre en fragmentos difícilmente clasificables.

El medio sedimentario es una zona costera con episodios de corrientes de turbidez que indican inestabilidad en la cuenca. La fauna es pelágica. La edad se deduce, sobre todo, por la posición estratigráfica; a falta de mayor precisión se puede indicar como Frasnense Superior-Fameniense Inferior.

3.2.1.7 ARENISCAS DE LA ERMITA

Están constituidas por areniscas y cuarcitas muy similares a las de la formación Nocedo. Regionalmente la potencia es muy variable; en nuestra zona es bastante uniforme; de 50 a 60 metros.

La formación se considera transgresiva, depositándose paraconcordantemente sobre formaciones del Devónico, cada vez más bajas cuanto más al Norte se sitúa en la cuenca paleogeográfica. Sin embargo, por el techo, el contacto con el Carbonífero es siempre el mismo, por lo que se puede considerar a esta formación como parte de la secuencia carbonífera.

La serie comienza por una alternancia de lutitas, areniscas y cuarcitas, predominando los tramos más arenosos. Le sigue una secuencia, bastante uniforme, de cuarcitas en estratos de dimensión métrica, con alguna intercalación de lutitas. Los tonos son variables desde el blanco a amarillentos en los niveles más ferruginosos que aparecen hacia el techo.

El medio de depósito es de plataforma con alta energía. Constituye un episodio transgresivo sobre una plataforma previamente erosionada.

La edad de la formación es Fameniense.

3.2.1.8 DEVONICO SUPERIOR INDIFERENCIADO

En este apartado se incluyen los materiales del conjunto de las formaciones de Nocedo, Fueyo y Ermita. Ello obedece, por un lado, a que las series en la zona del Esla están fuertemente tectonizadas, con repeticiones de la misma serie, afloramientos aislados, etc., y no siempre aparece claro cual es el tramo que aflora, frente a la continuidad de las formaciones antedichas hacia el Oeste.

Los materiales que predominan en la zona son las cuarcitas y areniscas con algunos niveles de lutitas pertenecientes a las formaciones de Nocedo y Ermita.

3.2.2 CARBONIFERO

Regionalmente está representado por tres conjuntos:

- El primero comprende las series condensadas del Carbonífero Inferior y Namuriense. El Carbonífero Inferior (Formación Alba) es, como apuntábamos anteriormente, concordante con el Devónico y prácticamente homogéneo en la región. No obstante, por encima y concordantemente, afloran unas series que presentan amplias variaciones litológicas localmente. En toda la Unidad de Peñacorada el Namuriense está representado por la Formación Cuevas, que muestra un cambio lateral de facies; de más terrígena al Oeste a más carbonatada hacia el Este.

- El segundo es discordante con los anteriores y constituye la cuenca parálisis Prado-Guardo-Cervera, de edad Westfaliense D Superior-Cantabriense.

- El tercero, igualmente discordante, pertenece a la cuenca Estefaniense de Sabero.

3.2.2.1 CARBONIFERO PRE-WESTFALIENSE D SUPERIOR

3.2.2.1.1 Formación Alba

Aparece concordante sobre las areniscas de la Ermita y sin evidencias que demuestren las causas por las que faltan otras formaciones que aparecen en otros puntos de la región.

La Formación Alba (VAN GINKEL, 1965), sustituye a las antiguas denominaciones de "Marmol Griotte" (BARROIS, 1882), "Griotte de Puente Alba" (COMTE, 1959) o simplemente "Caliza Griotte". WAGNER et al. (1971) la denominan Formación Genicera.

La potencia media es de unos 30 metros, mostrando, de muro a techo, la siguiente secuencia:

- Margas rojizas, a veces verdosasasas.
- Alternancia de radiolaritas y margas rojizas en estratos decimétricos. Hacia el techo se presentan unas calizas nodulosas rojas con abundantes goniatites, alternando con margas de dicho color que se presentan en forma lenticular.
- Margas rojas que, hacia el techo, van adquiriendo tonalidades verdes.

Dada las variaciones locales de esta formación en toda la región, se ha preferido dar a aquella una edad que abarca desde el Tournaisiense Superior, todo el Viseense y la parte superior del Namuriense Inferior.

3.2.2.1.2 Namuriense

En la Unidad de Peña Corada está representado por:

Formación Cuevas:

Fue denominada así por BOSCHMA y VAN STAALDUINEN (1968) en el sinclinal de Alba. Con anterioridad DE SITTER (1962) había denominado "Caliza de Montaña" a los materiales calcáreos y "facies Culm" a los materiales detríticos; EVERS (1967) les llamó "facies Flysch" y WAGNER et al. (1971) designan los materiales detríticos con el nombre de "formación Olleros" y a las calizas "formación Barcaliente".

La Formación Cuevas está constituida por dos miembros de litología diferente pero que horizontalmente son paso lateral del uno al otro; en general, hacia el Este la serie va haciéndose más calcárea.

- El miembro detrítico está formado por lutitas, limolitas, areniscas y microconglomerados, con estructuras sedimentarias de facies turbidíticas; esporádicamente tienen estratos decimétricos de calizas. Hacia el techos aparecen cuarcitas intercaladas con las lutitas. Las estructuras más frecuentes son: de muro, granoclasificación y laminaciones cruzadas.

- El miembro calcáreo está formado por calizas tableadas de tonos grises a negros, fétidas y, en general, recristalizadas, con poco contenido en microfauna, aunque se aprecian algunos Radiolarios, Gasterópodos y Equinodermos. Presenta lutitas intercaladas.

En la zona de Peña Corada propiamente dicha predominan las calizas, como las definidas por formación Barcaliente, sin que aparezca la formación superior: Valdeteja. La potencia no se puede establecer con exactitud; la mínima observada es de 600 metros. La edad es Namuriense.

3.2.2.2 *LAS CUENCAS DE PRADO-GUARDO-CERVERA Y DE SABERO*

La Cuenca de Prado-Guardo-Cervera: La secuencia de materiales de esta cuenca se depositan discordantes sobre los estratos plegados del Devónico y Carbonífero pre-Westfaliense D Superior, con una potencia aproximada de 4.000 metros de sedimentos, continentales en mayor proporción que marinos, con sedimentación de tipo deltaico.

Las gonfolitas se presentan en amplias zonas y pueden ser interpretadas como depósitos de pie de monte que, procedentes del antepais, formaron acumulaciones al borde de la cuenca y que, en épocas de movimientos tectónicos, al hundirse la cuenca subsidente, fueron movilizadas en un sólo manto de cierta extensión lateral.

Los conglomerados silíceos tienen en algunos puntos un desarrollo importante, pareciendo estar ligados a paleorrelieves de cuarcitas, en algunos casos.

En los tramos marinos abunda una facies de lutitas finas arcillosas o ligeramente aleurolíticas, de aspecto lajado, con fauna de Gasterópodos y Lamelibranquios, pudiendo corresponder a zonas de lagunas resguardadas del mar abierto por barreras costeras de arena.

Algo menos corrientes son las facies, ligeramente calcáreas, que marcan el punto culminante de una transgresión marina, con fauna de mar abierto: Braquiópodos, Crinoideos, Trilobites y Ostrácodos.

Los tramos con predominio de facies continental tienen cierta continuidad, sobre todo en caso de contener alguna capa de carbón. Se supone que este contenido de capas de carbón de cierta continuidad significa una época más estable de la cuenca; es decir, lo opuesto a los terrenos muy marinos.

La Cuenca de Sabero: Los materiales de esta cuenca se presentan, igualmente, claramente discordantes sobre el paleozoico anterior. Forman secuencias posteriores a la Orogenia Hercínica y, a su vez, han sido plegados por ulteriores fases tectónicas.

Se trata de una cuenca sedimentaria reducida, ligada, probablemente, a la zona de fractura de la falla Sabero-Gordón y sus satélites, donde se depositaron numerosas capas de carbón, que son objeto de explotación minera, aunque de incierto futuro a la vista de la crisis y reconversión a que se ha visto abocado el sector minero. La potencia sedimentaria supera los 2.500 metros.

En la cuenca aparecen rocas ígneas, casi siempre en las formaciones más bajas, estando afectadas por el plegamiento. La composición en los diferentes afloramientos varía, pero en general es básica; esto puede deberse a efectos de asimilación de la roca encajante, especialmente el carbón. Originariamente pudieron ser basaltos olivínicos.

Relación entre ambas Cuencas: En trabajos antiguos varios autores consideraban que la base de la Cuenca de Sabero pertenecía a la parte más alta de la Cuenca de Prado-Guardo-Cervera; es en estas capas, que son el único nexo existente entre ambas cuencas, donde se centran los estudios de diversos autores. No obstante existe un hecho diferencial, de carácter general, entre las dos: es que en Prado-Guardo-Cervera las influencias marinas son más importantes y sólo está representada en la parte más oriental de la Zona Cantábrica, lo que podría significar el último estadio de deformación general que progresaba hacia el Este.

Siguiendo la nomenclatura de WAGNER (1965), en la base de la Cuenca de Prado-Guardo-Cervera, se daría la fase de plegamiento Leónica y, al techo de esta secuencia postleónica, tendría lugar la fase de plegamiento Astúrica. La sedimentación postastúrica, que comienza en la Cuenca de Sabero, se extiende hacia el Oeste y origina las cuencas de Ciñera-Mataliana, La Magdalena, Villablino, etc., con fibras vegetales similares de edad Estefaniense A-B y condiciones parálico-limnicas.

3.2.3 CRETACICO

Se presenta como una estrecha banda que bordea por el Sur al macizo paleozoico. La sucesión se inicia con el depósito discordante de materiales continentales transgresivos sobre el zócalo; a continuación, concordantes, vienen sedimentos que marcan la transgresión marina con facies costeras y clara influencia continental; continúa con tramos carbonatados que indican la culminación de la etapa marina y, paulatinamente, hacia el techo, van pasando a sedimentos de facies Garumniense, que suponen el fin de la regresión y el paso Crétácico-Terciario.

En la zona de nuestro estudio, en las proximidades de Cistierna, no aparecen todos estos materiales puesto que los sedimentos terciarios discordantes cubren una gran parte del Crétácico en sus términos más altos.

3.2.3.1 TRAMO INFERIOR DETRITICO

Denominada "Formación Voznuevo" (EVERS, 1967), se ha venido respetando en trabajos posteriores. Lo forman materiales detríticos poco o nada consolidados, destacando en el campo por sus tonos peculiares. La serie comienza con los materiales más gruesos: conglomerados y microconglomerados cuarcíticos. Paulatinamente va disminuyendo el tamaño para dar paso a las arenas, material dominante, de tonos que varían entre el blanco, amarillento y rojizo. Abundan las pasadas arcillosas y son frecuentes los paleocanales y las estratificaciones cruzadas.

Las arcillas presentan un colorido bastante variable, predominando el gris y el rojo. Tienen alto contenido en fracciones gruesas, localmente lignitos, aunque por lo general en los lechos negros no se ha llegado a producir procesos de carbonización.

Los sedimentos se depositaron en régimen fluvial, con un clima cálido o templado, de elevada pluviometría. Las direcciones de paleocorrientes indican que los aportes provienen del Oeste, Sur o Suroeste, deduciéndose de la composición mineralógica un área madre de rocas ácidas, principalmente graníticas o metamórficas.

En cuanto a la edad, se encuentran situados entre la parte superior del Cretácico Inferior y la parte inferior del Cretácico Superior, siendo más modernos hacia el Oeste. Son claramente un depósito diacrónico a lo largo del borde sur de la Cordillera Cantábrica y, comparándolos con otros situados al Norte, Este y Centro de la Península, pueden correlacionarse con los que se conocen bajo la denominación de "Utrillas".

La potencia es difícil de precisar, ya que se incrementa hacia el Oeste. Puede estimarse en unos 350 metros.

3.2.3.2 TRAMO DE TRANSICION

A los materiales continentales anteriores se les superpone una sucesión que marca el depósito de los primeros sedimentos marinos transgresivos. Lo forman: margas arenosas, arcillas y limos de tonos grises a amarillentos, con niveles de arena muy fina, areniscas calcáreas con glauconita y calizas arenosas, que se presentan en bancos fácilmente detectables en el campo, pero que se acuñan con bastante rapidez.

Esta formación, aquí en nuestra zona, no tiene un desarrollo importante, al contrario de lo que sucede en las zonas situadas más hacia el Este. Sólo se ha podido constatar su presencia en contados lugares, con condiciones de afloramiento muy malas.

La edad, Turoniense-Santoniense, se ha fijado fundamentalmente por su posición estratigráfica. La potencia calculada oscila alrededor de 80 metros.

3.2.3.3 TRAMO SUPERIOR CARBONATADO

Concordante con los materiales anteriores aparece un tramo carbonatado, constituido principalmente por calizas y, en menor proporción, margas. Las calizas, generalmente fosilíferas, presentan tonos claros, beige o amarillentos, se presentan recristalizadas, a veces, parcialmente dolomitizadas; en la parte superior suelen ser colíticas.

El paso del tramo anterior a éste no es brusco, sino que viene dado por la aparición hacia el techo de niveles más carbonatados a la vez que disminuyen los terrígenos.

Al sur de Cerezal la serie presenta la siguiente secuencia de techo a muro:

- Discordancia terciaria.
- 25 metros de alternancia de calizas frecuentemente dolomitizadas, margo-calizas y margas, bien estratificadas,

de tonos blanco-amarillentos. Las calizas suelen contener fauna de Ostrácodos, Gasterópodos y Miliólidos.

- 125 metros de calizas, casi exclusivamente. Son biomicríticas, recristalizadas e intrabicesparitas. Por lo general están bien estratificadas, aunque existen zonas de aspecto masivo. Suelen ser ricas en macro y microfauna, compuesta principalmente por Rudistas, Lamelibranquios, Equinidos, Ostrácodos, Espongiarios y Foraminíferos.

- 15 metros de alternancia de margas, calizas detríticas y limos que pasan gradualmente al tramo inferior.

La potencia máxima medida es de 175 metros; en otros sitios, fuera de la zona, oscila alrededor de los 300 metros. La edad, deducida de los estudios paleontológicos, es Santoniense-Campaniense.

3.2.4 TERCIARIO

El comienzo de la sedimentación terciaria tiene lugar de una forma brusca, al Sur de nuestra zona de trabajo, existiendo una discordancia neta atribuible a la fase Laràmica de la Orogenia Alpina, entre los tramos inferiores del conjunto de Vegaquemada y los materiales subyacentes del Cretácico, sin que aparezcan entre unos y otros los términos basales de transición como ocurre, por ejemplo, en la Zona de Guardo e incluso en Vegas del Condado. Estos tramos inferiores representan el comienzo de la formación de la cuenca del Duero; desde entonces el borde norte de la misma ha sido eminentemente activo, sufriendo deformaciones importantes provocadas por la reactivación alpidica de antiguos sistemas de fractura hercinianos y, en definitiva, por la elevación general de la Cordillera Cantábrica.

El sistema de entrada y distribución de materiales en la cuenca tuvo lugar mediante abanicos aluviales que constituyen episodios discontinuos y superpuestos, ocupando posiciones espaciales diferentes, con áreas madre y desarrollos distintos.

La litología de los abanicos es variable, aunque fundamentalmente se presentan: ortoconglomerados, paraconglomerados, conglomerados, microconglomerados, areniscas, limolitas y arcillas.

Dada su posición alejada de nuestra zona de estudio y su litología, inapropiada para la implantación de un sistema kárstico, nos limitaremos aquí únicamente a indicar las formaciones más relevantes:

- Complejo de Vegaquemada.
- Complejo de Candanedo.
- Abanicos de Quintana de la Peña.
- Abanico de Modino.

- Abanico de Puente Almuhey.
- Abanico de Vidanes.
- Abanico de Cegoñal.
- Abanico de Guardo.

3.2.5 PLIOCUATERNARIO: RAÑA

Se denomina "raña" a un tipo de depósitos siliciclásticos que constituyen un amplio abanico, muy aplanado, que tiene su ápice en la región situada al norte de Guardo. La potencia de este depósito disminuye de Norte a Sur, pasando desde 6-8 metros, a 2 metros; la pendiente es del orden del 0,6 al 0,7 por 100.

Litológicamente la raña está constituida por conglomerados con clastos de arenisca, limolita, cuarzo y cuarcita, y algún canto de conglomerado silíceo, siempre en proporción inferior al 1 por 100. Los clastos proceden de los relieves paleozoicos del Norte; son normalmente subredondeados a redondeados; localmente se presentan orientados; su tamaño máximo es de 65 a 70 centímetros y de 5 a 8 centímetros de tamaño medio, que disminuye de Norte a Sur y de Este a Oeste. La matriz de arena, limo, arcilla y microconglomerado, presenta tonos desde amarillentos a beige-rojizo.

La base de la raña es erosiva sobre los depósitos paleozoicos y cretácicos, al igual que sobre los restantes depósitos del Mioceno. La raña representa el primer depósito aluvial del sistema fluvial actual, cuando aún no existía una jerarquización clara, y permanecían condiciones de drenaje deficientes en la base de este depósito.

Respecto a la génesis de la raña tradicionalmente se ha admitido un depósito de "sheet floods"; sin embargo, autores modernos lo consideran fluvial, existiendo canales anastomosados. Para la mayoría de esos autores el clima era árido con lluvias estacionales fuertes; para otros escasas pero muy intensas. Sin embargo hay autores que discrepan al considerar que el depósito de la raña coincide con el primer pluvial y, o bien un clima frío en las montañas, o bien un clima no árido y estacional.

3.2.6 CUATERNARIO Y FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales están representadas por tres grandes conjuntos de materiales: El primero y más antiguo, reseñado en el apartado anterior, es la raña. El segundo lo constituyen las terrazas de los principales ríos. El tercero, más reciente, está formado por los depósitos fluviales actuales y los correspondientes a las vertientes, sin olvidar a los originados por los procesos de karstificación y por las actividades humanas.

3.2.6.1 TERRAZAS

Nos referiremos únicamente al valle del Esla., donde se han diferenciado tres niveles de terrazas que corresponden a las siguientes cotas sobre el nivel del río: + 40 metros; de + 0 a 11 metros; de + 4 a 5 metros. La primera aparece en retazos aislados a lo largo de la margen izquierda del Esla. La segunda, sólo se encuentra en toda la margen izquierda y al sur de Vidanes. La tercera terraza aparece en todo el curso fluvial.

3.2.6.2 VERTIENTES

Estos depósitos están constituidos por elementos derivados del sustrato: paleozoico, terciario, materiales de la raña y algunas superficies estructurales. Consisten en fangos, normalmente de colores pardos o rojizos, a veces limosos o arenosos, con cantos de diversas litologías: silíceas, carbonatadas, etc. Acostumbran a presentarse acumulaciones de cantos en pequeñas superficies en los fangos y acumulaciones en surcos de arroyada. Los suelos apenas se desarrollan.

Se ha originado mediante procesos de solifluxión y "creep", atribuibles a fenómenos periglaciares durante las etapas frías.

3.2.6.3 FONDOS DE VALLE

Están formados por fangos pardos con acumulaciones de cantos silíceos y/o carbonatados derivados de otras formaciones superficiales. Localmente aparecen cubiertos por conos de deyección. Los elementos que son de procedencia lateral y longitudinal terminan en ocasiones, y en el sentido de dirección de la corriente, en un cono de deyección. La mayor parte de estos depósitos han sido aportados por fenómenos de solifluxión y "creep".

3.2.6.4 CONOS DE DEYECCION

Litológicamente están constituidos por gravas arcillosas heterométricas poco compactadas y cementadas; localmente por concentraciones fangosas. Se instalan en los bordes de ladera donde, ocasionalmente, pueden hacerse coalescentes. Los conos de deyección generalmente progradan por encima de los niveles de terrazas y llanuras de inundación; otras veces se localizan en la desembocadura de los valles de fondo plano y pueden estar erosionados por el posterior encajonamiento del cauce.

3.2.6.5 ALUVIONES ACTUALES

Corresponden a los actuales cursos de agua. Están formados por limos grises oscuros, limos arcillosos y gravas poligénicas y, localmente, fangos con cantos.

3.2.6.6 DEPOSITOS KARSTICOS

Lo constituyen sedimentos arcillosos pardo-rojizos, producto de la meteorización de la caliza y su descalcificación. Se localizan en las dolinas, valles kársticos y depresiones que se desarrollan en las formaciones calcáreas.

3.2.6.7 SEDIMENTOS ANTROPICOS

Se trata de acumulaciones de clastos de areniscas, lutitas, pizarras, carbón y otros productos: vidrio, plásticos, metales, maderas, papeles, materia orgánica degradable, etc., derivados de la acción humana sobre el medio natural. En nuestra zona los mayores volúmenes corresponden a las escombreras y vertidos procedentes de las minas de carbón.

3.3 TECTONICA

3.3.1 TECTONICA DE LOS MATERIALES ANTETERCIARIOS

Se distinguen cuatro unidades con características tectónicas diferenciables: Unidad de Peñacorada, Cuenca de Prado-Guardo-Cervera, Cuenca de Sabero y el Cretácico. La tectónica es muy compleja y los tipos de estructuras que se encuentran son pliegues y fracturas de cobertura, sin desarrollo de esquistosidad, ni metamorfismo regional. En este modelo de plegamiento existe un importante control estructural por parte de los espesores y competencias de las formaciones que las componen.

3.3.1.1 PLEGAMIENTOS

Unidad de Peña Corada: Aquí los materiales se presentan en una solución que abarca el Devónico, el Carbonífero Inferior, con excepción de algunas de sus formaciones que tienen un amplio desarrollo en gran parte de la zona Cantábrica, pero que aquí no se depositaron como consecuencia de levantamientos, y Namuriense A-B.

La Unidad de Peña Corada pertenece al alóctono del Manto del Esla. Su estructura es la de un gran sinclinatorio E-O, cuyo eje desaparece bajo los materiales mesozoicos y terciarios. Las estructuras son posteriores al emplazamiento del manto. El plegamiento es muy intenso y produce estructuras complejas de superposición. Se puede simplificar su estudio reduciendo a dos los sistemas importantes de pliegues:

- El primer sistema, regionalmente denominado longitudinal, es paralelo a los frentes de cabalgamiento y rodean el "Arco Astórico". En la zona de estudio produce desde grandes estructuras: Sinclinatorio de Peña Corada, hasta aquellas de escala decimétrica. Lo forman pliegues de flexión con charnelas muy apretadas, asimétricos con flancos rectilíneos, presentando en la actualidad vergencia hacia el Sur. Localmente y donde la litología lo permite (v.g. calizas de la Formación Cuevas) se producen pliegues de orden métrico muy característicos. Los ejes, en general, tienen una dirección NO-SE.

- Superpuesto al anterior, existe otro tipo de plegamiento, flexural, más laxo y sin estructuras menores asociadas, que presenta una dirección general perpendicular a la del primer sistema. Está mejor desarrollado hacia la parte oriental de la Unidad y proporciona estructuras volcadas de superposición, muy complejas y difícilmente cartografiables. Se pueden citar como ejemplos: la estructura sita en Peña Picena, un antiforme con núcleo de materiales más modernos; la sinforma de la ladera Sur de Peña Corada, con núcleo de materiales más antiguos; y la antiforma situada en el Arroyo de Hervencia, en la base de Peña Corada, que presentando los flancos en Pizarras de Huergas, descubre un núcleo de Calizas de Portilla. Todas estas superposiciones dan lugar a una variación de las direcciones de los ejes que dificultan el análisis estructural.

Cuenca Prado-Guardo-Cervera: Estos materiales están afectados por las fases tardías hercínicas. Los pliegues tienen una dirección general E-O, presentando tres grandes estructuras: El Sinclinal de Otero, El Sinclinal de Taranilla / el Anticlinal de Sextil.

Existen, además, otro tipo de estructuras posteriores, que se pueden llamar cruzadas. La más importante es el anticlinal que aparece a lo largo del valle del Cea.

Cuenca de Sabero: En los depósitos estefanienses de esta cuenca se observa una etapa de plegamiento relativamente cerrado, dando lugar a una estructura sinclinal vergente hacia el Norte, con algunas estructuras menores asociadas.

Cretácico: Al Este de Valmartino, al lado de la carretera, y también al Oeste de Prado de la Guzpeña, se observan, pese a la discordancia de materiales terciarios, unos pliegues de tipo laxo, que deben estar asociados al movimiento de la falla del borde Sur, más que a alguna fase de plegamiento propiamente dicha, ya que no se observa en la zona que la Orogenia Alpina haya proporcionado fases de plegamiento.

3.3.1.2 FRACTURAS

Son numerosas las fallas que afectan a los materiales y han tenido un importante papel en la configuración que éstos presentan en la actualidad.

Se destaca, por su importancia regional, la falla de Sabero-Gordón; esta fractura se prolonga hacia el Oeste, hasta la zona de Los Barrios de Luna, siendo similar por sus características a la falla de León. No se puede considerar como una fractura simple, sino como una "zona de falla", que ha proporcionado un área deprimida que favoreció los depósitos estefanienses. Se le puede considerar como una falla de desgarre con movimiento levógiro, que posteriormente ha sufrido movimientos verticales de gran envergadura, observables en Boñar, durante fases claramente alpinas.

Con posterioridad, y afectando a materiales ante-estefanienses y estefanienses, se instaló un sistema de fracturas de compresión, de dirección Este-Oeste y vergencia hacia el Norte, que hacen cabalgar a los materiales del Paleozoico más antiguo sobre los estefanienses. A este sistema se debe la repetición de los tramos al Oeste del río Esla. Este sistema ha tenido rejuegos posteriores como fallas normales, como se observa al Norte de Peña Corada, en la estrecha franja de materiales estefanienses y cantabrienses, importante por la razón de que indica tardíos movimientos en la falla Sabero-Gordón que, más hacia el Este, han afectado a los materiales de la Cuenca de Prado-Guardo-Cervera, si bien aquí el trazado se desdibuja.

Otra falla importante es la que constituye el borde Sur de la Cordillera Cantábrica y ha originado que los materiales paleozoicos cobijen a los cretácicos. Esta fractura discurre de Este a Oeste atenuándose hacia este último. La actividad principal de esta falla ha tenido lugar durante el Terciario, aunque en etapas posteriores, fase Rodánica, ha podido jugar un papel importante en el levantamiento de la cordillera; no obstante, no se puede descartar la idea de que la fractura estuviera iniciada, de alguna manera, antes del Cretácico Superior.

En la zona de Prado de la Guzpeña el paleozoico de la terminación oriental de la Unidad de Peña Corada está sobre los materiales del Westfaliense-Cantabriense. Esta

disposición parece haberse establecido coetáneamente con la falla de Borde Sur.

Por último se dan algunas fallas de distensión que modifican ligeramente la cartografía.

3.3.1.3 RESUMEN Y CRONOLOGIA

Los primeros movimientos tuvieron lugar, probablemente, durante el Westfaliense A-B, con el emplazamiento de los mantos. Acto seguido hicieron su aparición los distintos sistemas de pliegues; primero el longitudinal y después el transversal; todos ellos intra-westfalienses. Durante este periodo se producen los primeros movimientos de la falla Sabero-Gordón. Son las principales fases de la orogenia Hercínica.

La historia tectónica posterior, hasta el Westfaliense D Superior, periodo en el que hubo grandes movimientos con diferenciación de cuencas en la zona Cantábrica, no se puede seguir por la falta de depósitos del Westfaliense A-B-C. Probablemente debido a que durante dicho periodo la zona estaría levantada y podría haber suministrado aportes a cuencas más septentrionales.

Construido el edificio, o bien en sus movimientos postreros, se instala una cuenca parálita, la de Prado-Guardo-Cervera, de edad Westfaliense D Superior. Estos depósitos se continúan hasta el Estefaniense A Inferior, encontrándose afectados por los principales sistemas de pliegues; también se observan zonas de fractura con rejuegos sinsedimentario.

Llegados a este punto se presenta un problema de difícil solución. Para algunos autores la cuenca Prado-Guardo-Cervera, tendría una disposición diacrónica hacia el Oeste, que habría dado lugar al depósito de la cuenca de Sabero; sin embargo otros opinan que después del depósito post-leónico de la cuenca Westfaliense D Superior-Estefaniense A, habría una fase de plegamiento, la Astúrica, que separaría a las dos cuencas.

Los movimientos posteriores pertenecen al ciclo alpino, que ha actuado a través de fracturas y mediante el rejuego de las grandes fallas hercínicas.

3.3.2 TECTONICA TERCIARIA

De una forma general los procesos tectónicos terciarios, enmarcados dentro del ciclo alpino, supusieron, de una parte, el levantamiento del borde Sur de la Cordillera Cantábrica y, de otra, consecuencia de la anterior, la individualización de la zona septentrional de la Cuenca del Duero y su relleno, en parte, por el material clástico grueso procedente de la

erosión de estos relieves, y que penetró en la misma a través de este borde tectónicamente activo. Desde estas zonas hacia el Sur, la cuenca va adquiriendo carácter atectónico.

Esta elevación delzócalo paleozoico, en sucesivas pulsaciones, supuso la fracturación de su borde Sur y el rejuego de fallas predominantemente inversas. Los efectos se hacen notar a través de pliegues, fracturas y discordancias en os materiales cretácicos y terciarios adyacentes.

La primera discordancia presente, entre los materiales cretácicos y paleógenos se puede hacer corresponder a la acción de la fase Laràmica. Otra discordancia posterior, observable en las proximidades de Cistierna, entre los conglomerados invertidos del Complejo de Candanedo y los del abanico, igualmente plegado, de Modino, pudo haberse debido a la fase Sávica, entre el Paleógeno y el Mioceno. La sedimentación discordante de los abanicos miocenos de Vidanes, Cegoñal y Guardo sobre los anteriores es consecuencia a la reactivación tectónica de las fases stalricas y otras pulsaciones intravallesienses. En el Plioceno Superior, nuevas pulsaciones provocaron la instalación de la "raña" presente sobre los materiales del abanico de Guardo.

3.4 GEOMORFOLOGIA

Desde un punto de vista geomorfológico se pueden distinguir regionalmente un total de cinco grandes conjuntos o unidades.

La primera unidad, aflorante al Norte, y correspondiente a la zona de nuestro estudio, en una banda de dirección Este-Oeste, está constituida por materiales paleozoicos, con dos tipos de litologías predominantes, que generan, por su distinta competencia, un relieve contrastado. Las calizas, tanto carboníferas como devónicas, constituyen las zonas más elevadas. Presentan una karstificación generalizada manifestada por diferentes tipos de lapiaz y presencia de dolinas de génesis predominantemente nival. Existe una red de barrancos de incisión lineal en la Caliza de Montaña y se desarrollan al pie de los afloramientos de la misma taludes de derrubios de gravedad: "canchales", que están alimentados, en muchos casos, por canales de avalancha.

Los materiales restantes son menos resistentes a la erosión y forman las zonas de menor altura, entre las que se instala la red fluvial de orden mayor. Las vertientes en estos materiales están, con frecuencia, tapizadas por detritus, presentando una regularización de vertientes más tendidas.

El segundo dominio ocupa una extensión limitada a los afloramientos diseminados de barras calizas cretácicas. Están karstificadas aunque, por sus reducidas dimensiones, sólo se observan formas de lapiaz.

La tercera unidad, situada al Sur de las anteriores, está constituida por conglomerados que, conforme avanzamos hacia el Sur, pasan a formaciones con predominio de limos y arcillas, formando todo ello parte de un conjunto de abanicos aluviales de edad miocena. El relieve lo constituyen formas alomadas y plataformas estructurales generadas por formaciones conglomeráticas, más resistentes a la erosión, que presentan un débil buzamiento hacia el Sur y aparecen escalonadas formando un sistema en graderío. El conjunto, a su vez, está disecado por la red fluvial.

El cuarto conjunto, ubicado al Sureste, está formado por una delgada película de conglomerados atribuidos por su constitución, posición y edad relativa, a la "raña". Presenta una morfología de plataforma estructural con pendiente media, hacia el Sur, del 7 al 8 por 1.000; al igual que las anteriores superficies estructurales se encuentra fuertemente disecada por la red fluvial, que se encaja profundamente en aquella.

El quinto dominio corresponde al sistema de terrazas y depósitos transportados por la red fluvial. Los dos principales ríos, el Esla y el Cea, discurren relativamente encajados, comenzando a extenderse su llanura aluvial hacia el Sur. El primero presenta un sistema de terrazas escalonadas de escaso desarrollo. Los cauces de ambos ríos están encajados, la mayor parte de su curso, en la llanura de inundación.

Por otra parte destaca la linealidad de ambos ríos, que hace suponer que se amolden a líneas de debilidad tectónica. Presentan, asimismo, un desarrollo disimétrico de sus respectivos valles, con vertientes abruptas en el margen derecho.

Prácticamente toda la región está recubierta por un tapiz de depósitos de vertiente que trae, como consecuencia, la escasez de buenos afloramientos del substrato. Las vertientes están suavizadas por estos materiales que se movilizan por procesos de solifluxión y "creep". Esta regulación generalizada de las vertientes tiene un claro origen periglacial y afecta, incluso, a los escarpes de las terrazas más bajas. Estos depósitos de vertientes alimentan a los valles, tanto principales como secundarios; estos últimos tienen un desarrollo de su lecho en fondo plano y presentan, por lo general, una concavidad de enlace con las vertientes. Algunas de éstas, regularizadas, están colgadas por fases de incisión lineal.

Los detritus de vertientes quedan disecados, en muchos casos, por barrancos de incisión lineal y cuando aflora el substrato, y éste está constituido por materiales poco coherentes, la arroyada modela las vertientes en un sistema de cárcavas de escaso desarrollo.

3.5 HIDROGEOLOGIA

La zona presenta un clima continental de montaña, con una media de precipitaciones bastante alta, siendo de especial importancia las de nieve. El área es tributaria de la cuenca del Duero y son numerosos los ríos y arroyos que nacen o discurren a su través.

Los materiales que presentan mejores características hidrogeológicas son las calizas devónicas, carboníferas y cretácicas que, por su naturaleza y disposición constituyen buenos acuíferos, de elevada transmisividad como consecuencia de su "permeabilidad" por fisuras y conductos. De especial interés son las calizas carboníferas que forman Peña Corada y presentan karstificaciones importantes, con formas de relieve características (lapiaz, dolinas, etc.). Por su estructura presenta un área de captación limitada, alimentándose exclusivamente de las precipitaciones. Se drena por las zonas bajas y son numerosos los manantiales, que no presentan un gran caudal, pero son suficientes para el abastecimiento de las poblaciones cercanas.

Un interés, evidente y pragmático, de la espeleología es, precisamente, la exploración de las redes kársticas activas, por su aplicación inmediata en subsanar las deficiencias de abastecimiento de agua a las poblaciones y núcleos urbanos.

En los materiales de las cuencas de Prado-Guardo-Cervera y Sabero predomina la escorrentia.

Los depósitos detríticos gruesos y medios del Terciario constituyen potenciales niveles interesantes no explotados aún. La discontinuidad de algunos tramos conglomeráticos y, en el caso de la existencia de cementación carbonatada, son datos negativos a tener en cuenta en una prospección; la discontinuidad es inferior en el borde Norte, donde hay predominio de litologías detríticas gruesas y medias. En toda la región se pueden localizar fuentes en los contactos entre capas de conglomerado o arenas y fangos arcillosos, aunque de caudal escaso y estacional.

Cuando los conglomerados son calcáreos o incluso mixtos, existen karstificaciones locales incipientes que favorecen la formación de conductos colectores de aguas de infiltración, siempre de escasa entidad.

En la actualidad son aprovechados, con poca intensidad, los recursos que proporcionan los sedimentos cuaternarios fluviales, tanto terrazas como llanuras de inundación y, menos, la ría.

4. DESCRIPCION DE LA CUEVA

La primitiva entrada de la Cueva del Carrascal, clausurada por una verja de hierro (fotografía 1), no es utilizada para acceder a la cavidad pues desemboca en lo alto de la primera sala de la espelunca.

Se penetra en la cueva por la pequeña sima o pozo de acceso (fotografía 2) que se abre delante de la entrada primitiva: un resalte de poco más de dos metros y medio que nos coloca en su fondo, sin apenas dificultad. No obstante una cuerda fija facilita la maniobra.

Una rampa de suelo detrítico, en la que se encuentra adosada una escalera de madera, nos conduce a la primera sala de la cueva. Estamos a - 3 m. de profundidad. Desde aquí unos peldaños contruidos con fragmentos rocosos nos depositan al fondo de la sala, que se encuentra en la cota de - 12 m. (La fotografía 3 nos muestra la parte final de esta rampa, en la que podemos observar en primer término los peldaños de roca y al fondo, en la parte superior, la luz que penetra por "La Claraboya", la primitiva entrada).

La primera sala se encuentra completamente adornada con concreciones parietales; algunas estalactitas penden del techo. Hacia la mitad de su recorrido, a ambos lados de la sala dos inmensas columnas estalagmíticas de immaculada blancura parecen soportar el peso de la bóveda (fotografías 4 y 5).

Llevamos recorridos cerca de 30 m. cuando la galería hace un pequeño quiebro hacia la izquierda. Su perfil zigzagueante y la presencia de espeleotemas de todo tipo nos hacen perder de vista la bóveda que se encuentra entre los 12 y los 14 m. por encima del suelo, dándonos la sensación de que sus dimensiones se reducen (fotografías 6 y 7 -esta última tomada en sentido contrario a nuestro avance-).

A partir de aquí la galería progresa ascendiendo suavemente sobre un suelo estalagmítico -hay tallados algunos escalones para facilitar el avance- y, 20 m. más adelante nos encontramos con dos tramos de escaleras metálicas con su correspondientes barandillas (fotografías 8 y 9), que nos sitúan en la cota aproximada de la boca de entrada.

En este punto la galería gira hacia la izquierda casi en ángulo recto, mientras la bóveda se eleva sólo unos escasos 4 m. por encima del nivel del suelo. Observamos preciosas columnas, estalactitas y banderas, algunas de una blancura casi perfecta. (fotografías 10 y 11).

Un pasamanos, consistente en un tubo de hierro de dos pulgadas de sección, nos permite salvar con seguridad una pequeña sima o pozo que se abre a nuestra derecha; pero detengámonos un momento aquí.

Un cómodo destrepe de 5 m. nos coloca en el fondo de la referida sima: una sala de reducidas dimensiones nos muestra su esplendoroso ornato; coladas estalagmíticas por doquier (fotografías 12 y 13 -en esta última y en su parte superior podemos observar el pasamanos aludido-. En esta salita se encuentra la llamada, por los primeros exploradores, "Columna Macarada" (fotografía 14). El techo de esta sala se encuentra concrecionado con estalactitas de aspecto globuloso (botroidales), llamadas coloquialmente coralinas, que denotan una génesis bajo un nivel de agua estable (fotografía 15).

Remontando nuevamente la pequeña sima continuamos nuestro peregrinar por la galería principal. Franqueado el pasamanos, que habíamos abandonado anteriormente, una rampa de suelo estalagmítico nos conduce hacia la sala final de la cueva. A nuestra derecha se presentan una gigantesca columna estalagmítica de sección increíblemente uniforme, y una batería de columnas de menor tamaño que asemejan tubos de órgano (fotografías 16 y 17). A nuestra izquierda la pared, aparentemente desnuda, se encuentra tapizada de finos cristales de calcita (fotografía 18).

Una segunda rampa final descendente, con escalones tallados en el suelo estalagmítico, nos conduce al fondo de la sala última de la cueva; la más espectacular por sus dimensiones (fotografía 19). Enormes coladas tapizan la pared derecha (fotografía 20) y rincones de incomparable belleza se asientan en el fondo de la misma (fotografías 21, 22 y 23).

En resumen, el recorrido de la cavidad es reducido: a penas noventa metros lineales y doce metros de desnivel, de pendientes suaves, si exceptuamos el tramo que se encuentra instalado con las escaleras metálicas y el pequeño pozo de entrada.

5. ESPELEOGENESIS

La Cueva del Carrascal se desarrolla en la Formación Barcaliente de la "Caliza de Montaña", correspondiente al piso Namuriense del Carbonífero. La entrada de la misma se abre, aproximadamente, en la cota de 1.200 metros: unos 200 metros sobre el actual cauce del río de La Duerna.

Observando el plano de la cavidad destaca su alineación con dos rumbos principales: El primero conforme $60^\circ - 120^\circ$ respecto al Norte magnético, se corresponde con el plano S3 del elipsoide de deformación estructural (donde se ha producido distensión). El segundo conforme $40^\circ - 220^\circ$, ortogonal al primero, se corresponde con el rumbo local de la estratificación, que presenta un buzamiento próximo a 90° . Vemos, pues, que la espelunca se desarrolla sobre unos planos estructurales preexistentes (ERASO et al., 1986).

La morfología de la gruta, con galerías de cierto desarrollo vertical, es típica de una caverna de tipo vadoso: La cavidad ha ido evolucionando por encima del nivel freático, ahondando el perfil de sus galerías, conforme el nivel de base local, marcado por el río de La Duerna, iba encajándose, hasta formar el actual valle. Es evidente, a la vista del desnivel actualmente existente entre la boca de la cueva y el fondo del valle, que la evolución de aquella se detuvo en determinado momento, mientras que, en el exterior, el valle seguía encajándose más profundamente en el relieve.

En determinado momento del pasado los aportes de agua a las galerías que hoy conocemos cesaron. Probablemente debido a la concurrencia de dos circunstancias: Por un lado la existencia de un cambio climático con descenso apreciable de las precipitaciones y, por otro, el abandono de dichas galerías por parte de la circulación hídrica, a favor de otros conductos con un mayor gradiente hidráulico.

Una vez detenido el proceso corrosivo-erosivo de la roca, tras el abandono de la cavidad por la circulación activa del agua, se produjo la lenta y paulatina "fosilización" de las primitivas galerías. La caliza disuelta en las aguas de infiltración (bajo la forma de bicarbonato cálcico) al alcanzar la atmósfera de las galerías, a la sazón con un bajo contenido en dióxido de carbono, cristalizó bajo la forma de calcita, dando origen a las formaciones que hoy día constituyen el adorno de la espelunca: estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas y, en general, espeleotemas de todo tipo.

Es evidente la simplificación que hemos hecho a cerca del proceso evolutivo de la cavidad. Es probable, incluso, la existencia de periodos de reexcavación de la cueva, pero carecemos de cualquier evidencia de ello, mientras no se realice una cuidada estratigrafía de los rellenos y su correspondiente datación.

No podemos tampoco afirmar cual era el primitivo sentido de circulación de las aguas subterráneas: la abundante reconstrucción cristalográfica de paredes y techo han enmascarado las probables huellas de corriente existentes (GABRIEL, 1931). No obstante podemos aventurar que la cueva que hoy conocemos funcionaba como desagüe de los aportes hídricos procedentes de las zonas altas del macizo rocoso.

De esa compleja evolución de la caverna, a que hemos hecho referencia, son testimonio las cristalizaciones epiacuáticas que aparecen en la salita que se abre en el fondo de la pequeña sima, justo debajo del lugar donde se encuentra el pasamanos: son esas formaciones botroidales y globulosas que tapizan techo y paredes. Tales cristalizaciones denotan la existencia de periodos dilatados con la presencia de un nivel de agua estable que ha permitido la cristalización de tales espeleotemas en el seno del agua totalmente en calma y sobresaturada de bicarbonato cálcico (POMAR et al., 1976; 1979).

6. METEOROLOGIA, CLIMA Y CONSERVACION DEL MEDIO

6.1 LA CONSERVACION DEL MEDIO SUBTERRANEO

Esta excursión por la meteorología subterránea obedece a que es un factor fundamental en el microclima de una cavidad que, a su vez, es el condicionante de todo el ecosistema subterráneo. Como veremos más adelante, la modificación de los parámetros climáticos de la cueva tanto por las instalaciones para adecuarla a las visitas turísticas: iluminación, nuevos accesos, etc., como la propia presencia de los visitantes, pueden llevar al extremo de propiciar la destrucción de aquello que resulta atractivo al visitante: la decalcificación de los espeleotemas y, lo que es más grave en el caso de las grutas con arte parietal, el deterioro de las pinturas rupestres, como demuestran, por desgracia, los casos de Lascaux (Francia), y Altamira (España).

Este es un tema que viene preocupando a las autoridades culturales de los diferentes países y a la propia UNESCO. De hecho, en nuestra vecina Francia, existe una asociación privada ANECAT (Association Nationale des Exploitants de Cavernes aménagées pour le Tourisme) cuya preocupación por el tema le ha llevado a contratar a los más prestigiosos especialistas al objeto de proteger el patrimonio subterráneo que vienen explotando de cara al turismo mediante la correspondiente toma de decisiones y medidas correctoras. En España, aparte de la imprescindible intervención de la Administración en el caso de la Cueva de Altamira, la preocupación a este respecto está únicamente en manos de unos pocos especialistas (ERASO, 1969; 1972; 1981), (FERNANDEZ et al., 1989), (HOYOS et al., 1969) y (LOPEZ et al., 1989).

Cada cueva es un mundo diferente y de extrema complejidad derivada de los intercambios atmosféricos con el exterior (ventilación), y de los fenómenos de condensación, desecación y corrosión o precipitación asociados.

Existen pues dos fenómenos interdependientes: por un lado los estrictamente meteorológicos y por el otro los de corrosión o cristalización química. Ambos, a su vez, interaccionan con los procesos biológicos.

6.2 LA CIRCULACION DEL AIRE EN LAS CAVERNAS

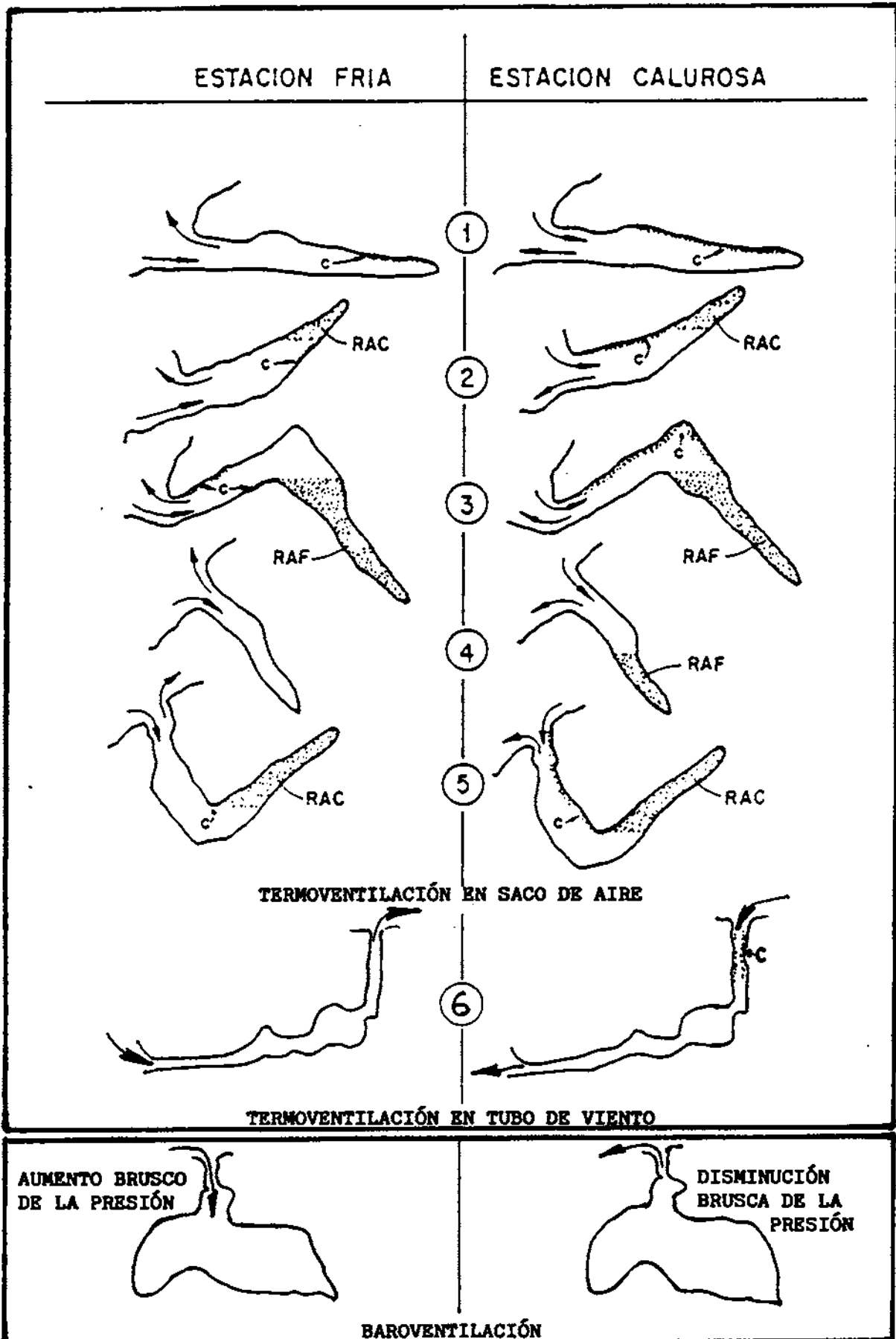
Las cuevas que nos son accesibles, por el mero hecho de serlo, disponen de una o varias bocas de acceso. A través de estas entradas se producen intercambios de masas de aire entre el interior y el exterior de la cavidad; a veces por fisuras impenetrables (TROMBE, 1947, 1952; GEZE, 1965; ERASO, 1969 & ANDRIEUX, 1981).

Cuando solamente existe un acceso a la gruta los intercambios de masas de aire se realizan en base a la diferencia de densidades del aire interior de la cueva y del exterior. El aire más frío resulta, por tanto, más denso y tiende a depositarse en las partes más bajas. También puede producirse el intercambio atmosférico como consecuencia del brusco descenso de la presión atmosférica exterior ante la presencia de un frente nuboso. En el primer caso hablamos de termocirculación en saco de aire y, en el segundo, de barorrespiración. (Sinonimia: termorrespiración y barocirculación, respectivamente).

Cuando la cueva dispone de más de un acceso, aunque sean fisuras impenetrables al hombre, situados a diferente altitud, se produce una ventilación forzada que depende de la diferencia de cotas entre las bocas inferior y superior de la cueva y de las diferencias de temperatura del aire interior y exterior a la cavidad (termocirculación en tubo de viento). Es el mismo fenómeno que se produce en una chimenea.

Se pueden producir, y de hecho se producen, otros procesos que se superponen a los anteriormente explicados, causados por la acción directa del viento exterior: Por un lado el efecto que podíamos llamar de "pistón", ocasionado en aquellas circunstancias en que el viento sopla frontalmente contra la boca de la cueva, empujando a las masas de aire hacia su interior. Por otro lado, el efecto venturi, que se produce en aquellas circunstancias en que el viento circula paralelo al suelo (caso de las simas) o a la pared (caso de las cuevas) en en que abre la cavidad, causando una depresión y, en consecuencia, produciendo una absorción de las masas de aire del interior de la cavidad hacia el exterior.

A fin de evitar enojosas explicaciones se pueden observar en la figura de la página siguiente las diferentes formas en que se ventilan las cuevas dependiendo de las estaciones (quizás debiéramos decir más correctamente: dependiendo de que la temperatura del aire exterior sea inferior (invierno) o superior (verano) a la del aire interior de la gruta).



REGÍMENES DE CIRCULACIÓN DEL AIRE EN LAS CUEVAS

LEYENDA: c - Zonas de condensación. RAC - Reserva de aire caliente.
RAF - Reserva de aire frio.

Figura adaptada de: ANDRIEUX, C. (1981); ERASO, A. (1969); TROMBE, F. (1952)

6.2.1 EL FENOMENO ENDOTERMICO DE LAS MEZCLAS DE DOS MASAS DE AIRE CON DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD

La mezcla de dos masas de aire con diferentes características climatológicas, tiene lugar bajo las siguientes condiciones:

- Aire proveniente del exterior, con temperatura y humedad muy variables dependiendo de las estaciones.
- Aire de la cueva, más inerte, de temperatura prácticamente constante y humedad relativa próxima a la saturación.

No obstante, aunque pudiera pensarse que la mezcla de dos masas iguales de aire, de temperatura y humedad relativa diferentes, daría como resultado una masa doble de aire con temperatura y humedad relativa resultantes del promedio de los valores iniciales, es lo cierto que el hecho es diferente.

La humidificación del aire es endotérmica: el aire exterior que penetra en una cueva se humidifica lentamente. Como consecuencia, se enfría mientras el aire interior mantiene su temperatura prácticamente invariable, pues la humedad cedida se recupera rápidamente por el goteo constante.

La humedad del aire es proporcional a su temperatura y puede suceder que el aire exterior sobrepase ese límite, conforme se enfría al humedecerse. En tal caso el vapor de agua sobrante cambia de estado, entrando en la fase líquida, apareciendo una condensación; si las condiciones son más rigurosas puede formarse hielo (ABEL, 1953).

La evaporación del agua y la humidificación del aire son, por consiguiente, fenómenos endotérmicos. Si una porción de agua se somete a la acción de una corriente de aire no saturado de humedad, el agua se evapora absorbiendo calor (calor latente de vaporización). Tal evaporación produce un enfriamiento tanto del agua como del aire (es el principio por el que funciona, ¡y tan ricamente!, nuestro rústico botijo). Cuando esto ocurre pueden suceder dos cosas:

1 - Que el aire esté a mayor temperatura que el agua. En esa circunstancia se llega al equilibrio cuando el calor tomado por el agua es igual al calor latente del vapor que se forma.

2 - Que el agua esté a mayor temperatura que el aire. En tal caso el enfriamiento de la primera es más rápido, pero la temperatura no disminuye indefinidamente. Cuando la temperatura es bastante baja, el vapor de agua existente en el aire es condensado en agua; esto equivale a un suministro de calor. Cuando el calor producido por la condensación de la humedad del aire es igual al calor que el aire toma por convección, se llega al equilibrio.

Ambas condiciones de equilibrio son idénticas y corresponden a la temperatura de saturación adiabática (ERASO, 1965).

6.3 LA CORROSION Y EL CLIMA SUBTERRANEO

La corrosión química de la caliza en relación con el clima subterráneo, en principio, viene ligada a los cambios de estado del agua que se producen en los intercambios de las masas de aire interior y exterior de las cavernas, en presencia de anhídrido carbónico. Dicho esto, no podemos dejar en el olvido otros elementos agresivos como son: los ácidos húmicos y los otros productos ácidos que se generan en complejas reacciones químicas (tipo red-ox) derivadas de las propias impurezas (iones oxidables) de la roca caliza, cuando es corroída (ERASO, 1965).

La presencia en la atmósfera de una determinada cantidad de anhídrido carbónico (normalmente determinada por su presión parcial establecida conforme la Ley de DALTON), determina la cantidad de este gas que puede ser disuelto en el agua y, en consecuencia, el que ésta resulte más o menos agresiva frente a la roca caliza o el cristal de calcita. La solubilidad de un gas en un líquido viene determinada por la Ley de HENRY: es directamente proporcional a la presión que dicho gas ejerce sobre el líquido e inversamente proporcional a la temperatura. Como corolario cabe decir que a mayor presión parcial de CO₂, mayor capacidad de disolución de la roca e, igualmente mayor, cuanto más baja sea la temperatura del agua. (En climas cálidos, paradójicamente, se produce una mayor corrosión derivada de la mayor concentración de CO₂ a nivel del suelo, producida por la vegetación)

Cuando se produce una variación en la concentración del CO₂ atmosférico, se pone en marcha toda una cadena de equilibrios sucesivos: En primer lugar, y como ha quedado dicho, una cadena física de equilibrio entre la presión parcial del anhídrido carbónico en la atmósfera y su concentración en la solución acuosa. En segundo lugar una cadena química cuya velocidad de evolución está condicionada por la cinética de las reacciones químicas. Finalmente, en tercer lugar, una cadena cristalográfica de disolución/deposición del carbonato cálcico (ROQUES, 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1968 y 1969), (GIROU et al., 1969), (STCHOZKOI-MUXART, 1971).

Resumiendo, cuando la presión parcial del CO₂ en el aire de una caverna es baja, se disuelve en el agua condensada sobre las paredes en poca cantidad, por lo que la capacidad de corrosión química del agua queda bastante limitada. Es más, si el agua infiltrada en la gruta tiene una mayor concentración de CO₂ que la atmósfera, aquel se liberará hacia ésta, produciéndose depósitos cristalinos de carbonato cálcico. Cuando el fenómeno se invierte, se produce corrosión.

6.3.1 LOS DIFERENTES TIPOS DE CORROSION

La corrosión podemos reducirla a tres tipos diferentes si la relacionamos con la conservación del medio subterráneo (CAUMARTIN, 1964): La corrosión físico-química, la corrosión bioquímica ligada a la fermentación de aportes orgánicos no dependientes de la luz y la corrosión bioquímica ligada a la presencia de vegetales clorofillicos.

6.3.1.1 LA CORROSION FISICO-QUIMICA

En primer lugar tenemos la corrosión físico-química. Este tipo de corrosión está ligada a la presencia de sustancias químicas que tienen la propiedad, bien de disolver el carbonato cálcico (principal constituyente de la roca caliza) en el agua: por ejemplo el anhídrido carbónico (fenómeno del que acabamos de hablar en los párrafos anteriores; bien el de destruirlo mediante una neutralización química: como en el caso de la presencia de ácidos húmicos, ácido nítrico, etc.; o bien el facilitar su suspensión en la fase líquida con finas partículas separadas de la superficie madre y, por tanto, acelerar su evacuación y puesta al descubierto de superficies sanas que son objeto, a su vez de degradación: es el caso del amoníaco y de los compuestos amoniacales. Quedan eliminadas de esta catalogación aquellas sustancias que son ajenas a la cavidad.

Podemos decir que el anhídrido carbónico, al igual que los ácidos húmicos, el ácido nítrico y los compuestos amoniacales, son de origen orgánico y, consecuentemente, reducir todo ello a una corrosión bioquímica. En realidad los ácidos húmicos, nítrico, y los compuestos amoniacales intervienen sobre los lugares en que se producen. El anhídrido carbónico, por el contrario, se produce tanto por fermentaciones de materia orgánica en el interior de las cuevas como es introducido por las aguas de infiltración, dentro de la espelunca: La formación de una concreción cristalina supone la precipitación de carbonato cálcico y el desprendimiento de anhídrido carbónico; igualmente procede de los procesos de respiración de los visitantes, etc, y circula por toda la cueva. Por ello relacionaremos la corrosión físico-química con el anhídrido carbónico, fundamentalmente.

En la red de fisuras que alimenta el concrecionamiento se observa un decrecimiento de la presión parcial del anhídrido carbónico, en función de la profundidad de circulación (ROQUES, 1963). Consecuentemente, cuando las aguas de infiltración alcanzan una cavidad subterránea, salvo contadas circunstancias, no son ya agresivas. No obstante, con cierta frecuencia, el anhídrido carbónico presente en la atmósfera de la cueva es susceptible de intervenir y hacer agresiva a la delgada capa de agua formada por condensación en alguna pared de la gruta. Cuando sobre la pared circula una película de agua, de continuo, éste limita considerablemente el intercambio de gases en la interfase agua-atmósfera y, en consecuencia, las trazas de corrosión son eliminadas por la cristalización.

Así, la pared sobre la que circula una película de agua nunca presenta trazas de corrosión físico-química, con la sola excepción de aquellos periodos extraordinariamente secos; sobre la pared que rezuma humedad, o aquella que está seca, los efectos de la corrosión físico-química se suman a los de la corrosión bioquímica; sobre la pared seca la corrosión físico-química deja aparecer un depósito pulverulento blanquecino.

6.3.1.2 LA CORROSION BIOQUIMICA

Respecto a la corrosión bioquímica, a fin de facilitar la comprensión del problema, conviene hacer una distinción entre aquella ligada a la fermentación de aportes orgánicos de origen variado y correspondiente a un proceso sobre el que la iluminación de la cueva no ejerce ningún papel, incluso indirectamente, y aquella otra que está ligada exclusivamente a la presencia de vegetales clorofilos y a la humidificación, "in situ", de sus tejidos muertos, pues no pueden existir más que en una cavidad donde son mantenidas condiciones de iluminación mal estudiadas y propicias para el desarrollo de estos vegetales.

6.3.1.2.1 La corrosión ligada a la fermentación de aportes orgánicos independientes de la luz

Pues bien, respecto a los primeros, corrosión ligada a la fermentación de aportes orgánicos sin dependencia de la luz, están constituidos principalmente de compuestos orgánico-cálcicos elaborados por la acción de microorganismos a nivel de las capas pedológicas, llevados hacia la cueva por la red de estrechos conductos y fisuras de la roca, y concentrados sobre las paredes gracias a procesos de evaporación. Los restos de animales y plantas transportados por las corrientes de aire y depositados sobre las paredes, bien húmedas, bien secas pero susceptibles de humedecerse por condensación, intervienen igualmente. Cuando la cavidad está abierta a las incursiones turísticas, las fuentes contaminantes se ven incrementadas por el polvo y los desperdicios que siempre dejan detrás los visitantes, cuando no los animales domésticos que les acompañan.

Las fermentaciones que se producen en contacto con la roca o las formaciones cristalinas dan lugar a la formación de un "humus" grisáceo, que se mineraliza muy rápidamente en las condiciones, casi constantes, de humedad, temperatura y pH de las cuevas, rico en aminoácidos caracterizados por la presencia de dos grupos orgánicos: Uno el NH₂, que evoluciona a amoníaco; otro el COOH, ácido, responsable de la movilización del calcio presente en el sustrato. Aparecen igualmente los compuestos orgánico-cálcicos y los nitratos como consecuencia de los compuestos amoniacales liberados. Diversos mecanismos de corrosión están íntimamente ligados a estas transformaciones:

- En contacto con las concreciones, la desorganización de la calcita y del conjunto mineral al que aquella aparece asociada, conlleva a la formación de un "Mondmilch" calcítico.

- Los óxidos metálicos, en especial el férrico y manganésico, fundamentalmente el primero, son reducidos químicamente en presencia del anhídrido carbónico, lo que permite la difusión, posteriormente la desaparición, de los pigmentos de las pinturas prehistóricas. Esta desaparición funciona, igualmente, bajo la acción de partículas procedentes de otros focos de corrosión, factor éste frecuentemente olvidado.

- La nitrificación de los compuestos amoniacales, arrastrados por las corrientes de agua, da lugar a la formación de nitratos cuya neutralización se verifica a expensas de la calcita: los "gours", los lagos naturales, cuya existencia depende de un revestimiento impermeable de calcita, se transforman en porosos y se vacían. Su desaparición conlleva a una modificación de la humedad y la temperatura de la cueva, que son factores de conservación del ecosistema subterráneo.

- Finalmente, como ya dejamos señalado, la presencia de compuestos amoniacales facilita la puesta en suspensión y el transporte de las partículas desprendidas por la corrosión, favoreciendo así la progresión en profundidad de las fermentaciones.

Es preciso, pues, insistir sobre el peligro de explotación irracional de una cueva; sobre la importancia de los estudios previos a cualquier instalación y sobre el mantenimiento integral, en algún caso mejora, del circuito original de circulación del aire.

6.3.1.2.2 La corrosión ligada a la presencia de vegetales con clorofila

Respecto al tercer tipo de corrosión: corrosión ligada a la presencia de vegetales clorofilicos y a la humidificación "in situ" de sus tejidos muertos, debemos indicar que su efecto es menor que el tipo anteriormente explicado, pese a la sensibilización que, el público en general, ha tenido a través de los medios de comunicación al hablar de la enfermedad verde.

Es evidente que el desarrollo de algas ejerce una acción directa sobre la roca carbonatada y el pigmento de las pinturas. Dichos organismos, esencialmente acuáticos, se desarrollan en presencia de luz (sus colonias las podemos observar en cualquier cueva acondicionada, en las proximidades de los focos luminosos: por ejemplo en Valporquero), en la película de agua que recubre la roca o la concreción, alimentándose con los elementos minerales de dicho sustrato; las células vivientes utilizarán la solución mineral formada activando su reproducción.

Por otro lado, los procesos de humidificación que aparecen sobre las células muertas, reproducen los fenómenos de corrosión ya tratados anteriormente, incluyendo la reducción de los óxidos metálicos.

La degradación de las pinturas, por la acción directa de las algas, puede ser enfocada de varias maneras: Puede formarse, conforme la hipótesis generalmente admitida, por la creación de un quelato de hierro (combinación soluble entre un compuesto orgánico sintetizado por el vegetal y el hierro en estado férrico): el óxido de hierro sería así eliminado de los pigmentos de las pinturas. Se puede igualmente hacer intervenir un compuesto intermedio, el sulfuro de hierro; un fenómeno perfectamente reproducible experimentalmente en el laboratorio y puesto de manifiesto en numerosos hechos observados: En los intercambios minerales aparecen, a nivel de la membrana celular, en el medio reductor que forma, iones sulfuro que reducen el óxido férrico y lo transforman en sulfuro ferroso insoluble (provisionalmente inmovilizado). Posteriormente el CO₂ eliminado por el vegetal provoca un equilibrio carbonatado clásico y el sulfuro de hierro, en su presencia, es descompuesto en bicarbonato ferroso y sulfato de calcio, ambos solubles y asimilables por el vegetal.

Igualmente la presencia de compuestos carbónicos, excretados por el alga, no deben excluirse del proceso; el hierro, en su presencia, sería reducido al estado de bicarbonato ferroso asimilable.

Resulta totalmente imposible evitar el aporte de esporas; la propia ventilación natural es el origen de tal contaminación en las paredes húmedas, al igual que los visitantes.

En relación con la naturaleza de la evolución de las poblaciones al amparo de la fotosíntesis artificial, de la que depende, lógicamente, cualquier posterior intervención, podemos establecer los siguientes pasos:

En un primer momento se presenta una implantación de algas, fundamentalmente algas verdes. Las especies encontradas son, en su mayoría, unicelulares, lo que explicaría, en cierta medida, la rapidez de extensión de las colonias. En este primer estadio, salvo que las pinturas estén recubiertas, no existen perturbaciones esenciales, pues la concreción no ha sido penetrada y los efectos de la corrosión bioquímica son muy limitados.

En el segundo paso de la evolución, sobre el soporte orgánico creado por las algas, aparece toda la microflora de la humidificación y de la mineralización: bacterias, actinomicetos, mohos; la pared toma un aspecto oscurecido fácilmente apreciable y todos aquellos procesos de corrosión del segundo tipo, anteriormente explicados, se reproducen.

La movilización de los elementos minerales necesarios en las fermentaciones ocurren tanto en profundidad como en superficie, asegurando una desorganización de la capa superficial de la roca y preparando una implantación de vegetales más complejos. La película de humus se desprende fácilmente, dejando descubierto un soporte de aspecto terroso. En este estadio se impone un tratamiento vigoroso (se trate de cristalizaciones dignas de interés o pinturas); es preciso tal sacrificio para destruir un foco de contaminación y de materia orgánica; procede un rascado meticuloso y una desinfección.

En el tercer estadio, sobre la capa de humus precedentemente preparada y su correspondiente sustrato terroso, se implantan los musgos y helechos. La formación así atacada no tiene nada en común con la cueva; los filamentos rizoides de los musgos y las raíces de los helechos se infiltran en las fisuras de la roca, la corroen y preparan su dislocación. Es preciso recalcar que se observa frecuentemente, sobre las paredes húmedas y soporte terroso, en la penumbra de la entrada de las cuevas, Hepáticas; nunca en las partes iluminadas y fuertemente degradadas de la cueva propiamente dicha. Parece que cuatro factores preludian aquí a la implantación de los vegetales superiores sobre la facies de corrosión en estado terroso: la humedad, la cualidad del espectro luminoso, la riqueza en calcio del medio y un pH estrechamente tamponado por los equilibrios carbonatos-bicarbonatos.

Lo anteriormente relatado muestra que la evolución de los vegetales clorofilicos sobre un soporte calcítico, en una cueva iluminada, obedece a un proceso bien establecido, que es importante conocer, y que en un primer paso corresponde siempre a la implantación de algas; una atenta vigilancia permite intervenir en las mejores condiciones y evitar degradaciones importantes. Sobre el sedimento de una cueva la iluminación puede hacer aparecer musgos y helechos; es de todo punto importante, en este caso, impedir, a cualquier costa, un desarrollo generador de esporas.

Señalemos, finalmente, lo deseable que es utilizar, para la iluminación, una serie de filtros que eliminen del espectro de la luz las longitudes de onda que propician la fotosíntesis de las algas verdes que se desarrollan en las cuevas. Pero cuidado, antes de ejecutar un proyecto de filtrado de la luz para uso en una cueva turística, se deben estudiar muy cuidadosamente las experiencias y ensayos ya realizados, pues es posible que la eliminación de una especie conlleve el facilitar el desarrollo de otra.

6.4 METEOROLOGIA DE LA CUEVA DEL CARRASCAL

6.4.1 METODOLOGIA E INSTRUMENTACION

Con carácter previo a exponer los datos meteorológicos obtenidos en campo nos parece oportuno hacer las correspondientes puntualizaciones respecto al método operatorio, el instrumental empleado y la precisión tanto del instrumental como de los datos obtenidos.

La temperatura del aire se ha determinado mediante un termómetro de mercurio con graduación centigrada y precisión de dos décimas de grado (interpolando permite apreciar la décima de grado centigrado). No obstante, no hemos podido contrastarlo con un termómetro de precisión, ni calibrarlo a la temperatura del hielo fundido. Por todo ello el error absoluto en la determinación de la temperatura puede alcanzar algunas décimas de grado centigrado.

Por carecer de material adecuado para determinar la humedad relativa del aire (un aspiro-psicrómetro del tipo Assman-Fuess hubiera sido el mínimo imprescindible) hemos recurrido a un higrómetro de cabello con precisión del uno por ciento respecto a la calibración de su escala. En cada salida y antes de proceder a su empleo se calibraba el higrómetro en el rango del cien por cien de humedad absoluta, mediante un paño humedecido colocado al dorso del instrumento; no obstante esta precaución la precisión de este tipo de aparato deja bastante que desear (peor cuanto más alejados del punto de saturación).

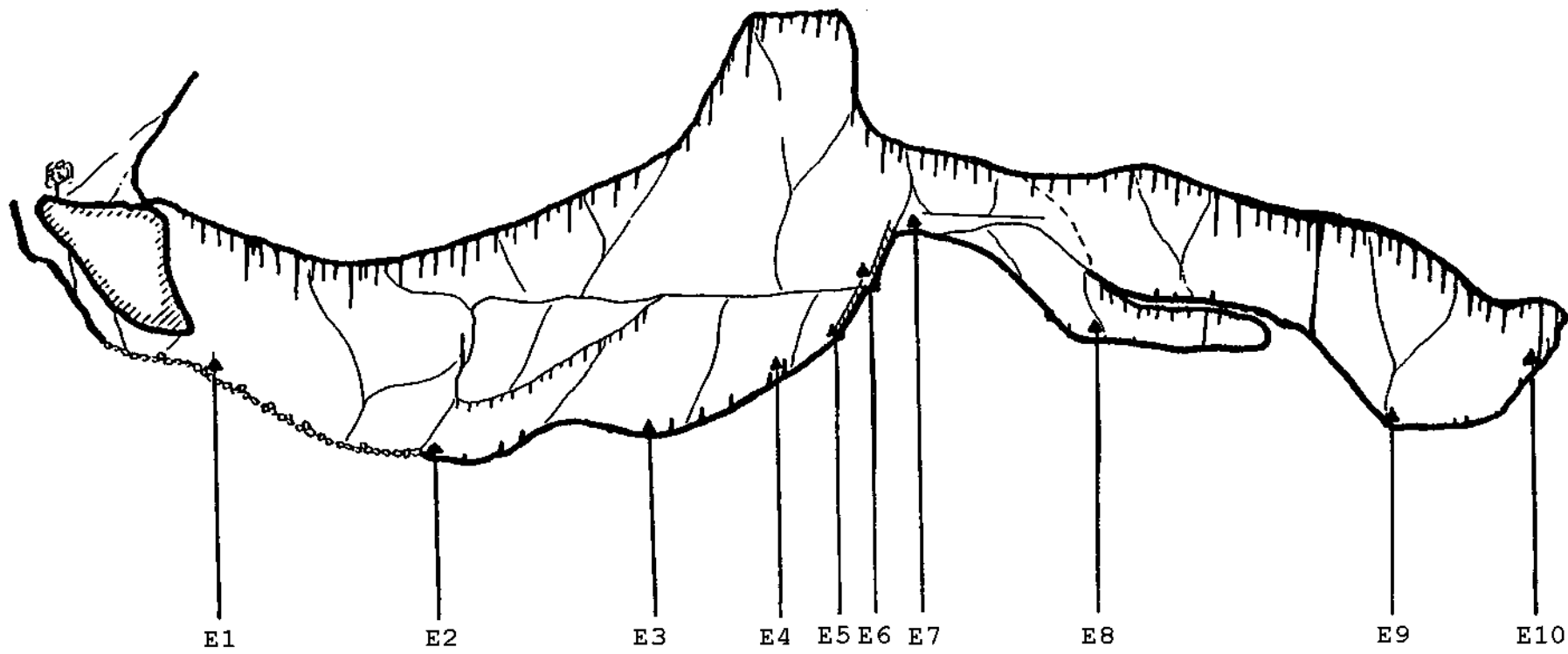
Respecto al método operatorio únicamente debemos subrayar que el instrumental era estacionado, alejándose el observador, durante cinco minutos para su aclimatación y estabilización. Transcurrido este tiempo, el observador rápidamente procedía, en primer lugar, a determinar la temperatura del aire. Esta medición es altamente delicada pues, pese a la precaución por parte del operador de no portar iluminación de acetileno dada su elevada temperatura, la sola presencia de aquel dispara rápidamente la columna de mercurio del termómetro. La lectura debe pues hacerse con toda celeridad; en otro caso, dejar estabilizar nuevamente el instrumento y repetir la observación.

Pese a todas estas precauciones y cautelas puestas en práctica a la hora de realizar las observaciones es evidente que la propia presencia del observador ha alterado el medio ambiente y, en consecuencia, los valores medidos (fundamentalmente la temperatura del aire). A lo que hay que añadir los propios errores de la observación: apreciación por el ojo y paralaje, más los derivados del margen de precisión de los instrumentos y de su calibrado deficiente.

Debemos tomar igualmente en consideración que se han realizado mediciones climáticas a razón de una por cada mes, a lo largo de poco más de un año (más exactamente durante diecisiete meses), en horas próximas al mediodía. Ello supone, en el mejor de los casos, unas treinta y dos (32) horas de observación frente a un total de doce mil cuatrocientas ocho (12.408) horas, transcurridas durante los meses indicados.

Por todo ello los datos meteorológicos que se aportan deben tomarse con la consiguiente cautela.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos tanto en el exterior E0, en las inmediaciones de la boca de la cueva, como en otras diez estaciones situadas en el interior de la cavidad: E1 a E10. La ubicación de tales estaciones de observación figuran en el croquis de la cueva adjunto.



SITUACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS
EN LA CUEVA DEL CARRASCAL

6.4.2 DATOS CLIMATICOS Y RESULTADOS ESTADISTICOS

Para una mejor comprensión los datos obtenidos de las observaciones meteorológicas se encuentran contenidos en la Tabla de la página siguiente. Por columnas aparecen agrupadas, mensualmente, la temperatura (expresada en grados centígrados) y la humedad relativa (expresada en tantos por ciento). Las filas contienen las diferentes Estaciones, comenzando por la correspondiente al exterior de la cueva (E0), y continuando con las situadas en el interior de la espelunca (desde E1 hasta E10).

Igualmente, a los efectos de visualización de los datos obtenidos en campo, en las páginas siguientes aparecen reflejadas en gráficas las variaciones de la temperatura y humedad relativa durante los meses de observación. Las gráficas representan: el conjunto de los datos observados en todas las estaciones (E_0 a E_10); el conjunto de las observaciones correspondientes a las estaciones del interior de la cueva (E_1 a E_10) y finalmente las observaciones correspondientes a todas y cada una de las estaciones por separado. Para una mejor lectura se presentan separadas las gráficas correspondientes a la temperatura y a la humedad relativa.

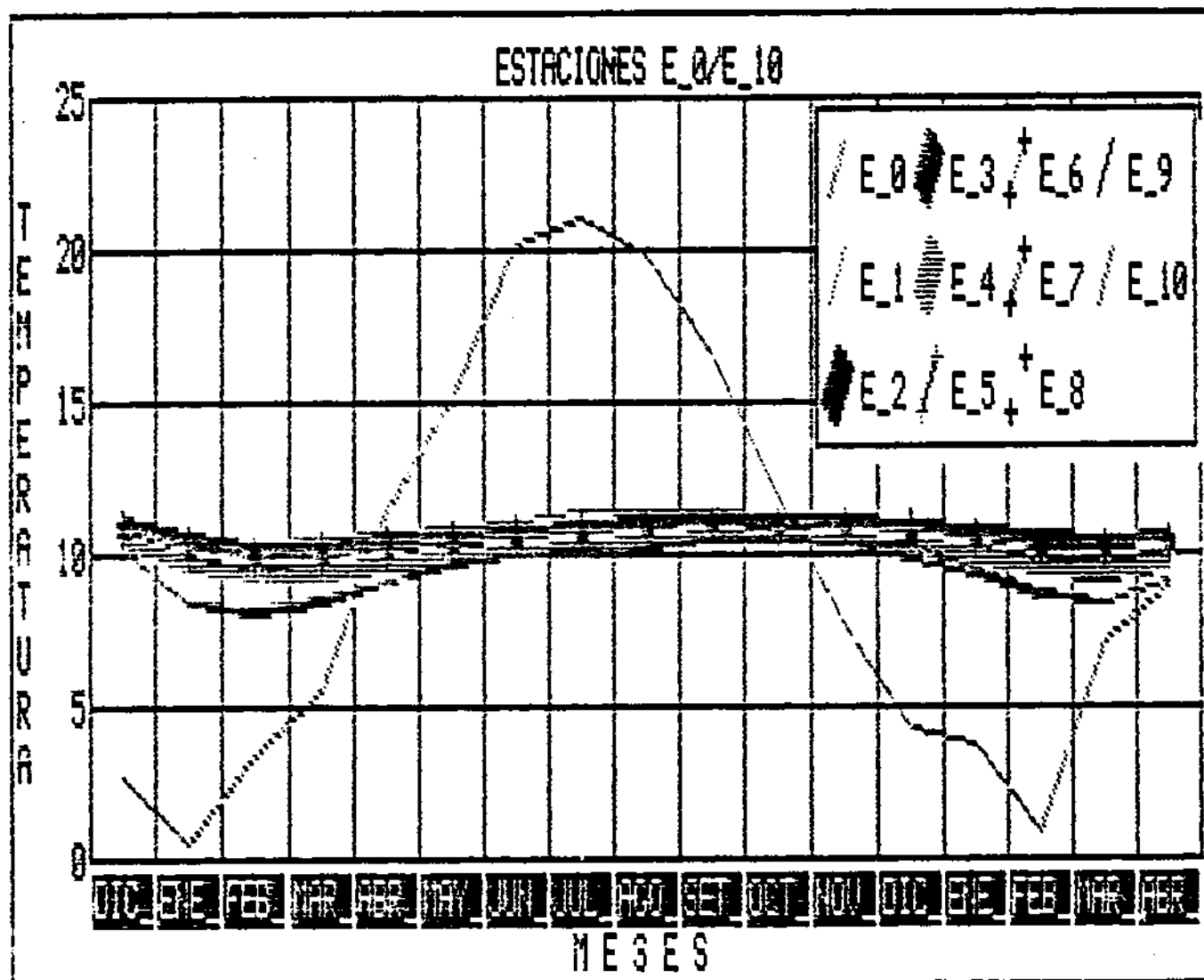
Respecto a la precisión de las medidas obtenidas, en mor de brevedad, nos remitidos a lo ya manifestado en el apartado anterior.

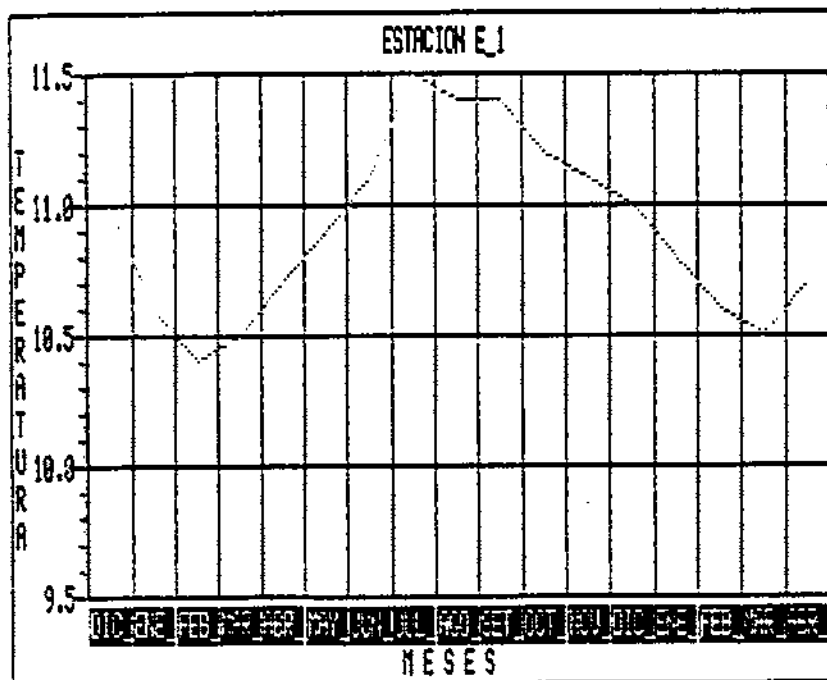
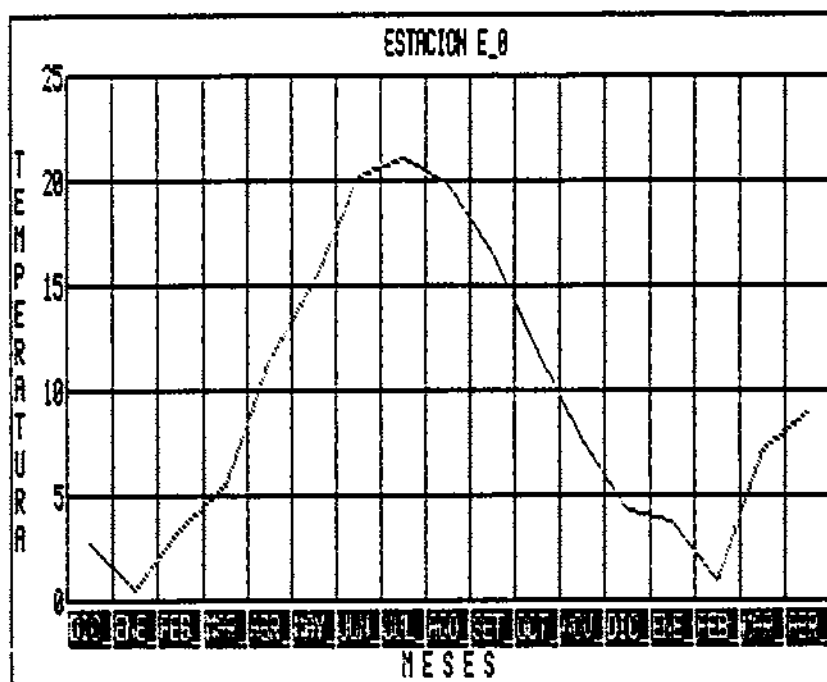
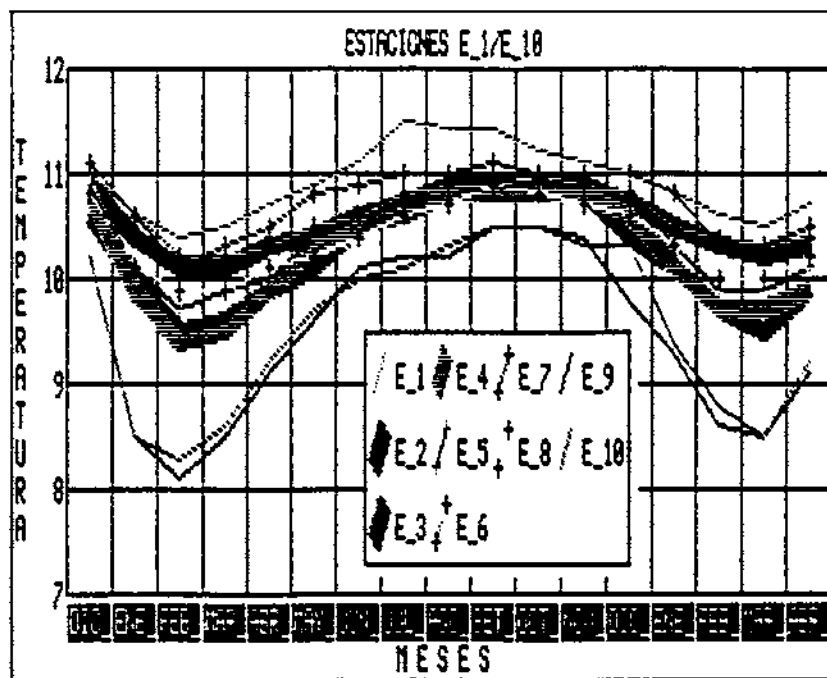
	DIC. 90		ENE. 91		FEB. 91		MAR. 91		ABR. 91		MAY. 91		JUN. 91		JUL. 91		AGO. 91		SET. 91		OCT. 91		NOV. 91	
	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR
E0	02.7	79.0	00.7	79.0	03.5	78.0	05.5	76.0	11.4	74.0	15.1	72.0	20.2	64.0	21.1	53.5	19.7	66.0	16.5	70.0	12.0	76.0	07.6	77.0
E1	11.0	98.0	10.6	92.5	10.4	88.0	10.5	92.5	10.7	95.0	10.9	97.0	11.1	98.5	11.5	96.0	11.4	97.5	11.4	98.0	11.2	98.0	11.1	98.0
E2	10.9	97.0	10.4	89.5	10.1	88.5	10.1	91.5	10.3	94.0	10.4	95.0	10.6	96.5	10.7	98.0	10.9	98.0	10.9	98.0	10.9	98.0	10.9	98.0
E3	10.6	98.0	10.0	91.0	09.5	89.0	09.6	92.5	09.9	95.0	10.1	97.0	10.5	98.0	10.7	98.5	10.8	99.0	10.8	99.0	10.8	99.0	10.8	98.5
E4	10.8	97.0	09.9	92.0	09.4	91.5	09.5	93.5	09.9	94.5	10.3	97.0	10.5	99.0	10.6	99.0	10.8	99.0	10.8	99.0	10.8	99.0	10.8	98.5
E5	10.9	97.5	10.1	92.0	09.7	89.0	09.9	90.5	10.0	94.5	10.4	97.5	10.6	98.0	10.7	99.0	10.8	99.0	10.9	99.0	10.9	99.0	10.9	99.0
E6	11.1	96.5	10.6	90.0	10.2	88.0	10.2	91.0	10.3	94.0	10.5	96.0	10.6	97.0	10.8	98.0	10.9	99.0	10.9	99.0	11.0	99.0	10.9	98.0
E7	11.1	98.0	10.6	94.0	10.1	96.0	10.3	96.5	10.5	95.0	10.8	94.0	10.9	97.5	11.0	98.0	11.0	99.0	11.1	99.0	11.0	99.0	11.0	98.0
E8	10.8	98.0	10.1	92.0	09.9	89.5	09.9	89.5	10.1	95.0	10.2	96.5	10.4	98.0	10.6	98.0	10.7	98.0	10.9	97.0	10.8	98.0	10.7	98.0
E9	10.2	98.5	08.5	94.0	08.1	91.5	08.5	96.0	09.1	96.5	09.6	98.0	10.1	96.5	10.2	97.5	10.2	98.0	10.5	98.0	10.5	98.0	10.4	99.0
E10	10.2	98.0	08.5	92.0	08.3	91.0	08.6	95.0	09.2	95.5	09.7	98.0	10.0	98.0	10.1	98.0	10.3	98.0	10.5	98.0	10.5	98.0	10.3	98.0

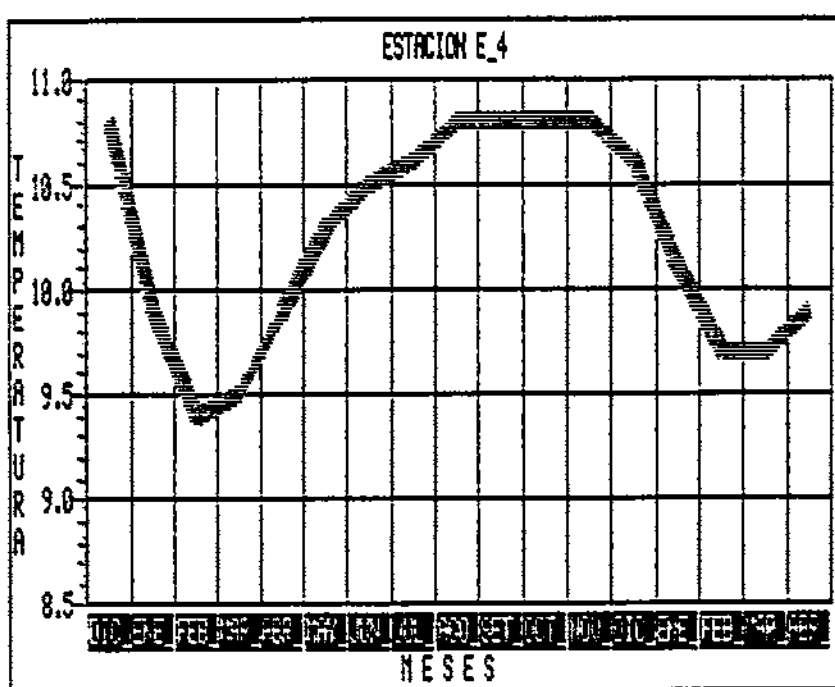
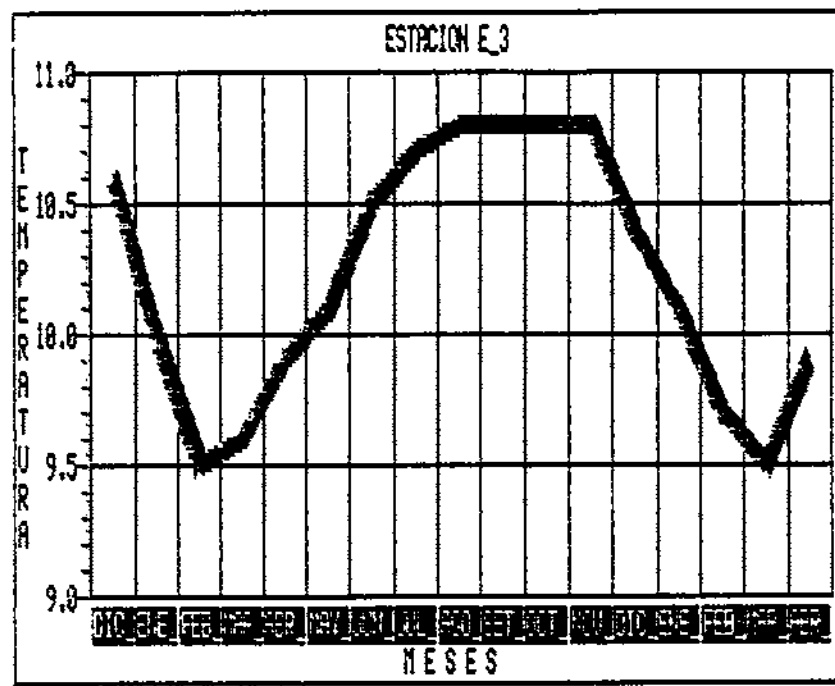
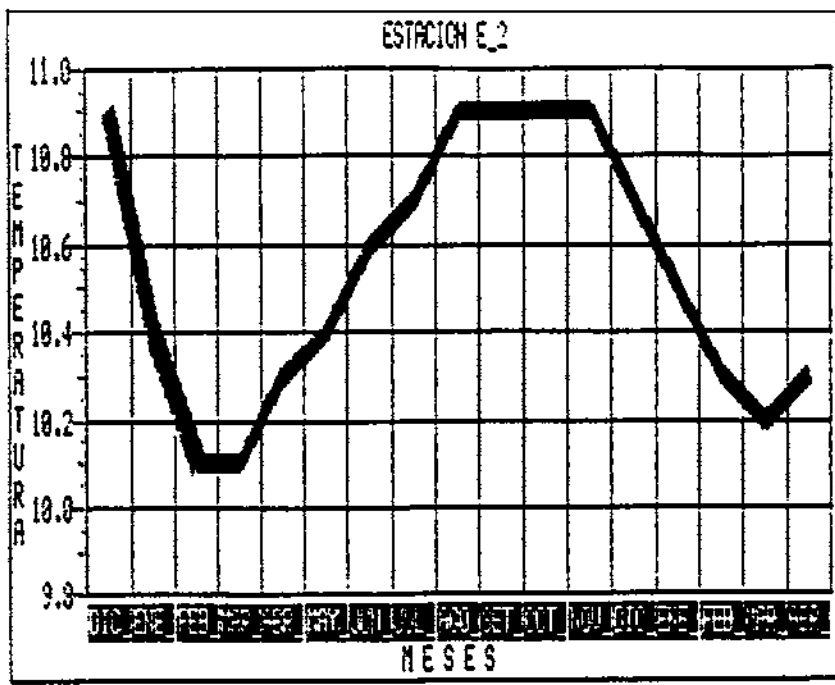
	DIC. 91		ENE. 92		FEB. 92		MAR. 92		ABR. 92	
	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR	T °C	% HR
E0	04.3	79.0	03.8	73.0	00.9	70.0	07.2	79.0	08.9	76.0
E1	11.0	97.0	10.8	95.0	10.6	92.5	10.5	92.0	10.7	94.0
E2	10.7	97.0	10.5	94.0	10.3	89.5	10.2	90.0	10.3	94.0
E3	10.4	97.5	10.1	95.0	09.7	92.5	09.5	92.0	09.9	94.5
E4	10.6	95.0	10.1	97.0	09.7	91.5	09.7	89.5	09.9	95.0
E5	10.8	95.5	10.3	95.0	09.9	92.0	09.9	91.5	10.1	95.0
E6	10.8	95.5	10.5	95.0	10.4	89.5	10.3	89.0	10.4	93.5
E7	11.0	96.5	10.8	95.5	10.3	97.0	10.3	96.0	10.5	95.0
E8	10.6	97.5	10.3	97.5	10.0	92.0	10.0	89.0	10.2	94.5
E9	09.8	96.0	09.3	96.0	08.6	95.0	08.5	94.0	09.1	95.5
E10	10.3	96.5	09.4	95.0	08.8	94.5	08.5	94.5	09.2	96.0

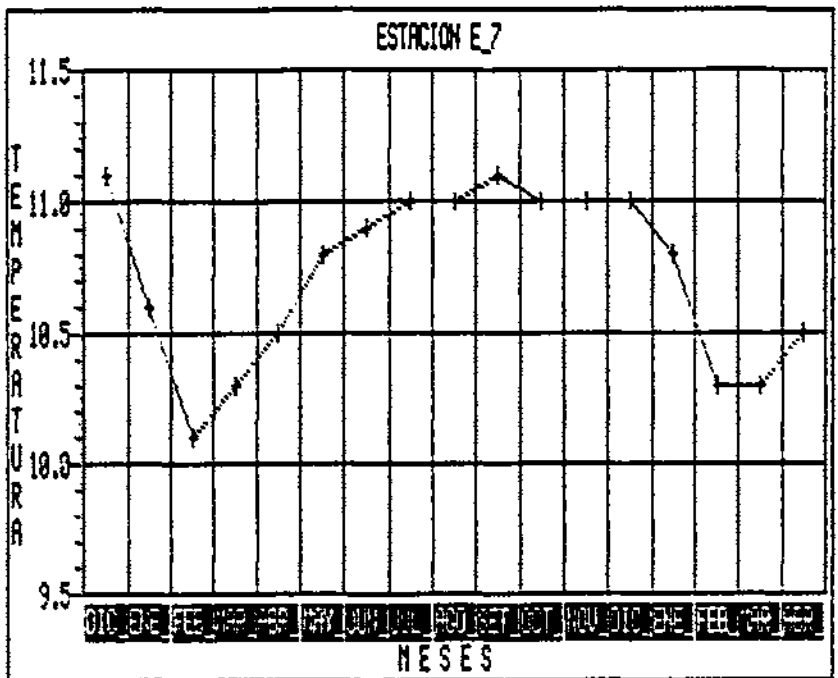
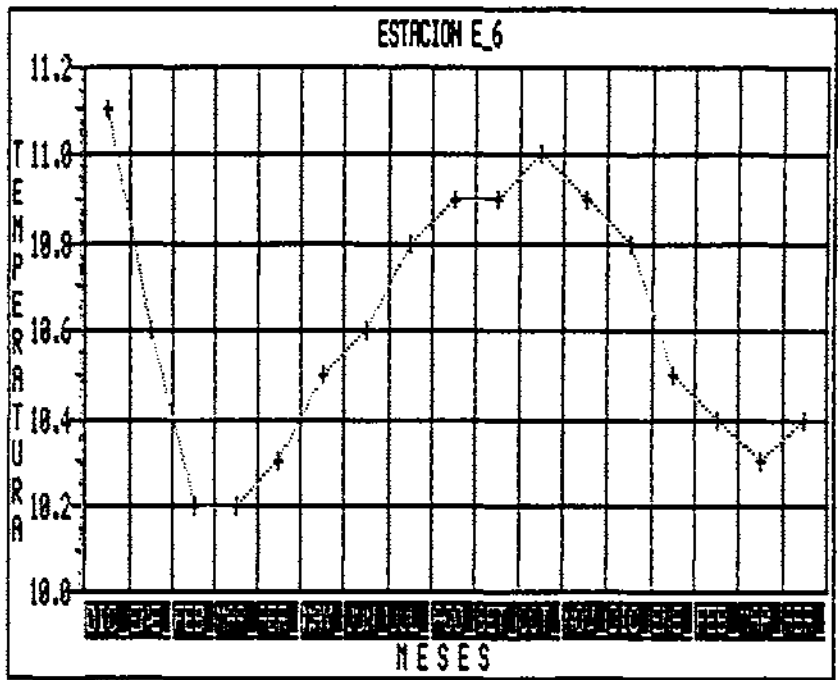
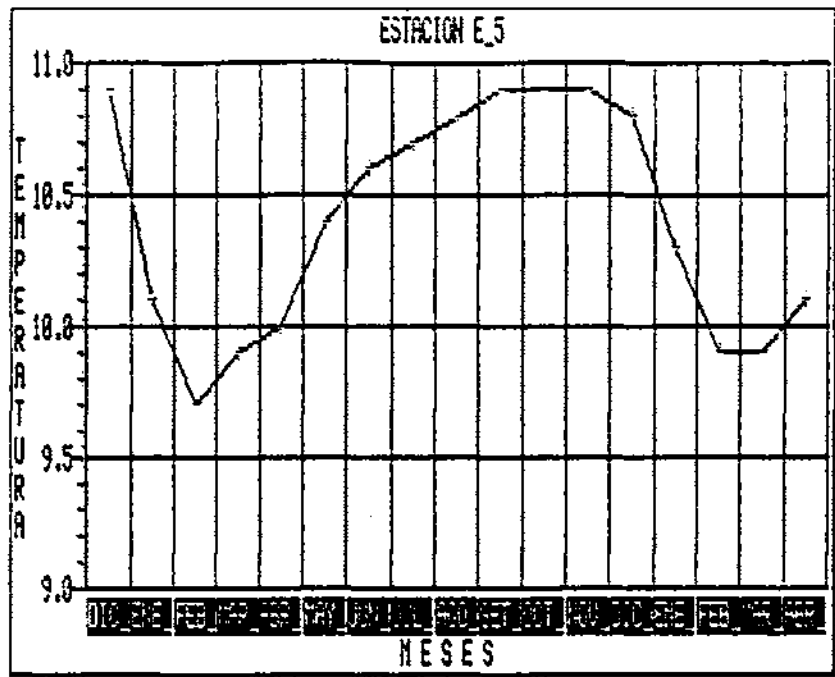
TABLA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
DE LA CUEVA DEL CARRASCAL

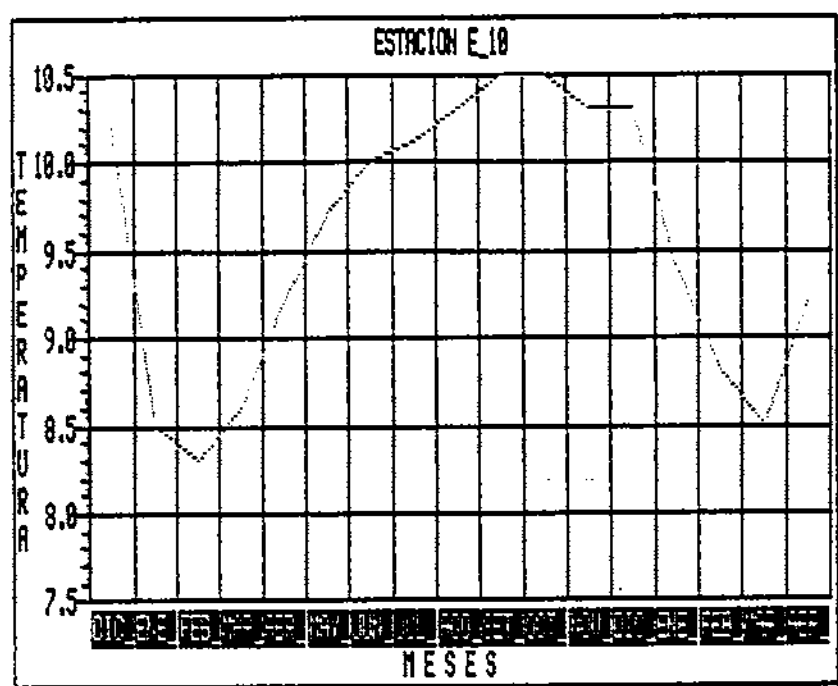
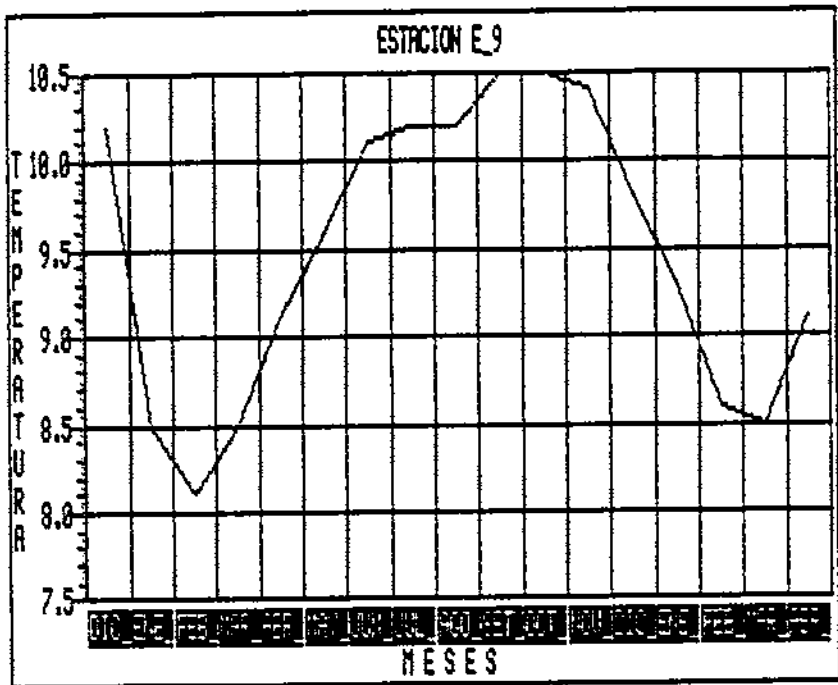
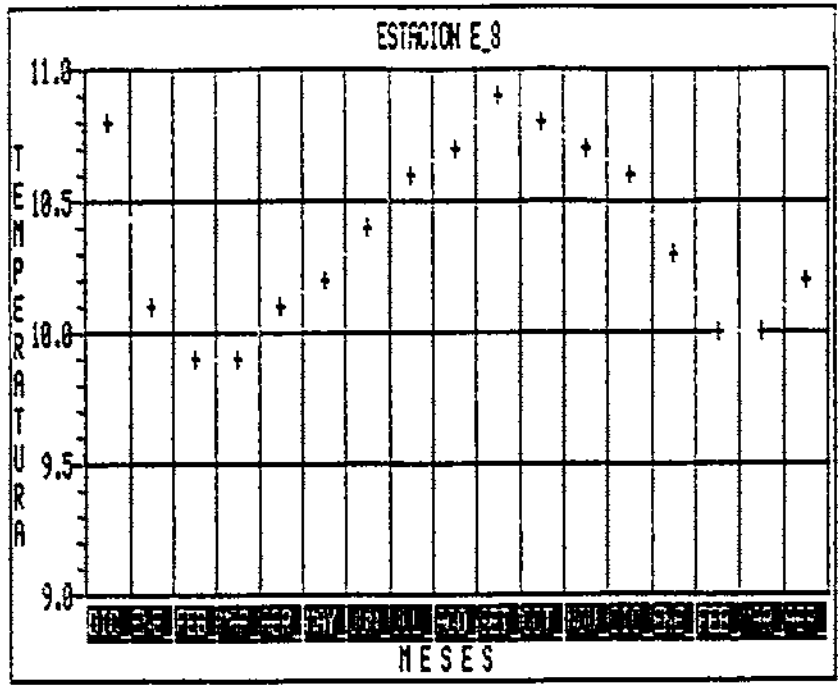
E0: Estación Exterior.
E1 a E10: Estaciones Interiores
T °C: Temperaturas en grados centígrados.
% HR: Humedad relativa en tantos por ciento.
DIC. 90 a ABR. 92: Fechas de las mediciones.

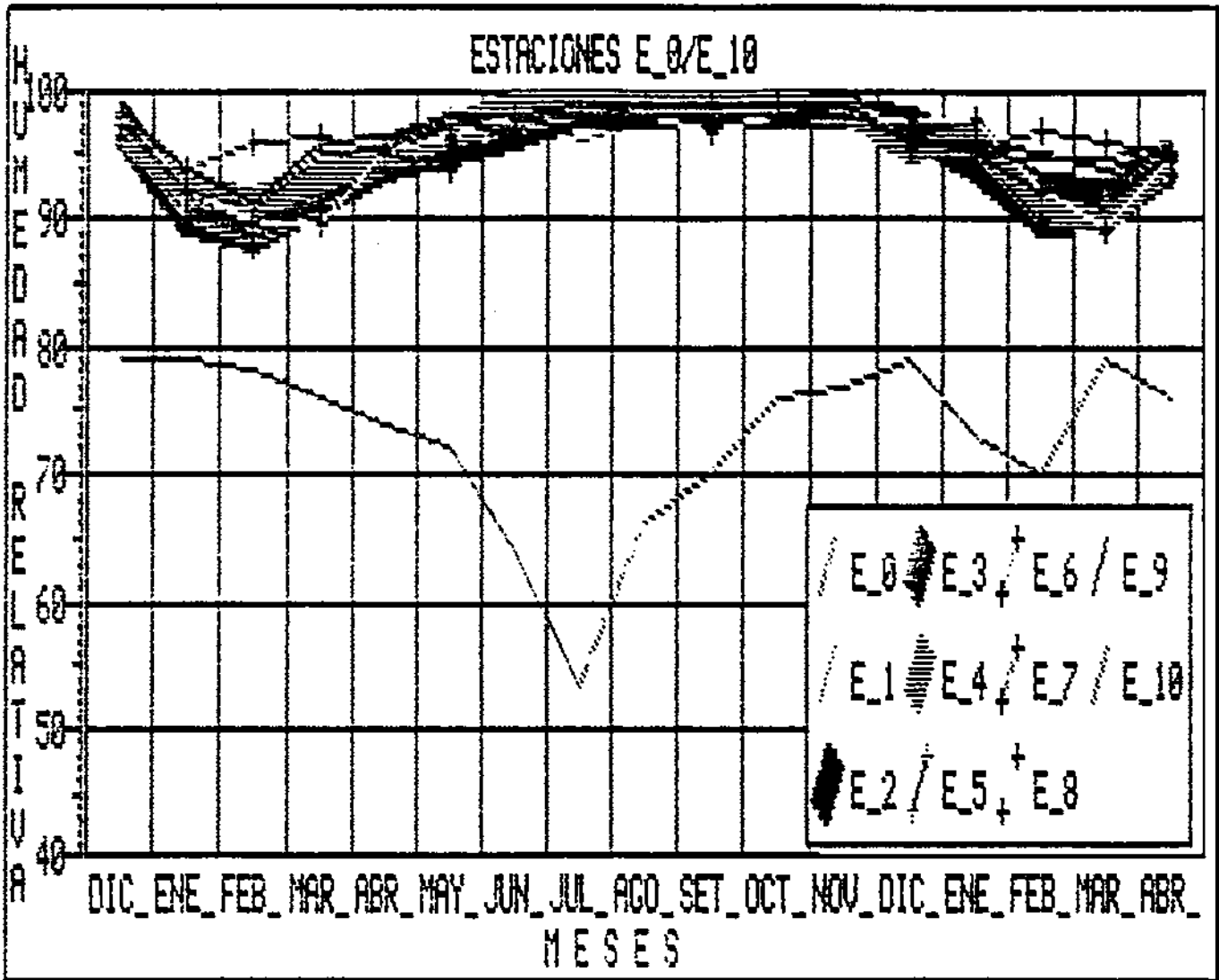


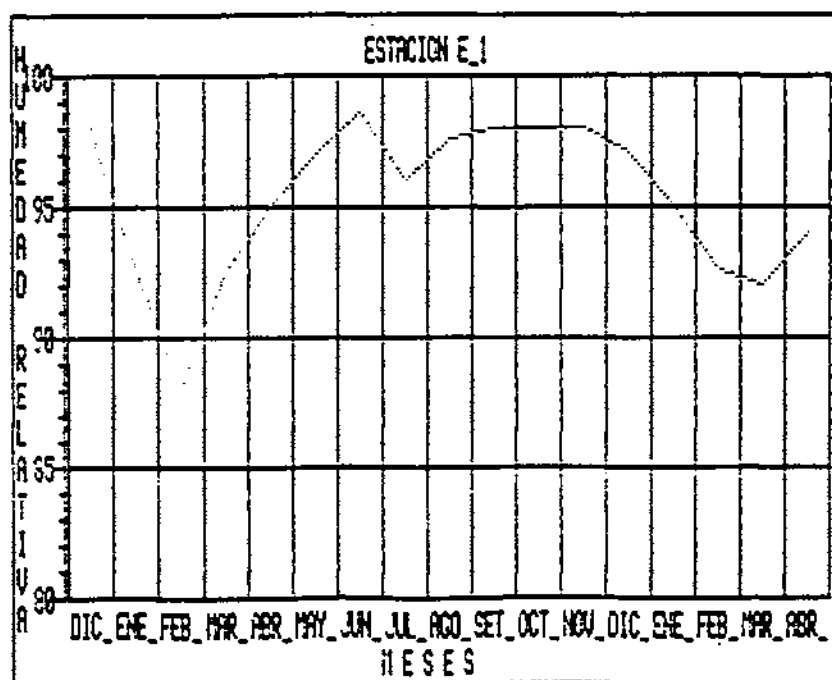
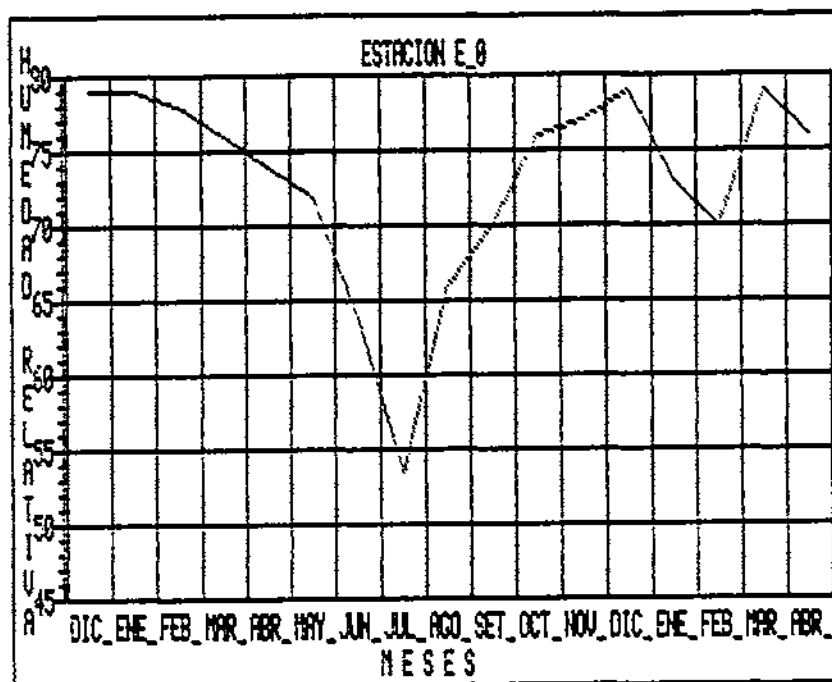
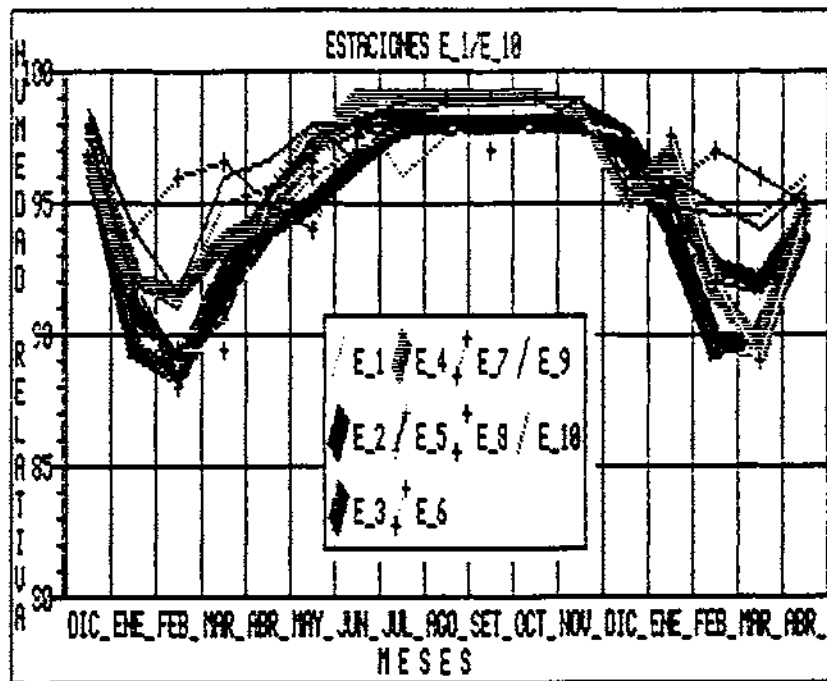


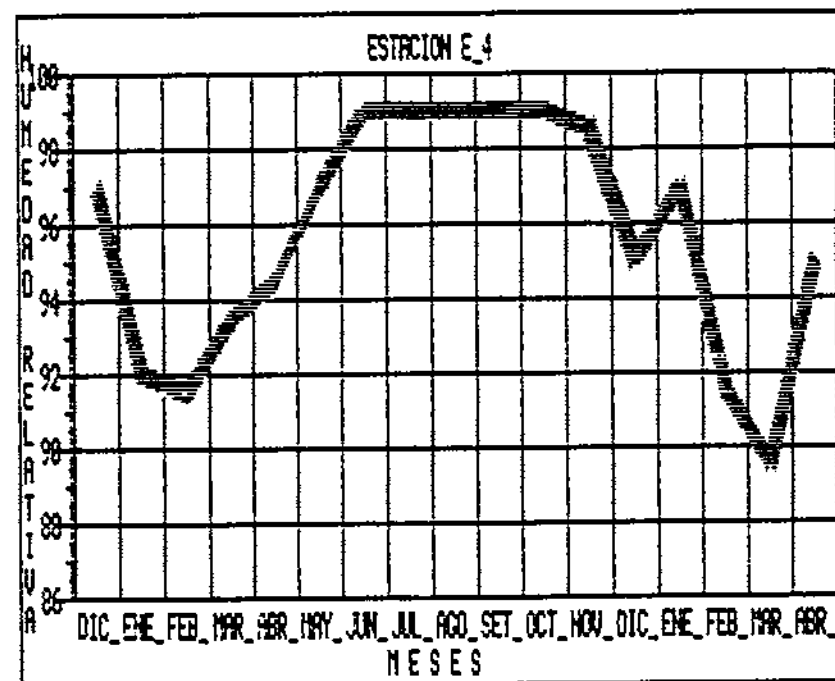
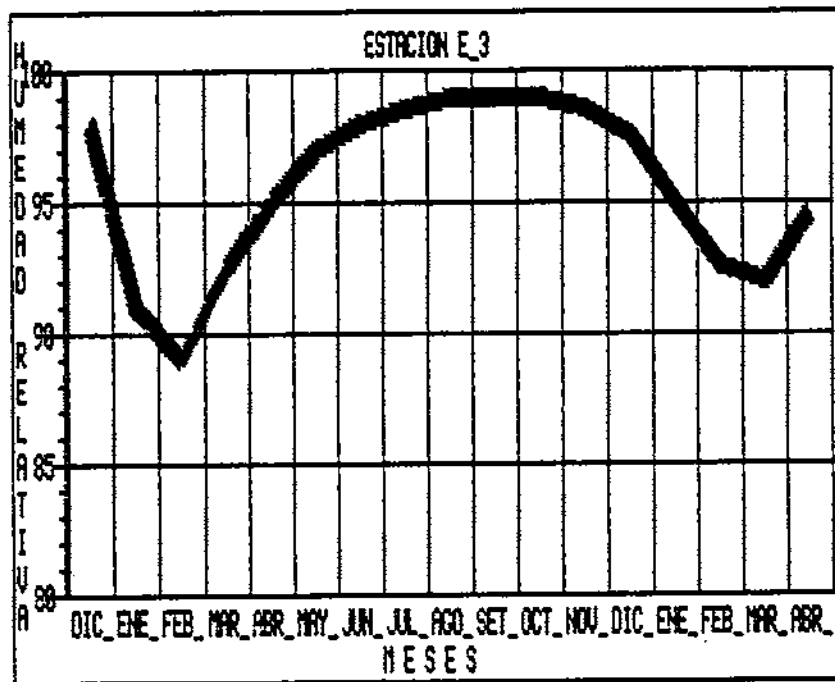
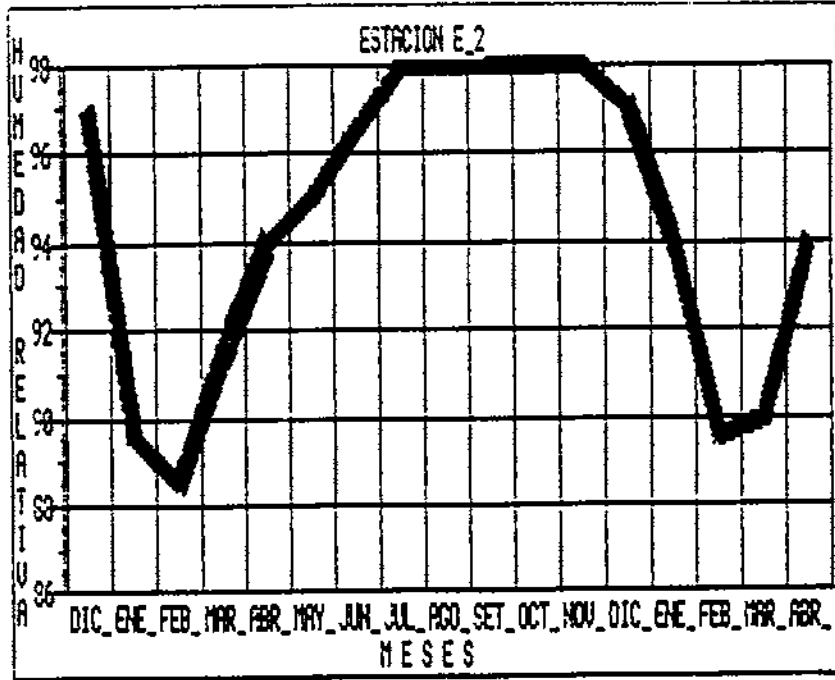


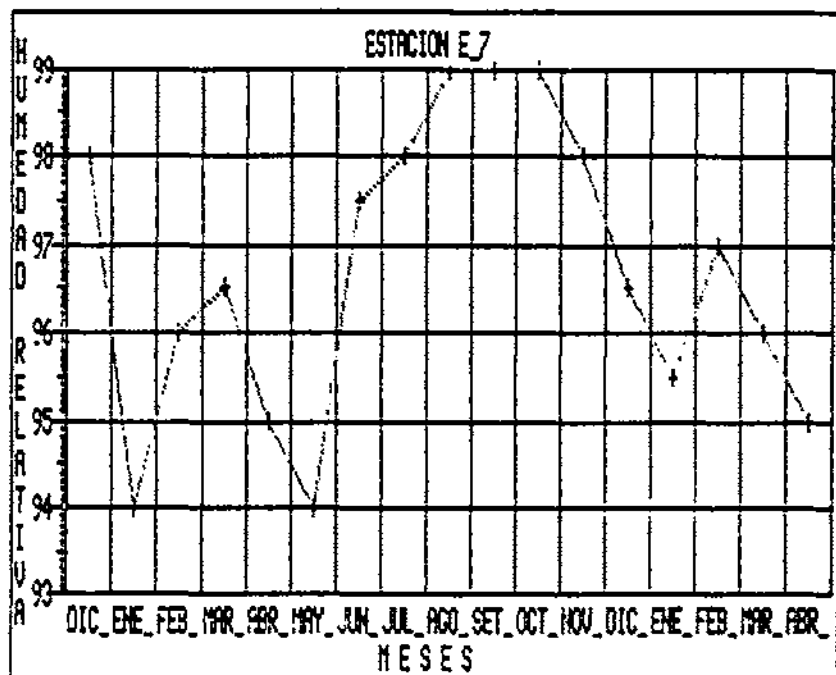
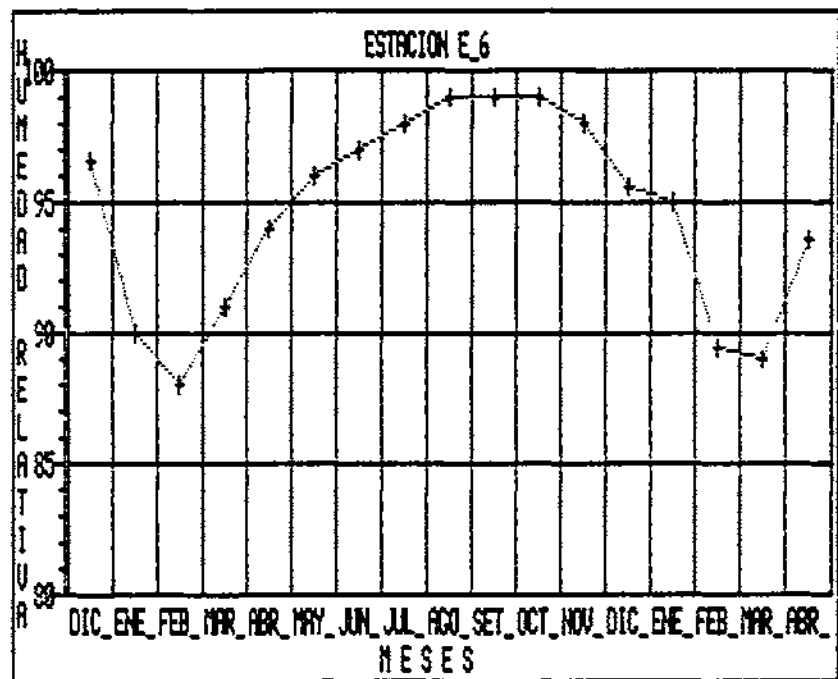
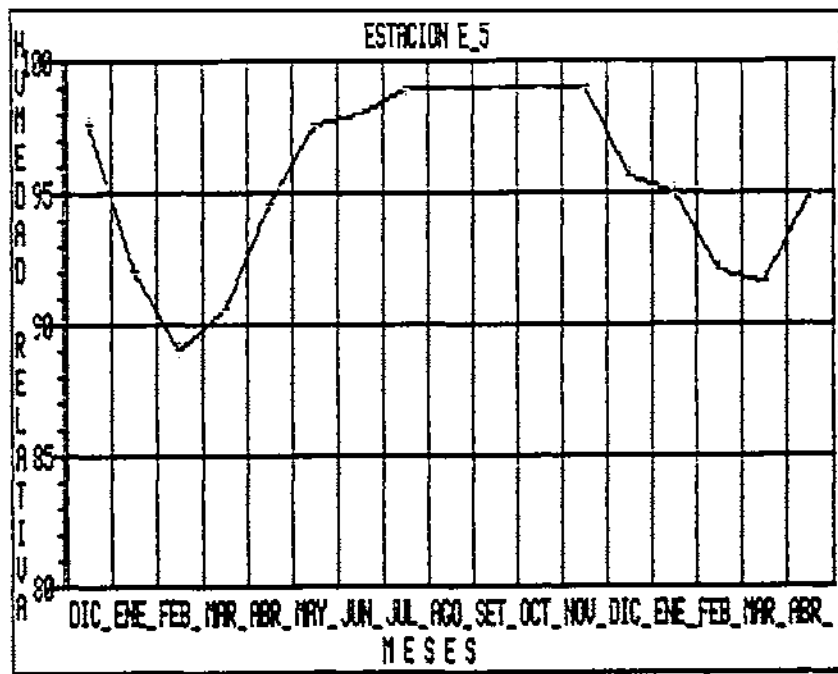


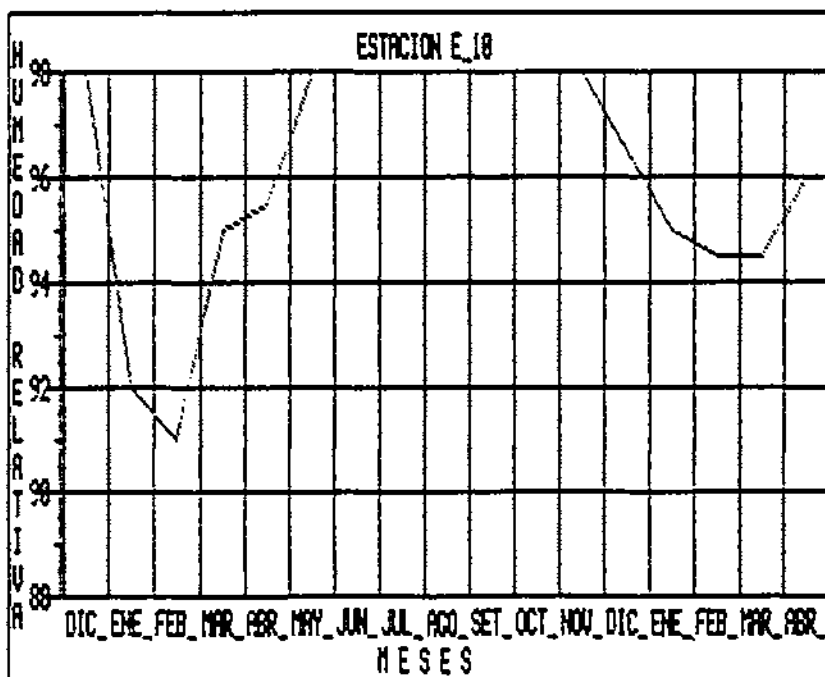
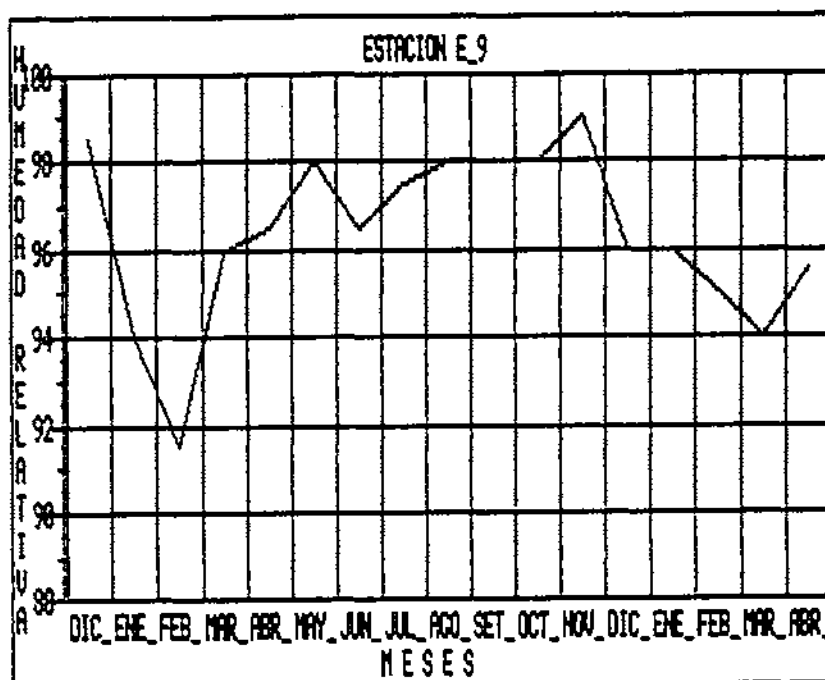
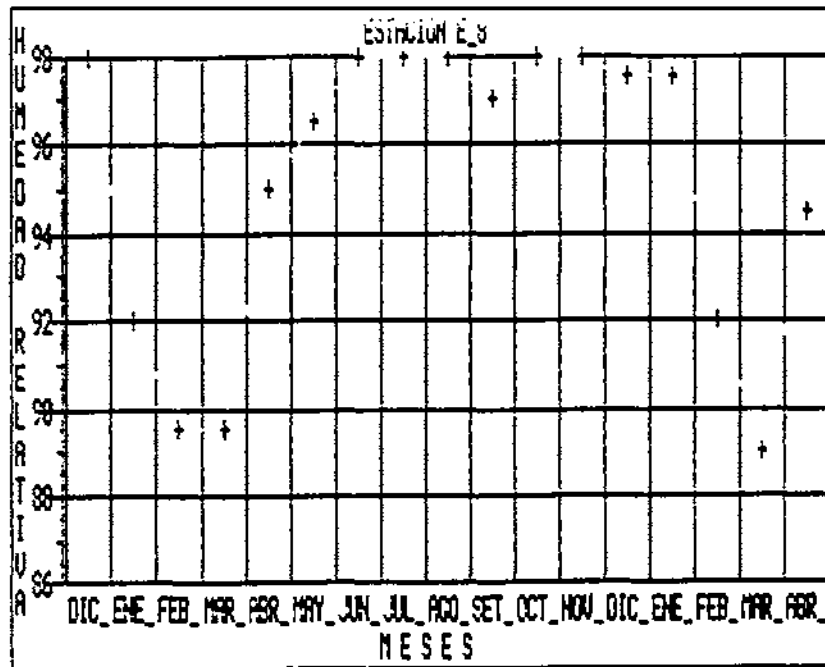












Hemos procedido al cálculo de diferentes estadísticos, tanto para la temperatura como para la humedad relativa, para cada punto de estación:

La media (que lógicamente y dada la discreción de las medidas poco tiene que ver con la temperatura y humedad relativa media).

La desviación media.

La desviación cuadrática media.

La raíz cuadrada de la desviación cuadrática media.

La varianza.

La desviación típica.

La máxima.

La mínima.

El rango.

Todos estos estadísticos, relativos a la temperatura y humedad relativa, se ofrecen tabulados en la página siguiente.

ESTADÍSTICOS DE LA CUEVA DEL CARRASCAL (TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA)

ESTACIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN MEDIA	DESVIACIÓN CUADRÁTICA MEDIA	RAIZ CUADRADA DE LA DESVIAC. CUADRÁT. MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÁXIMA	MÍNIMA	RANGO
E0	9.48	6.21	48.81	6.99	51.86	7.20	21.1	0.7	20.4
E1	10.91	0.29	0.11	0.33	0.12	0.34	11.5	10.4	1.1
E2	10.54	0.26	0.08	0.29	0.09	0.30	10.9	10.1	0.8
E3	10.22	0.43	0.22	0.47	0.24	0.49	10.8	9.5	1.3
E4	10.24	0.45	0.24	0.49	0.26	0.51	10.8	9.4	1.4
E5	10.40	0.39	0.18	0.42	0.19	0.44	10.9	9.7	1.2
E6	10.61	0.25	0.08	0.28	0.08	0.29	11.1	10.2	0.9
E7	10.72	0.29	0.10	0.32	0.11	0.33	11.1	10.1	1.0
E8	10.36	0.30	0.11	0.33	0.12	0.34	10.9	9.9	1.0
E9	9.48	0.72	0.64	0.80	0.68	0.82	10.5	8.1	2.4
E10	9.55	0.69	0.59	0.77	0.62	0.79	10.5	8.3	2.2

H U M E D A D R E L A T I V A									
E0	73.03	6.63	78.07	8.84	82.95	9.11	79.0	53.5	25.5
E1	95.26	5.00	63.91	7.99	67.90	8.24	98.5	88.0	10.5
E2	94.50	5.20	63.79	7.99	67.78	8.23	98.0	88.5	9.5
E3	95.65	5.24	64.83	8.05	68.88	8.30	99.0	89.0	10.0
E4	95.71	5.01	61.18	7.82	65.00	8.06	99.0	89.5	9.5
E5	95.47	5.31	64.12	8.01	68.13	8.25	99.0	89.0	10.0
E6	94.59	5.27	61.38	7.83	65.21	8.08	99.0	88.0	11.0
E7	96.71	4.43	63.54	7.97	67.51	8.22	99.0	94.0	5.0
E8	95.18	5.22	67.89	8.24	72.14	8.49	98.0	89.0	9.0
E9	96.35	5.83	94.24	9.71	100.13	10.01	99.0	91.5	7.5
E10	96.12	6.26	98.98	9.95	105.16	10.25	98.0	91.0	7.0

$$\text{Media} = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\text{Desviación media} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|$$

$$\text{Varianza} = s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Desviación típica = s

Rango = Máxima - Mínima

De los resultados obtenidos podemos colegir que la Cueva del Carrascal resulta relativamente cálida y con una temperatura estable frente a las variaciones del exterior (lo que es normal en la mayor parte de las cavidades subterráneas). Dado el muestreo discreto (tan espaciado temporalmente) no se observa una pauta clara entre las variaciones de humedad y temperatura del exterior de la cueva y las correspondientes al interior de la misma: a un incremento de cualquiera de tales parámetros en el exterior, no se corresponde otro, en el mismo sentido, en el interior de la espelunca. Tampoco se han observado corrientes de aire dentro de la cavidad.

Respecto a la temperatura de la cueva, la menor variación se produce en la Estación 2, con 0,8 C; le siguen en orden ascendente las estaciones: 6, 7 y 8, 1, 5, 3, 4, 10, 9 y, por último, 0. No obstante las zonas más estables térmicamente se corresponden con la Estación 6 (varianza = 0,08; desviación típica = 0,29), siguiéndole en orden descendente las estaciones: 2, 7, 8 y 1, 5, 3, 4, 10, 9 y, finalmente, 0.

Se evidencia la existencia de un embolsamiento de aire frío en el fondo de la cavidad: estaciones 9 y 10.

Si tomamos en consideración la humedad relativa la mínima variación, en valores absolutos, se produce en la Estación 7 (rango = 7 %); le siguen, en orden ascendente, las estaciones: 10, 9, 8, 2 y 4, 3 y 5, 1, 6 y, con la máxima variación, la estación exterior 0. No obstante, resulta más estable la humedad en las estaciones: 4, 6, 7, 2, 1, 5, 3, 8, 0, 9 y 10 (tomado en orden decreciente).

Desde el punto de vista teórico los valores más elevados de temperatura y humedad debieran darse en la Estación 7, por ser la más elevada y próxima al techo de la cueva (el aire caliente y el aire húmedo es menos denso que el aire frío y que el aire seco, por lo que debiera acumularse en las zonas altas de la espelunca). Los datos obtenidos, en parte, confirman esta hipótesis.

Las temperaturas más elevadas en el interior de la cueva se registran en la Estación 1 (la más próxima al exterior y por lo tanto más supeditada a las variaciones de la temperatura exterior); le siguen las estaciones 6 y 7. Respecto a la humedad relativa hay una perfecta concordancia entre teoría y realidad: los valores más elevados se han registrado en la Estación 7. La pequeña discrepancia puede tener su origen en la perturbación introducida por el observador al realizar las mediciones; en la precisión del instrumental utilizado; en la existencia de una corriente de aireación a nivel de la bóveda de la cueva o en una combinación de las anteriores causas.

La ventilación de la cueva se produce como consecuencia de las diferentes densidades del aire exterior e interior de la cavidad (termocirculación). En invierno el aire exterior, más denso por su temperatura inferior a la de la gruta, tiende a penetrar en la cavidad, en tanto que el aire de ésta, menos denso por su mayor temperatura, tiende a circular hacia el exterior. En verano los sentidos de circulación de invierten.

También se producen intercambios de masas de aire entre la cueva y el exterior con motivo de descensos bruscos de la presión atmosférica (barorrespiración). Cuando un frente nuboso se presenta en las inmediaciones de la cueva, se produce un brusco descenso de la presión atmosférica del aire exterior a la cavidad (varios milímetros de mercurio) y, como consecuencia de ello, el aire del interior de la gruta tiende a salir hacia el exterior, al tener mayor presión atmosférica, hasta conseguir el equilibrio correspondiente.

7. LUGARES DE INTERES

7.1 OTRAS CAVIDADES

Además de la cueva del Carrascal, próxima a la misma, se encuentra situada la cueva de la Canterera, cuyas aguas vierten al río Duerna. Su boca, de reducidas dimensiones, se abre en medio del cantil de una antigua cantera, y profundiza hasta el nivel freático mediante un conducto subvertical de reducida sección. En los alrededores de esta cavidad está enclavada la toma de agua potable del pueblo de Santa Olaja.

Otra cavidad, igualmente conocida, se encuentra en el valle de Nuestra Señora. Se trata de un enorme portalón, donde se refugia el gando, pero sin más desarrollo.

Pero quizás, la cueva de mayor desarrollo en la zona sea El Covachón, situada en el término de Prado de la Guzpeña. Esta espelunca consta de diferentes niveles, con galerías de amplitud variable, pero que en ningún caso superan los tres metros.

El Covachón: La boca de entrada, de forma rectangular y no excesivamente grande, nos conduce a una rampla descendente, bastante pedregosa que, tras unos metros, nos deposita en una sala de reducidas dimensiones. En esta sala podemos observar, a nuestra izquierda, una gatera que se abre en una colada, flanqueada por unas columnas. Traspasada esta puerta, normalmente vigilada por un murciélago, nos encontramos con una galería descendente, bastante terrosa, en cuya parte baja se encuentra un agujero que nos va a conducir a los niveles inferiores de la cueva. A partir de este punto va a ser precisa la utilización de la cuerda; dos spits en la cabecera del pozo, a los que nos anclamos, nos permiten continuar la exploración.

Traspasado el agujero, descendemos por una rampla muy pendiente, prácticamente un pozo, que nos conduce al primer nivel de la cueva. En este punto tenemos dos opciones:

La primera, consiste en abandonar la cuerda y visitar una hermosa galería que se extiende a ambos lados de donde nos encontramos. Por el lado derecho pronto llegamos a una estrecha gatera que cierra nuestras posibilidades de progresión; por el lado izquierdo encontramos un pequeño destrepe, luego una subida que nos conduce a unas formaciones de indudable belleza, que nos cierran toda posibilidad de continuación.

La segunda opción consiste en acceder a un nivel inferior a través de un pozo que se abre en la misma vertical por la que veníamos bajando. Este nuevo pozo desemboca en una sala de reducidas dimensiones, con una "simpática" piedra colocada en el estratégico y preciso punto para hacer "gracia" al que baje despistado. De esta sala sólo puede salirse a través de un pozo ramposo y gateroso, que conduce al siguiente nivel de la cavidad.

A partir de aquí, varias son las posibilidades de continuación:

En primer lugar un pozo, que tiene una pequeña parte en volado, de fondo terroso, que cierra toda posible continuación.

La segunda posibilidad, es a través de un ramal que encontramos a nuestra espalda, una vez traspasado el pozo gateroso, y que consta de una galería de no demasiada longitud, en cuyo trayecto encontramos un nuevo pozo, igualmente ciego.

La tercera posibilidad, que es la que proporciona mayor desarrollo a la cueva y en la que se encuentran las formaciones más bellas, nos conduce a una galería principal, de la que parten varias ramificaciones laterales. Lo primero que nos encontramos, entre éstas, es un pozo de fondo terroso y sin demasiadas cosas que destacar. Continuando por la galería principal, a poco de pasar este pozo, encontramos una galería ascendente, bastante resbaladiza, que termina con nuestra progresión.

Prosiguiendo por la galería principal, tras hacer alguna que otra trepada, encontramos una preciosa colada tapizada de formaciones coralinas, "pajoditas", que parece cerrar nuestro paso pero que, sin embargo, nos va a permitir continuara a través de una ventana superior, que alcanzamos tras una pequeña escalada. Traspasada la colada, accedemos nuevamente a la galería principal, en la que encontramos varios rincones de grn belleza.

La galería sigue desarrollándose en forma de "L", encontrándonos al final de la misma con una hermosa colada, con un par de "gours" en su base, y que le dan aspecto de cuento de hadas. Esta colada puede salvarse por el lado derecho, accediendo a un pozo de paredes tapizadas de coladas parietales, que nos deposita en el nivel inferior de la cueva; muy atlético, con gran cantidad de gateras, destreps y escaladas, que, finalmente, termina cerrándose.

7.2 LUGARES DE INTERES CULTURAL

Es evidente el interés paisajístico de la comarca de Cistierna, al que se añade la abundancia piscícola de sus ríos y el contenido cinegético de sus montes. No vamos, pues a incidir más en ello. En mor de brevedad sólomente esbozaremos unos rasgos acerca de la riqueza cultural de la zona; esencialmente arquitectónica.

En el mismo pueblo de Santa Olaja de la Varga existe la iglesia cuya fábrica se asienta sobre otra anterior románica. La capilla mayor es del siglo XV, con imágenes del siglo XIV: La Virgen de la Peña, La Virgen y San Juan, del grupo del Calvario, y la Virgen del Rosario. Las pinturas del retablo plateresco, martirio de Santa Eulalia y Anunciación de María, están atribuidas a la escuela de Berruguete. En la parroquia se conserva una piedra visigótica de la antigua ermita de Nuestra Señora y un sarcófago medieval.

Las iglesias de Boca de Huérgano (parroquial), de Santa María de Los Espejos de la Reina y de San Vicente de Barniedo de la Reina, con sus bóvedas de crucería con tercelates y combados son el muestrario gótico de la montaña leonesa; la de Besande es románica. La iglesia del extinto Pedrosa del Rey es del siglo XVI.

En el apartado Lois son renombrados sus edificios antiguos de "Indianos" y "Acevedos"; resulta interesante, igualmente, su iglesia.

En Renedo de Valdetuéjar encontramos su antigua iglesia románica que, al igual que las restantes de la ribera del Esla, a la vista de la pobreza de sus materiales y la simplicidad, o ausencia, de motivos escultóricos unido a la pervivencia de los esquemas románicos en fechas muy tardías dentro del ámbito rural, permiten suponer que fue edificada cuando el arte gótico ya estaba en su esplendor; igualmente encontramos las ruinas del palacio de los Marqueses de Prado. En las proximidades de La Mata de Monteagudo se ubica el Santuario de la Virgen de Velilla y muy cerca, también, las ruinas del Convento de San Guillermo, que no hay que confundir con la ermita homónima que se levanta próxima a Cistierna en la falda de Peñacrada. En Puente Almuhey nos encontramos con otra ermita románica.

Para finalizar indicaremos que la iglesia de Prado de la Guzpeña, aunque moderna, contiene un retablo renacentista con una talla que representa a San Bartolomé.

8. CONCLUSIONES

Vamos a limitar las conclusiones de este trabajo a tres factores:

8.1 LA CONSERVACION DEL ECOSISTEMA DE LA CUEVA

Como ya dejamos indicado, con cierta amplitud, en el capítulo sexto (meteorología) del presente estudio, cuando se producen obras de acondicionamiento de una cueva para ser visitada por el público en general, y cuando se verifica la entrada de éste, se modifican los parámetros climáticos y ecológicos de la misma, a veces drásticamente, y con resultados desastrosos.

La UNESCO desaconseja el acondicionamiento de cuevas al turismo, sin antes realizar un detallado estudio de su impacto ambiental. Por lo que respecta a la Cueva del Carrascal, los datos climáticos que de disponemos son escasos, no obstante dadas sus reducidas dimensiones (alrededor de noventa metros de recorrido con alturas máximas de bóveda de catorce metros) nos permiten sugerir que la visita del público debiera, en su caso, realizarse en grupos reducidos: no más de diez personas; no sólo en cuanto a restringir los efectos sobre el ecosistema, sino además por una mera cuestión de policía (no puede guiarse ni controlarse en grupo numeroso en tan limitado espacio).

Abundando en lo anterior, de los datos topométricos podemos deducir que el volumen de la cueva es de unos 1.700 metros cúbicos. Ello supone una reserva de aire de aproximadamente 10.500 personas/minuto (o su equivalente de poder abastecer oxígeno para diecisiete visitas de una hora de duración en grupos de diez personas, en condiciones límite, por día).

La acumulación de anhídrido carbónico en la cavidad, producido por la respiración de los visitantes, conduciría irremediablemente a un deterioro de las formaciones cristalográficas por exacerbación de los procesos de corrosión.

8.2 ACCESOS E INFRAESTRUCTURA

Problema de otra índole es el acceso hasta la boca de la cueva:

El camino, que no carretera, que discurre desde Santa Olaja de la Varga a Ocejo de la Peña se encuentra en malas condiciones, sin asfaltar, aunque practicable a todo tipo de vehículos.

Además, alcanzada "la riega" (el arroyo que desciende del Valle de Santa María) hay que superar unos doscientos metros de desnivel, en un primer trayecto a través de una pista practicable, con precaución, por vehículos todo terreno (veinte minutos a buen paso a pie). Llegados al punto donde debemos abandonar la pista nos restan aún otros seis minutos (no queda más remedio que hacerlos andando), a recorrer por una senda de trazado sinuoso, a veces entrecortado, por el hayedo y sotobosque asociado sin limpiar.

En otro orden, en las proximidades de la cueva se carece de la más mínima infraestructura de hostelería: las localidades de Santa Olaja de la Varga y Ocejó de la Peña, carecen de un bar; menos aún de restaurante.

Además es igualmente imprescindible habilitar la cavidad para la visita del público. Por un lado sería necesario instalar una escalera fija para salvar el primer pozo por el que se accede a la gruta y mejorar los escalones ya contruidos con la propia roca en la primera rampa. También debería adecentarse la rampa sobre colada estalagmítica que se encuentra en las inmediaciones del tramo de escaleras metálicas. La rampa descendente de la sala final de la cueva debe de urbanizarse convenientemente. También son necesarias obras para poder acceder a la sala donde se encuentra la "Columna Nacarada", al pie de la pequeña sima que se abre a la altura del pasamanos.

A todo ello deberemos añadir la correspondiente instalación eléctrica para iluminar la cavidad: al menos por lo que respecta a luces de seguridad.

8.3 INVERSIONES FINANCIERAS

Todo ello nos lleva a cuestionar la viabilidad del proyecto de apertura de la Cueva del Carrascal al turismo pues serían imprescindibles inversiones de capital, de cierta entidad, tanto para mejorar los accesos hasta la entrada de la cueva, como la propia infraestructura de la cavidad: fundamentalmente iluminación artificial de la que carece.

Respecto a los accesos, por un lado, el camino de Santa Olaja de la Varga a Ocejó de la Peña podría habilitarse adecuadamente dentro de los Planes Provinciales de Carreteras. (Además sería bien recibido por el vecindario). Los correspondientes a la pista y senda que conducen desde el fondo del valle hasta la cueva serían objeto específico del Proyecto de explotación de la cueva de cara al turismo.

En relación con la iluminación artificial de la cueva debemos indicar que el tendido eléctrico discurre por el fondo del valle; por lo tanto bastante alejado de la cavidad.

Una solución de emergencia podría ser la instalación de un grupo electrógeno en las proximidades de la gruta. Presenta la ventaja de un menor costo inversionista inicial, pero, a la larga, un mayor gasto de mantenimiento.

A todo ello debemos añadir los gastos corrientes de explotación, tanto materiales como humanos.

En contrapartida, dadas las reducidas dimensiones de la espelunca, los grupos de visitantes deberán ser mínimos, tanto en lo que respecta al número de sus componentes, como al tiempo de su visita. De ello se extrae la conclusión de que el precio del billete de entrada debe ser reducido y los ingresos que pudieren obtenerse, igualmente reducidos.

Consecuentemente no habría la más mínima posibilidad de amortizar la inversión y, menos aún, obtener beneficios por la explotación turística de la Cueva del Carrascal. Por todo ello es desaconsejable la apertura al público, en general, de la cueva.

León, julio de 1992

BIBLIOGRAFIA

GEOGRAFIA, ARTE Y VIAJES

- AA.VV. (1990) - "Historia del Arte en León". Ed. Diario de León, S.A. León. 296 pp.
- ALONSO GOMEZ, C. (1952) - "León. Manual del Turista". León. 466 pp.
- APARICIO, J.P. & MERINO, J.M. (1980) - "Los Caminos del Esla". Ed. Everest. León. 271 pp.
- PRADO REYERO, J. de (1980) - "Cistierna y sus comarcas". Ed. Villena. Madrid. 126 pp.
- PRADO REYERO, J. de (1989) - "Riaño ya es historia". Ed. El Autor. León. 124 pp.

GEOLOGIA REGIONAL

- BARROIS, CH. (1882) - "Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice". Mem. Soc. Géol. du Nord, 2, (1), 630 pp.
- BASTIDA, F.; MARCOS, A.; ARBOLEYA, M.L. & MENDEZ, I. (1976) - "La Unidad de Peña Corada y su relación con el Manto del Esla (Zona Cantábrica, NW de España)". Brev. Geol. Ast., 20, (4):49-55.
- BOSCHMA, D. & STAALDUINEN, C.L. VAN (1968) - "Mappable units of the Carboniferous in the Southern Cantabrian Mountains". Leidse Geol. Meded. (43):221-232.
- COMPTE, P. (1936) - "Le Dévonien Inférieur du Leon". C. R. Séances Ac. Sci. Paris. (202):771-773.
- COMPTE, P. (1959) - "Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique". Mem. Inst. Geol. Min. Esp. (60):1-440.
- EVERS, J. (1967) - "Geology of the Leonides between the Bernesga and the Porma rivers. Cantabrian Mountains, NW Spain". Leidse Geol. Meded. (41):83-151.
- GINKEL, A.C. VAN (1965) - "Carboniferous Fusulinids from the Cantabrian Mountains (Spain)". Leidse Geol. Meded. (34):1-225.
- I.G.M.E. (1982) - "Cistierna". Hoja y Memoria del Mapa Geológico de España escala 1:50.000. Madrid. 95 pp.

SITTER, L.U. DE (1962) - "The structure of the southern slope of the Cantabrian Mountains: explanation of a geological map with sections, scale 1:100.000". Leidse Geol. Meded. (26): 225-264.

SITTER, L.U. DE (1965) - "Paleobotanical dating of Upper Carboniferous folding phases in NW Spain". Mem. Inst. Geol. Min. Esp. (66):1-159.

WAGNER, R.H. & FERNANDEZ GARCIA, L. (1971) - "The Lower Carboniferous and Namurian rocks North of La Robla (León)". Trab. Geol. (4):507-531.

WAGNER, R.H.; WINKLER PRINS, C.F. & RIDING, R.E. (1971) - "Lithostratigraphic units the lower part of the Carboniferous in Northern León (Spain)". Trab. Geol. (4):603-663.

KARSTOLOGIA Y ESPELEOLOGIA

ABEL, G. (1953) - "Temperatures et formation de glace dans les Grottes de Salzburg (Autriche)". Act. I Congr. Int. Spéléol. Paris. 2:321-325.

ANDRIEUX, C. (1981) - "Sobre el papel de la climatología en las investigaciones subterráneas". Introducción al Estudio del Karst. Madrid. :93-111.

BRUNET, J.; VIDAL, P. & STEFANAGGI, M. (1980) - "Grotte de Font de Gaume aux Eyzies (Dordogne). Etude du taux de gaz carbonique de l'atmosphère. Consequences pour la conservation des figurations préhistoriques". Speleon. 25:37-45

CAUMARTIN, V. (1964) - "Spéléologie physique, biospéléologie et conservation des grottes. Application au cas particulier de Lascaux". Spelunca Bull. 4 (3):5-15.

CAUMARTIN, V. (1964 b) - "Les corrosions de Cavernes. Quelques principes de conservation des cavernes aménagées". Spelunca Bull. 4 (4):5-12.

CAUMARTIN, V. (1965) - "Conservation des grottes a peintures. Inventaire des foyers de réduction par une technique biologique". Spelunca Bull. 5 (2):9-16.

CAUMARTIN, V. (1970) - "Interpretation biologique du pouvoir corrodant des argiles". Act. 4eme. Congr. Nat. Spéléol. Suisse. Stalactite (6):38-93.

DELBROUCK, R. (1970) - "Influence climatique sur la corrosion des cavernes". Act. 4eme. Congr. Nat. Spéléol. Suisse. Stalactite (6):94-97.

- DELEGACION LEONESA DE LA F. C. Y L. ESPELEOLOGIA (1989) - "Estudio sobre posibilidad de apertura al público de la Cueva de Villavieja". León. 9 pp. (Inédito).
- DROGUE, C. & PLEGAT, R. (1971) - "Température et phénomènes biochimiques dans la dissolution du calcaire". Bull. Ass. Géogr. France. (389-390):233-239.
- ERASO, A. (1965) - "A Tentative Nomogram for Cave Climate Calculations". Problems of the Speleological Research. Czechoslovak Acad. of Scienc. Praga. I:175-185.
- ERASO, A. (1965 b) - "Sobre la intensificación de la acción corrosiva del agua en la génesis de las cavernas, en presencia de iones oxidables". Proc. 4th. Internat. Cong. Speleol. Yugoslavia, Ljubljana. 3:79-89.
- ERASO, A. (1969) - "La corrosión climática en las cavernas". Bol. Geol. Min. 80 (6):364-381).
- ERASO, A. (1972) - "El control ecológico de las cavernas mediante sencillas mediciones climáticas. Aplicaciones a la bioespeleología y a la conservación del patrimonio cultural". Act. II Congr. Nnal. Espeleol. España. Oviedo. :1-12.
- ERASO, A. (1981) - "La entalpia como escala energética de la ecología de las cavernas". Introducción al Estudio del Karst. Madrid. :155-164.
- ERASO, A. & HERRERO, N. (1986) - "Propuesta de un nuevo método de deducción de las direcciones principales de drenaje en el karst". Jumar (7):7-93.
- FERNANDEZ SERRANO, M.E. & HERRAEZ, I. (1989) - "Problemática medioambiental ligada al karst en España". El karst en España. Soc. Esp. Geomorf. Monografía 4:403-413.
- GABRIEL, R. (1881) - "Les empreintes de corrent". Exploracions. (5):9-16.
- GEZE, B. (1965) - "La Spéléologie scientifique". Ed. Seuil. Paris. 256 pp.
- GIROU, A. & ROQUES, H. (1969) - "Etude des conditions de précipitation à 30 C des différentes variétés allotropiques de CaCO3 en fonction du degré de sursaturation". C.R. Acad. Sc. Paris. 268:1244-1248.
- HOYOS GOMEZ, M. & JORDA PARDO, J.F. (1989) - "Los yacimientos arqueológicos y paleontológicos asociados a los depósitos kársticos cuaternarios en España". El Karst en España. Soc. Esp. Geomorf. Monografía 4:381-390.

- LOPEZ MARTINEZ, J. & DURAN, J.J. (1989) - "Usos y aprovechamientos de cavidades y paisajes kársticos". El Karst en España. Soc. Esp. Geomorf. Monografía 4:391-402.
- PALLARES PERSONAT, J. (1979) - "Nota sobre la influencia de la presencia humana en la climática d'una cavitat". Gours. (6):9-12
- POMAR, L.; GINES, A. & FONTARNAU, R. (1976) - "Las cristalizaciones freáticas". Endins. (3):3-25.
- POMAR, L.; GINES, A. & GINES, J. (1979) - "Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiacuáticos". Endins. (5-6):3-17.
- RENAULT, Ph. (1971) - "La teneur en anhydride carbonique des atmosphères de grottes". Bull. Ass. Geogr. Franc. (389-390):241-245.
- ROQUES, H. (1961) - "Eléments pour une cinétique des phénomènes karstochimiques". Ann. Spéléol. 16 (4):329-339.
- ROQUES, H. (1962) - "Considérations théoriques sur la chimie des carbonates. (1ere. memoire)". Ann. Spéléol. 17 (1):11-41.
- ROQUES, H. (1962 b) - "Considérations théoriques sur la chimie des carbonates. (2eme. memoire)". Ann. Spéléol. 17 (2):241-284.
- ROQUES, H. (1962 c) - "Considérations théoriques sur la chimie des carbonates. (3eme. memoire)". Ann. Spéléol. 17 (3):463-467).
- ROQUES, H. (1963) - "Sur la répartition du CO2 dans les karst. (2eme. memoire)". Ann. Spéléol. 18 (2):141-184.
- ROQUES, H. (1963 b) - "Observations physico-chimiques sur les eaux d'alimentation de quelques concrétions". Ann. Spéléol. 18 (4):377-404).
- ROQUES, H. (1964) - "Contribution a l'étude statique et cinétique des systèmes gaz carbonique-eau-carbonate". Ann. Spéléol. 19 (2):255-434.
- ROQUES, H. (1965) - "Sur la genèse des formations aragonitiques naturelles". Ann. Spéléol. 20 (1):47-54.
- ROQUES, H. (1968) - "Chimie des carbonates et hydrogéologie karstique". Mem. et Doc. Phénomènes karstiques. 4:113-141.
- ROQUES, H. (1969) - "Problèmes de transferts de masse posés par l'évolution des eaux souterraines". Ann. Spéléol. 24 (3):455-494.

- ROQUES, H. (1969 b) - "A Review of Present-day Problems in the physical Chemistry of Carbonates in solution". Trans. Cave Research Group G.B. 2 (3):139-163).
- STCHOUZKOY-MUXART, T. (1971) - "Contribution à l'étude de la solubilité de la calcite dans l'eau en présence d'anhydride carbonique à 20 C et 30 C". Bull. Ass. Géogr. Franç. (389-390):215-233.
- TROMBE, F. (1947) - "Météorologie et hidrologie souterraine. Application aux massifs d'Arbas et Paloumère". Ann. Spéleol. 2 (2-3):1-25.
- TROMBE, F. (1952) - "Traité de Spéléologie". Ed. Payot. Paris. 376 pp.







