

ZUBÍA	16	199-233	Logroño	1998
-------	----	---------	---------	------

**ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN
DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS
DE DINOSAURIO DE LA RIOJA.
“LA VIRGEN DEL CAMPO” (ENCISO)
Y “LA ERA DEL PELADILLO” (IGEA)***

Caro, S.
Pavía, S.*****

RESUMEN

En este trabajo se investiga la técnica de conservación de los yacimientos de huellas de dinosaurios de La Rioja. Para conservar hay que conocer como es la piedra, cuales son sus puntos débiles, como le afecta el entorno que la rodea y cuales son los agentes y mecanismos que la destruyen. Los métodos y productos que se empleen en su restauración estarán en función del mal diagnosticado y del resultado de los ensayos efectuados para averiguar la resistencia de la roca ante los agentes destructores, una vez tratada con productos de prueba.

Palabras clave: Piedra, alteración, conservación, yacimientos de huellas de dinosaurio, La Rioja.

This paper investigates the technique for the conservation of the dinosaur footprints' sites in La Rioja. To this aim, the type of stone and its weaknesses, as well as the effect of the environment and the agents and processes of decay need to be studied.

The methods and products used for the stone restoration are determined by both the diagnosis of the decay and the results of testing conservation treatments. Tests were carried out to assess the resistance of the treated stone to decay.

Key words: Stone, weathearing, conservation, dinosaur footprint sites, La Rioja

* Conferencia impartida en Enciso en agosto de 1997

** Geóloga. Investigadora Agregada del Instituto de Estudios Riojanos. Muro de la Mata, 8. 26071 LOGROÑO.

*** Geóloga. Investigadora. Dublin Institute of Technology. Bolton Street. Dublin 1.

1.- OBJETIVOS, MÉTODO Y MATERIALES

1.1-Objetivos

El objetivo del trabajo fue conocer: el tipo, composición y propiedades de la roca que forma los estratos donde se encuentran las huellas; así como determinar los agentes y mecanismos que generan su destrucción. Establecidos en La Virgen del Campo y La Era del Peladillo estos parámetros, se evaluó la durabilidad de la piedra y su comportamiento futuro una vez aplicados ciertos tratamientos de reparación, consolidación y protección.

Se seleccionaron los yacimientos de “La Virgen del Campo” en Enciso y el de “La Era del Peladillo” en Igea, atendiendo a los siguientes criterios:

- Interés científico de los afloramientos.
- Avanzado estado de deterioro.
- Representatividad de dos tipos de material pétreo: arenisca (cuarcita) y caliza.

Las variedades de piedra seleccionadas, por sus características mineralógico-texturales, pueden considerarse como rocas tipo, en las que estarían incluidas gran parte de las icnitas de La Rioja.

1.2- Método

El análisis macroscópico de las muestras se hizo por inspección visual y con estereomicroscopio. Con este estudio se describieron las propiedades más obvias y detectables en un primer análisis: tipo de piedra; componentes; textura y estado en que se encontraba.

Con el microscopio de polarización se analizó la petrografía de la roca: minerales que la forman y modo en que se disponen. Se observaron microporos, microfisuras y, en general, la microestructura de la piedra. Los minerales que componen la piedra se cuantificaron con la técnica de difracción de rayos-X.

Para obtener más información sobre las características de la piedra, se determinaron la porosidad con el método de la balanza hidrostática y su comportamiento hídrico (absorción y desorción libre de agua, NORMA RILEM (1980)). El estudio del espacio poroso se completó utilizando la técnica de porosimetría de mercurio. Con esta técnica se calculó la distribución porométrica: rango de tamaño de los poros, tamaño de poro dominante y porcentaje de macroporos y microporos.

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

Paralelamente se realizó la inspección de los yacimientos identificando las formas macroscópicas de alteración o desperfectos de la piedra.

Para valorar la calidad y alterabilidad futura de la roca, se realizaron en el laboratorio ensayos de envejecimiento artificial acelerado en:

- Muestras reparadas.
- Probetas reparadas e hidrofugadas.
- Probetas reparadas, consolidadas e hidrofugadas.

Se ensayaron trozos de piedra irregulares que previamente hubo que repararlos, ya que las probetas bien estaban rotas en uno o varios trozos, bien tenían alguna lámina totalmente despegada del sustrato o bien se encontraban fisuradas. La empresa C.P.A. s.l. (Conservación del Patrimonio Artístico) reparó la piedra pegando fragmentos sueltos, que en algunos casos además hubo que coserlos, y rellenando y sellando fisuras.

Interesaba conocer por una parte, la durabilidad de la piedra reparada y con sus fisuras cegadas, ya que está comprobado que los productos de tratamiento (consolidantes e hidrofugantes) no son eficaces si previamente no evitamos que entre y circule el agua por la roca, Caro et al (1997). Por otra parte, la resistencia de la misma roca reparada pero además consolidada y protegida.

Los productos ensayados fueron:

- Como consolidantes: TEGOVAKON V (silicato de etilo); SINOCRIL al 6% (resina acrílica) y WACKER OH (silicato de etilo).
- Como hidrofugante, TEGOSIVIN HL100 al 10% (silicona).
- Como productos de reparación:
 - Para pegar fragmentos, resina epoxídica FETADIT 55/63 2C.
 - Para rellenar grietas, resina epoxídica FETADIT IN 2C.
 - Para sellar juntas y fisuras, mortero vinílico (sflice, marmolina y resina vinílica mowilith 50).
 - Para coser la piedra, varillas de fibra de vidrio.

Así se valoró la durabilidad de la piedra reparada y su durabilidad una vez tratada con dichos productos comerciales.

Los ensayos de envejecimiento artificial acelerado fueron de tres tipos: Termohídrico, que consiste en la repetición sucesiva de ciclos de humedad-sequedad; de heladicidad, o repetición sucesiva de ciclos de hielo-deshielo y de exposición a la luz ultravioleta. Siguiendo la NORMA RILEM (1980) se sometió a las muestras a 30 ciclos de humedad-sequedad y 30 ciclos de hielo-deshielo. Al finalizar los ensayos, se comparó el estado en que se encontraban las muestras para valorar la durabilidad de la piedra y el comportamiento de los tratamientos. Los ensayos termohídrico y de heladicidad se hicieron en el laboratorio del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de La Rioja (ENSATEC). El ensayo de exposición a la luz ultravioleta en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo.

Las placas y fragmentos sueltos se limpiaron primero con el disolvente White Spirit y a continuación se pegaron con resina epoxídica. Algunas muestra, debido al peso de los fragmentos, precisaron, además del pegado, del cosido de los mismos. Para estos casos se utilizaron varillas de fibra de vidrio. Los orificios donde se insertaron las varillas se rellenaron y colmataron con resina epoxídica.

Las grietas se rellenaron con resina epoxídica utilizando jeringuillas. A continuación se sellaron con mortero vinílico. Las fisuras muy estrechas solo se sellaron con mortero vinílico.

Los productos consolidantes e hidrofugantes se aplicaron con pincel, por goteo, hasta saturación de las muestras, realizando tantas pasadas como producto admitió la roca. De esta forma se impregnaron las superficies expuestas de las probetas. Previamente se limpiaron cuidadosamente las superficies con el disolvente White Spirit. Aplicado el consolidante se dejaron transcurrir 20 días antes de la impregnación con el hidrofugante. Aplicado el hidrofugante y pasados otros 20 días, se pintó con tinta indeleble la superficie de las probetas. Se desecaron las muestras de piedra, sin tratar y tratadas, en la estufa y se las sometió a los ensayos.

Para calcular la pérdida de peso, una vez finalizados los ciclos, se desecaron las probetas hasta peso constante.

1.3- Materiales

Se caracterizaron los siguientes materiales:

- En “La Era del Peladillo” piedra caliza.
- En “La Virgen del Campo” piedra arenisca. En este yacimiento se determinó además el comportamiento hídrico (porosidad y absorción-desorción libre de agua) de una variedad de roca más calcárea.

Las probetas ensayadas fueron trozos irregulares de caliza y arenisca, con las mismas alteraciones que la piedra de los yacimientos.

2.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Yacimiento de “La Virgen del Campo”

El yacimiento de “La virgen del Campo” está en el término municipal de Enciso (La Rioja Baja). Enciso se encuentra al sureste de la Comunidad Autónoma de La Rioja, lindando con la de Soria. El río Cidacos, que nace en la provincia de Soria, atraviesa el pueblo de sur a norte.

El yacimiento está situado a 2 kilómetros al sur del pueblo de Enciso. Se accede a él cruzando el puente sobre el río Cidacos y a través del camino de Enciso a Garranzo.

Las coordenadas y altitud del yacimiento son:

WM603661
X=560300
Y=4666100
Z=825 a 845

La zona objeto de estudio está localizada en la hoja de ENCISO nº 280 (23-12) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

Yacimiento de “La Era del Peladillo”

El yacimiento de “La Era del Peladillo” pertenece al término municipal de Igea en La Rioja Baja. Igea está situada en el extremo sureste de la Comunidad Autónoma de La Rioja. Su término municipal limita al norte con Grávalos, al sureste con Cervera del Río Alhama y al suroeste con Cornago. Igea está circundada por el río Linares.

El yacimiento está aproximadamente a 2 kilómetros al noroeste del pueblo de Igea. Se accede a él a través del camino del Peladillo.

Las coordenadas y altitud de “La Era del Peladillo” son:

WM792596
X=579240
Y=4659685
Z=605 a 708 metros.

Igea está en la hoja de CERVERA DEL RÍO ALHAMA nº 281 (24-12) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

3.- ENTORNO

3.1- Emplazamiento

Las icnitas de dinosaurios del yacimiento de “La Virgen del Campo” se encuentran en estratos o lisos de arenisca de dirección media N156E y buzamiento 20NE. La parte baja del afloramiento está situada al pie del barranco del Carrascal y la parte alta y laterales del yacimiento están limitados por el cuaternario con un espesor medio de un metro. Es un yacimiento aislado, sin ninguna construcción, rodeado de matorral y yerba. La orientación según su eje de mayor longitud es E-W.

Las huellas del yacimiento de “La Era del Peladillo” están sobre capas calizas de dirección media N146E y buzamiento 12NE. Es un yacimiento aislado, sin construcciones en sus proximidades, rodeado de matorral alto y bajo. Está situado en la ladera del monte, limitado por sedimentos cuya potencia media es de 1,5 metros. La orientación según su eje de mayor longitud es SE-NW.

3.2- Extensión

La extensión media del yacimiento de “La Virgen del Campo” es de 1.000m². Pérez-Lorente et al. (1996) dividieron esta zona en dos y las denominaron: Al afloramiento principal con 932m² “La Virgen del Campo” y al afloramiento colateral con 70m² “La Virgen del Campo 2”.

El espacio medio ocupado por el yacimiento de “La Era del Peladillo” es de 2.171m². Pérez-Lorente et al (1996) dividen esta extensión en 7 afloramientos situados uno a continuación del otro: “Era del Peladillo 1”, “Era del Peladillo 2”, “Era del Peladillo 3”, “Era del Peladillo 4”, “Era del Peladillo 5”, “Era del Peladillo 6” y “Era del Peladillo 7”. La “Era del Peladillo 1” está situada en la parte más baja de la ladera y la “Era del Peladillo 7” en la parte más alta.

3.3- Saneamiento del agua

El yacimiento de “La Virgen del Campo” está situado en la ladera noreste del cerro del Carrascal y el de “La Era del Peladillo” en la ladera norte de la montaña llamada Alto del Cerro. Ambos afloramientos carecen de cualquier tipo de drenaje

de agua. El agua de escorrentía circula libremente sobre la superficie de los estratos y se infiltra a través de las grietas y fisuras de las piedras.

3.4- Contaminación ambiental

Ambos medios son rurales y no tienen contaminación industrial ni antropogénica.

3.5- Actividad biológica

La actividad biológica en ambos yacimientos es muy intensa. Es de origen vegetal: plantas superiores y colonias de líquenes.

Las plantas superiores crecen entre las grietas y fisuras provocando, finalmente, el desprendimiento de fragmentos de piedra.

3.6- Microclima

Ambos afloramientos carecen de cualquier tipo de protección. Así, en verano, reciben fuerte insolación (nº de horas de sol), y como corresponde a este clima de montaña, la temperatura desciende bruscamente en la noche. Por lo que las piedras están sometidas, para un mismo periodo estacional, a cambios bruscos de temperatura que pueden oscilar entre los 20 o 30º. En invierno, la temperatura condiciona continuos ciclos de hielo-deshielo que aceleran la erosión de dichas rocas.

3.7- Relación con otros yacimientos

La inspección visual de otros afloramientos de huellas reveló que su sintomatología es similar a la de estos yacimientos. Descamación, desplazación, fracturación, desgaste por lavado, y rotura y caída de fragmentos, son alteraciones identificadas con mayor o menor intensidad en todos los afloramientos.

3.8- Impacto turístico

El yacimiento de “La Virgen del Campo” y el de “La Era del Peladillo” son lugares muy transitados por el hombre por tres razones obvias:

- a-La gran cantidad de información que suministran.
- b-El número de huellas que poseen.
- c-Su fácil acceso.

Dichas razones, además de la divulgación turística llevada a cabo por el Gobierno de La Rioja, convierten a estos afloramientos en zonas de alto riesgo, riesgo provocado por la libre circulación del hombre sobre unas superficies tan frágiles y alteradas. El continuo ir y venir provoca la rotura y desprendimiento de fragmentos de piedra, amén de las nefastas consecuencias derivadas de actos vandálicos.

4.- ANTECEDENTES

El yacimiento de “La Virgen del Campo” se viene estudiando y excavando desde el año 1979 a 1998 en campañas dirigidas por el director del Centro Paleontológico de Enciso Profesor-Doctor Félix Pérez-Lorente, experto en icnitas de dinosaurios.

Hasta el año 1995 se ha ido excavando el yacimiento. Excavación cuyo objetivo es llegar a la superficie del estrato donde han quedado impresas las marcas de estos animales, para su posterior estudio. Así cada año se ha ido ampliando la extensión del afloramiento. En este periodo de tiempo las investigaciones dirigidas por Félix Pérez-Lorente han suministrado gran cantidad de información sobre el tipo y comportamiento de los dinosaurios que vivieron por aquel entonces en estos parajes. Información que queda recopilada en las siguientes publicaciones:

- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V. (1989). Huellas fósiles de dinosaurios en La Rioja. Yacimientos de La Virgen del Campo, La Senoba y Valdecevilla. *Ciencias de la Tierra*. I.E.R. (12), 190p
- Pérez-Lorente, F.; Fenández, A.; Uruñuela, L. (1986). *Pisadas fósiles de dinosaurios (Algunos ejemplos de Enciso)*. Gobierno de La Rioja-CEIP., 35p.
- Pérez-Lorente, F. (1990). Excavaciones de icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja). *Estrato* (2), 47-50.
- Pérez-Lorente, F. (1991). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (3), 9-11.
- Pérez-Lorente, F. (1992). Trabajos sobre icnitas en Igea, Munilla y Enciso. *Estrato* (4), 59-62.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (5), 77-79.
- Pérez-Lorente, F. (1994). Icnitas en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (6), 94-95.

- Pérez-Lorente, F. (1996). Huellas de dinosaurios de La Rioja. Actividades de verano de 1995. *Estrato* (7), 119-122.

El yacimiento de “La Era del Peladillo” se comenzó a excavar y estudiar a partir del año 1990 hasta el año 1998, en campañas dirigidas por el profesor Félix Pérez-Lorente. Su trabajo de investigación queda recopilado en los siguientes artículos:

- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1992). Tracks of herd of webbed ornithopods and other footprints found in the same site (Igea, La Rioja. Spain). *Revue de Paleobiologie* (v.s.7) 29-36.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1993). Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y La Era del Peladillo 2 (La Rioja, España). *Zubía* (5), 9-133.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Torcida, F. (1993). Huellas de dinosaurios palmeados y de terópodos de la “Era del Peladillo” Igea. La Rioja. *Zubía* (11), 11-53.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). Huellas de dinosaurios en la Era del Peladillo 3 (La Rioja, España). Primera nota. *Zubía* (13), 83-101.
- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). La Era del Peladillo 4 (La Rioja. España). *Ciencias de la Tierra* (18), 45-52.
- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). Pisadas de ornitópodos, terópodos y saurópodos en la Era del Peladillo 5 (La Rioja, España). *Zubía* (7), 229-246.
- Meléndez, A.; Pérez-Lorente, F. (1996). Comportamiento gregario aparente de dinosaurios condicionado por una deformación sinsedimentaria (Igea, La Rioja, España). *Est. Geol.* (32), 77-82.
- Pérez-Lorente, F. (1990). Excavaciones sobre icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja). *Estrato* (2), 47-50.
- Pérez-Lorente, F. (1991). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (3), 9-11.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Dinosaurios plantígrados en La Rioja. *Zubía* (5), 59-62.

- a-La gran cantidad de información que suministran.
- b-El número de huellas que poseen.
- c-Su fácil acceso.

Dichas razones, además de la divulgación turística llevada a cabo por el Gobierno de La Rioja, convierten a estos afloramientos en zonas de alto riesgo, riesgo provocado por la libre circulación del hombre sobre unas superficies tan frágiles y alteradas. El continuo ir y venir provoca la rotura y desprendimiento de fragmentos de piedra, amén de las nefastas consecuencias derivadas de actos vandálicos.

4.- ANTECEDENTES

El yacimiento de “La Virgen del Campo” se viene estudiando y excavando desde el año 1979 a 1998 en campañas dirigidas por el director del Centro Paleontológico de Enciso Profesor-Doctor Félix Pérez-Lorente, experto en icnitas de dinosaurios.

Hasta el año 1995 se ha ido excavando el yacimiento. Excavación cuyo objetivo es llegar a la superficie del estrato donde han quedado impresas las marcas de estos animales, para su posterior estudio. Así cada año se ha ido ampliando la extensión del afloramiento. En este periodo de tiempo las investigaciones dirigidas por Félix Pérez-Lorente han suministrado gran cantidad de información sobre el tipo y comportamiento de los dinosaurios que vivieron por aquel entonces en estos parajes. Información que queda recopilada en las siguientes publicaciones:

- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V. (1989). Huellas fósiles de dinosaurios en La Rioja. Yacimientos de La Virgen del Campo, La Senoba y Valdecevilla. *Ciencias de la Tierra*. I.E.R. (12), 190p
- Pérez-Lorente, F.; Fenández, A.; Uruñuela, L. (1986). *Pisadas fósiles de dinosaurios (Algunos ejemplos de Enciso)*. Gobierno de La Rioja-CEIP, . 35p.
- Pérez-Lorente, F. (1990). Excavaciones de icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja). *Estrato* (2), 47-50.
- Pérez-Lorente, F. (1991). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (3), 9-11.
- Pérez-Lorente, F. (1992). Trabajos sobre icnitas en Igea, Munilla y Enciso. *Estrato* (4), 59-62.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (5), 77-79.
- Pérez-Lorente, F. (1994). Icnitas en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (6), 94-95.

- Pérez-Lorente, F. (1996). Huellas de dinosaurios de La Rioja. Actividades de verano de 1995. *Estrato* (7), 119-122.

El yacimiento de “La Era del Peladillo” se comenzó a excavar y estudiar a partir del año 1990 hasta el año 1998, en campañas dirigidas por el profesor Félix Pérez-Lorente. Su trabajo de investigación queda recopilado en los siguientes artículos:

- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1992). Tracks of herd of webbed ornithopods and other footprints found in the same site (Igea, La Rioja, Spain). *Revue de Paleobiologie* (v.s.7) 29-36.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1993). Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñafortillo, Malvaciervo y La Era del Peladillo 2 (La Rioja, España). *Zubía* (5), 9-133.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Torcida, F. (1993). Huellas de dinosaurios palmeados y de terópodos de la “Era del Peladillo” Igea, La Rioja. *Zubía* (11), 11-53.
- Casanovas, M.L.; Ezquerro, R.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). Huellas de dinosaurios en la Era del Peladillo 3 (La Rioja, España). Primera nota. *Zubía* (13), 83-101.
- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). La Era del Peladillo 4 (La Rioja, España). *Ciencias de la Tierra* (18), 45-52.
- Casanovas, M.L.; Fernández, A.; Pérez-Lorente, F.; Santafé, J.V.; Torcida, F. (1995). Pisadas de ornitópodos, terópodos y saurópodos en la Era del Peladillo 5 (La Rioja, España). *Zubía* (7), 229-246.
- Meléndez, A.; Pérez-Lorente, F. (1996). Comportamiento gregario aparente de dinosaurios condicionado por una deformación sinsedimentaria (Igea, La Rioja, España). *Est. Geol.* (32), 77-82.
- Pérez-Lorente, F. (1990). Excavaciones sobre icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja). *Estrato* (2), 47-50.
- Pérez-Lorente, F. (1991). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (3), 9-11.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Dinosaurios plantígrados en La Rioja. *Zubía* (5), 59-62.

- Pérez-Lorente, F. (1994). Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (6), 94-95.

En los años 1996 y 1997, y bajo la dirección de Félix Pérez-Lorente, se ha llevado a cabo la restauración de “La Virgen del Campo” y de “La Era del Peladillo”. Actuación motivada por el alarmante estado de alteración de dichos afloramientos.

5.- TIPOLOGÍA DE LAS HUELLAS

Información recopilada de Pérez-Lorente et al. (1996).

“LA VIRGEN DEL CAMPO”

Se han catalogado 301 huellas: 56 rastros y 37 icnitas aisladas. Dichos tipos están clasificados en los siguientes grupos taxonómicos:

- 37 rastros terópodos.
- 5 rastros ornitópodos.
- 14 no identificados.

Identificación: Theropoda Carnosauria; *Iguanodon*.

“LA VIRGEN DEL CAMPO 2»

Catalogadas 24 huellas: 7 rastrilladas y 3 huellas aisladas.

Tipo: 7 rastrilladas terópodos.

Identificación: Theropoda carnosauria.

“LA ERA DEL PELADILLO 1”

Catalogadas 305 pisadas: 9 rastrilladas ornitópodos y 225 huellas aisladas.

Tipo: 6 rastros terópodos y 3 ornitópodos. Una manada de ornitópodos.

Identificación: Theropoda Carnosauria; *Hadrosaurichnoides igeensis*.

“LA ERA DEL PELADILLO 2”

Catalogadas 258 huellas: 14 rastrilladas y 139 aisladas.

Tipo: 12 rastrilladas terópodos, 1 rastro ornitópodo, 1 rastro no identificado y 1 manada de saurópodos.

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

Identificación: Theropoda Carnosauria, Theropoda Coelurosauria, *Hadrosaurichnoides igeensis*, Sauropoda.

“LA ERA DEL PELADILLO 3”

Catalogadas 500 huellas: 25 rastrilladas, 328 icnitas aisladas o en caos aparente.

Tipo: 8 rastrilladas ornitópodos, 2 no identificadas, 14 terópodos y 1 saurópodo.

Identificación: Theropoda Carnosauria, T. Coelurosauria, *Brontopodus*, *Iguanodon*, *Hadrosaurichnoides igeensis*,

“LA ERA DEL PELADILLO 4”

Catalogadas 117 huellas: 15 rastrilladas, 37 pisadas no relacionadas.

Tipo: 1 rastrillada saurópodo, 1 ornitópodo, 5 terópodos, 8 no identificadas y una manada de saurópodos.

Identificación: Theropoda Carnosauria, T. Coelurosauria. *Brontopodus*, *Iguanodon*,

“LA ERA DEL PELADILLO 5”

Catalogadas 248 huellas: 13 rastrilladas y 127 improntas no relacionadas.

Tipo: 3 rastrilladas saurópodos, 2 terópodos, 7 ornitópodos, 1 rastro no identificado.

Identificación: *Coelurosauria*, *Brontopodus*, *Iguanodon*.

“LA ERA DEL PELADILLO 6”

Catalogadas unas 240 huellas: 15 rastros (9 terópodos, 1 ornitópodo y 5 no identificados) y 194 aisladas. En estudio.

“LA ERA DEL PELADILLO 7”

Catalogadas unas 95 huellas: 17 rastros (1 saurópodo, 15 terópodos y 1 no identificado) y 21 aisladas. En estudio.

6.- SITUACIÓN GEOLÓGICA

Desde el punto de vista geológico las icnitas se encuentran en materiales de facies Weald, es decir sedimentos continentales, lacustres y fluviales, depositados

en el Cretácico inferior (Aptiense), hace aproximadamente entre 110 y 120 millones de años.

Los materiales de ambos yacimientos pertenecen al Grupo "Enciso" constituido por materiales detríticos con calizas y margas interestratificadas. Según Mata Campo, M.P. (1997) la zona ha sufrido metamorfismo de muy bajo grado.

Según Cámara Rupuelo, P. et al (1981) el yacimiento de "La Virgen del Campo" queda incluido en el tramo C_{1,4c1} del Grupo Enciso (M.G.E. escala 1:50.000 hoja 280 ENCISO. IGME). Dicho tramo, con bioturbación muy acusada, está constituido por alternancia de calizas con margas y niveles arenosos intercalados. Los niveles arenosos los definen como arcosas, subarcosas, arenitas y sublitarenitas con alto contenido en feldespatos calcosódicos. Así mismo señalan que las zonas con intercalaciones más arenosas tienen estructuras de deslizamiento, así como estratificación y laminación cruzadas, presentando los bancos calizos estratificación irregular y flaser-bedding.

El yacimiento de "la Era del Peladillo" pertenece a la unidad C⁴₁₂₋₁₄ del Grupo Enciso (M.G.E. escala 1:50.000 hoja 281 CERVERA DEL RÍO ALHAMA. IGME). Según Durantez Romero, O. et al (1982) dicha unidad está definida como margas con bancos intercalados de calizas y areniscas.

7.- CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEDRAS

7.1- Estudio de muestras de mano: Descripción visual y con estereomicroscopio.

La piedra muestreada en la "Era del Peladillo" es una roca carbonatada, compacta, de color negro y de grano muy fino. Se caracteriza por su homogeneidad textural. La roca muestra una superficie densa, con microfósiles y estructuras orgánicas. Algunos microfósiles se encuentran orientados en direcciones paralelas a la estratificación. A simple vista la caliza es coherente, pero tiene tendencia a fracturarse a favor de planos perpendiculares a la estratificación. Son por tanto fracturas abiertas a través de las cuales la piedra se encuentra en contacto con el aire y el agua.

La piedra seleccionada en "La Virgen del Campo" es una roca silíceas, compacta y de tamaño de grano variable. Tiene textura heterogénea, marcada por la laminación sedimentaria. Dichas láminas tienen distinta composición y por tanto distinto comportamiento a la erosión. En las bandas se observan cristales de mica cuyo tamaño de grano varía desde microscópico hasta dos milímetros. La piedra se rompe por los planos donde se han acumulado filosilicatos. Se observan fisuras largas a favor de la laminación.

7.2- Estudio petrográfico

VARIEDAD DE “LA VIRGEN DEL CAMPO” (ENCISO).

Arenisca silíceas de grano fino a medio, formada casi en su totalidad por sílice en su variedad cuarzo (SiO_2).

La arenisca está formada mayoritariamente por granos de cuarzo. En menor proporción feldspatos y filosilicatos. Hay también óxidos de hierro y opacos dispersos.

Los granos de cuarzo son monocristalinos, están bien seleccionados y muy empaquetados. Tienen contactos suturados e interpenetrados de forma que los mismos granos están cementados por recrecimientos de cuarzo.

El cemento mayoritario es la sílice; seguido de los filosilicatos entre los que predomina la moscovita y la clorita.

La roca tiene estructura bandeada, en la que alternan zonas con cuarzoes de mayor tamaño con otras zonas que contienen cuarzo de menor tamaño y con otras bandas en las que se acumulan filosilicatos que además están orientados.

Los poros únicamente se han observado en las bandas donde se han acumulado minerales de la arcilla. La porosidad es muy baja y es intergranular.

Se han detectado microfisuras paralelas a la laminación sedimentaria, que rompen bandas y granos.

A partir de las observaciones petrográficas se deduce que las zonas formadas casi exclusivamente por granos de cuarzo son compactas, coherentes y muy resistentes; por el contrario el cambio textural tan brusco que supone la transición a zonas con filosilicatos y óxidos de hierro (laminación sedimentaria) perjudica la durabilidad de la piedra, así como el paso a zonas formadas por cuarzo de menor tamaño de grano.

Los procesos de deterioro más importantes son:

- Microfisuración.
- Óxidación en zonas restringidas.
- Desagregación granular.

VARIEDAD DE “LA ERA DEL PELADILLO” (IGEA).

Caliza de grano muy fino, formada casi en su totalidad por carbonato cálcico (CO_3Ca).

En la caliza se distinguen microfósiles, granos de cuarzo y filosilicatos.

La roca está formada por una matriz de cristales microscópicos de micrita de tamaño menor de 0,01 milímetros. Dicha matriz engloba fósiles (foraminíferos, fragmentos de bivalvos y otros), pequeños granos de cuarzo y filosilicatos.

Se observan zonas silicificadas, que generalmente corresponden a estructuras fósiles, donde la calcita original se ha sustituido por cemento granular silíceo.

La caliza tiene estructura bandeada en la que alternan niveles más o menos detríticos. Los niveles detríticos son láminas donde se han acumulado granos de cuarzo, filosilicatos y fragmentos fósiles. Dichas bandas están intercaladas en una matriz en la que predomina la micrita y que constituye la mayor parte de la roca.

La porosidad de la caliza es muy baja. Se ha detectado porosidad intraparticular, generalmente dentro de los fragmentos fósiles. También hay porosidad de fractura. Las microfisuras observadas son subperpendiculares a la laminación sedimentaria y afectan tanto a los granos detríticos como a la matriz.

Las zonas formadas casi exclusivamente por calcita micrítica, compactas y muy duras, se encuentran separadas por niveles detríticos en los que los granos están pobremente cementados por micrita y filosilicatos. Dicho cambio textural y la presencia de fracturas, comprometen la resistencia futura de la piedra.

Los procesos de deterioro observados son:

- Microfisuración.
- Oxidación en zonas formadas mayoritariamente por filosilicatos.
- Disolución de la matriz micrítica.

7.3- Análisis de la composición mineralógica por difracción de rayos-X.

VARIEDAD SILÍCEA DE LA “VIRGEN DEL CAMPO” (ENCISO).

La composición mineralógica cuantitativa aproximada, analizada por difracción de rayos-X; es:

Cuarzo.....	95%
Minerales de la arcilla.....	<5%
Óxidos de hierro.....	<5%

El análisis de la fracción arcilla se hizo con la técnica de agregados orientados. Con dicha técnica se realizaron los siguientes tratamientos: Agregado orientado,

agregado orientado con etilenglicol, agregado orientado con dimetilsulfóxido y tratamiento térmico a 550°C. Los filosilicatos identificados fueron: Moscovita, clorita, biotita e interestratificados de esmectitas.

VARIEDAD CALIZA DE “LA ERA DEL PELADILLO” (IGEA).

El espectro de rayos-X de la caliza de Igea muestra que está formada casi exclusivamente por calcita (CO₃Ca). Se han detectado pequeñas cantidades de cuarzo y filosilicatos.

La composición mineralógica cuantitativa aproximada, analizada por esta técnica es:

Calcita.....	99%
Filosilicatos.....	<5%
Cuarzo.....	<5%

El análisis de la fracción arcilla con la técnica de los agregados orientados, ha permitido identificar los siguientes filosilicatos: Moscovita, biotita, clorita e interestratificados de esmectitas.

7.4- Propiedades físicas

La densidad y porosidad se ha calculado con el método de la balanza hidrostática. El análisis del espacio poroso, distribución porométrica, se ha hecho con la técnica de porosimetría de mercurio; que nos informa no sólo de la cantidad de poros sino del radio de acceso de los mismos. Se han considerado macroporos a los poros cuyo radio de acceso es mayor de 2.5 micras y microporos a los accesos cuyo radio es menor de 2.5 micras.

El ensayo de absorción y desorción libre de agua se hizo siguiendo la NORMATIVA INTERNACIONAL RILEM 1980.

7.4.1- Variedad silícea de la “Virgen del campo” (Enciso)

a- Densidad y porosidad

Se muestrearon dos variedades de roca en “La Virgen del Campo”: Una más silícea y otra más calcárea. Al tipo silíceo le corresponde una porosidad media del 3%, con valores extremos comprendidos entre el 2 y el 4% (tabla 1). La porosidad

media de la roca más calcárea es del 7%, con cantidades que varían entre el 6 y el 8% (tabla 1).

LA VIRGEN DEL CAMPO	Nº de muestra	Densidad real	Densidad aparente	Porosidad abierta	
VARIEDAD SILÍCEA	E-1	2,58g/cm ³	2,51g/cm ³	2,65%	
	E-2	2,65g/cm ³	2,55g/cm ³	3,56%	
	E-3	2,62g/cm ³	2,56g/cm ³	2,11%	
	E-4	2,62g/cm ³	2,55g/cm ³	2,79%	
	E-5	2,69g/cm ³	2,62g/cm ³	2,57%	
	MEDIA	2,63g/cm ³	2,55g/cm ³	2,74%	
VARIEDAD CALCÁREA	E-6	2,75g/cm ³	2,54g/cm ³	7,61%	
	E-7	2,73g/cm ³	2,56g/cm ³	6,15%	
	E-8	2,74g/cm ³	2,57g/cm ³	6,15%	
	MEDIA	2,74g/cm ³	2,55g/cm ³	6,63%	

Tabla 1

b- Distribución porométrica

La arenisca silícea analizada, con porosidad efectiva del 2,57%, está formada mayoritariamente por microporos. El rango de acceso de poro está comprendido entre 0,003 y 200 micras. La macroporosidad supone el 0,33% respecto al 2,24% de microporosidad. Prácticamente toda la microporosidad corresponde a conductos con radio de acceso de 0,003 a 0,1 micras. El intervalo de máxima porosidad se sitúa entre 0,005 y 0,05 micras.

En la tabla 2 se encuentran los valores de la macro y microporosidad respecto a la porosidad efectiva, así como el tamaño y tanto por ciento de porosidad dominante.

c- Absorción-desorción libre de agua

Varietad silíceas

La arenisca se caracteriza por absorber el agua más lentamente que lo que la evapora. El tanto por ciento medio de agua absorbida hasta su saturación fue del 1,24% (tabla 3) y para ello invirtió un total de 13 días (ilustración 1). La mayor parte del agua, el 82%, la captó en las primeras 48 horas (ilustración 2). La cantidad

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

POROSIDAD EFECTIVA	MACRO POROSIDAD	MICRO POROSIDAD	POROSIDAD DOMINANTE	
	r>2,5 micras	r<2,5 micras	Tamaño en micras	Porcentaje
2,57%	0,33%	2,24%	0,005<r<0,01	16%
			0,01<r<0,02	18%
			0,02<r<0,05	22%

Tabla 2

media de agua evaporada hasta alcanzar el equilibrio con la atmósfera fue del 1,13% (tabla 4) y el tiempo requerido de 48 horas (ilustración 3). El 98% del total del agua evaporada la liberó en 24 horas (ilustración 4).

Finalizado el ensayo de desorción retuvo en sus poros el 13% respecto al total del agua absorbida.

Variedad calcárea

El total de agua absorbida hasta su saturación es del 3% (tabla 3), casi el doble respecto al tipo más silíceo, como corresponde también a su mayor porosidad. En 48 horas capta el 90% (ilustración 2) del total del agua absorbida y en ese mismo intervalo de tiempo evapora el 100% (ilustración 4) del agua que es capaz; es decir el 2,19% (tabla 4). La cantidad de agua que no puede liberar, es decir, que queda retenida en su sistema poroso es el 23% del total de agua absorbida.

Por tanto, el tipo calcáreo evapora el agua, relativamente, con más rapidez que lo que la absorbe, pero también es mayor la proporción de agua atrapada.

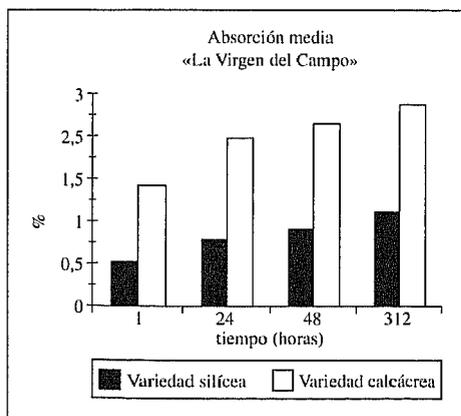


Ilustración 1

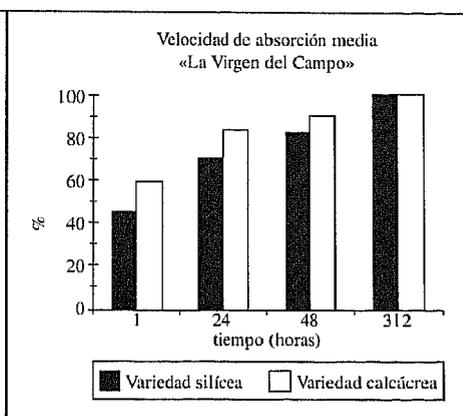


Ilustración 2

La Virgen del Campo	ABSORCIÓN LIBRE DE AGUA				
	nº de muestra	Iv 1 hora	Ws 24 horas	W 48 horas	Is saturación (13 días)
VARIEDAD SILÍCEA	E-1	0,60%	1,09%	1,19%	1,40%
	E-2	2,73%	0,90%	1,09%	1,39%
	E-3	0,49%	0,80%	0,93%	1,18%
	E-4	0,54%	0,86%	1,02%	1,24%
	MEDIA	0,59%	0,91%	1,06%	1,30%
VARIEDAD CALCÁREA	E-6	2,34%	2,87%	3,15%	3,41%
	E-7	1,19%	2,14%	2,29%	2,51%
	E-8	1,52%	2,06%	2,25%	2,58%
	MEDIA	1,68%	2,35%	2,56%	2,83%

Tabla 3

La Virgen del Campo	DESORCIÓN LIBRE DE AGUA			
	nº de muestra	En 1 hora	En 24 horas	En 48 horas (equilibrio con atmósfera)
VARIEDAD SILÍCEA	E-1	0,33%	1,18%	1,21%
	E-2	0,50%	1,20%	1,22%
	E-3	0,57%	1,00%	1,03%
	E-4	0,50%	1,06%	1,06%
	MEDIA	0,47%	1,11%	1,13%
VARIEDAD CALCÁREA	E-6	0,54%	2,68%	2,70%
	E-7	0,35%	1,78%	1,84%
	E-8	0,39%	2,00%	2,02%
	MEDIA	0,43%	2,15%	2,19%

Tabla 4

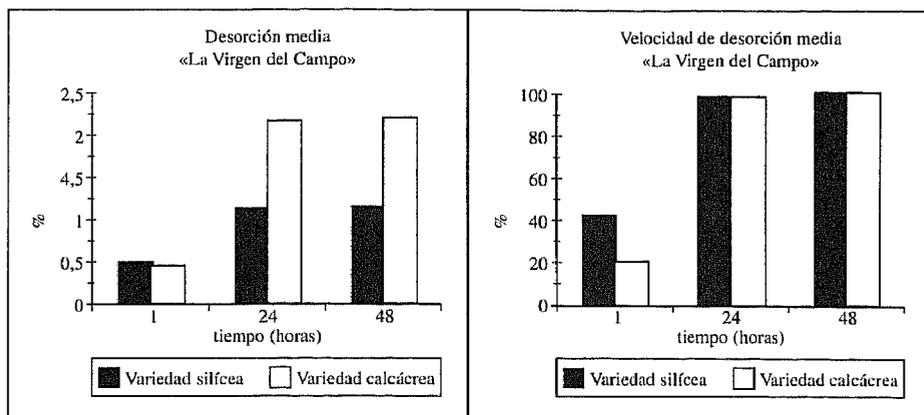


Ilustración 3

Ilustración 4

7.4.2-Variedad calcárea de “La Era del Peladillo” (Igea)

a- Densidad y porosidad

La porosidad media de la caliza es del 2%, con valores extremos que varían entre el 0,5% y el 6% (tabla 5). Esta amplitud de valores es un reflejo de la heterogeneidad textural de la roca.

LA ERA DEL PELADILLO	Nº de muestra	Densidad real	Densidad aparente	Porosidad abierta
CALIZA	I-1	2,70g/cm ³	2,69g/cm ³	0,44%
	I-2	2,70g/cm ³	2,68g/cm ³	0,74%
	I-3	2,75g/cm ³	2,59g/cm ³	5,70%
	I-4	2,65g/cm ³	2,63g/cm ³	1,40%
	MEDIA	2,70g/cm ³	2,64g/cm ³	2,07%

Tabla 5

b- Distribución porométrica

La porosidad efectiva de la caliza es del 1,42%. De todos esos poros el 85% tiene tamaño inferior a 2,5 micras. Sólo al 15% le corresponde un radio superior.

El rango de acceso de poro está comprendido entre 0,01 y 200 micras. El 75% de la porosidad se sitúa entre los radios 0,02 y 0,5. La clase con mayor porcentaje de poros corresponde al intervalo 0,05-0,1.

En la tabla 6 se encuentran los valores de la macro y microporosidad respecto a la porosidad efectiva así como el tamaño y tanto por ciento de porosidad dominante.

POROSIDAD EFECTIVA	MACRO POROSIDAD	MICRO POROSIDAD	POROSIDAD DOMINANTE	
			Tamaño en micras	Porcentaje
1,42%	r>2,5 micras	r<2,5 micras		
	0,22%	1,20%	0,005<r<0,01	19%
			0,01<r<0,02	23%
0,02<r<0,05			17%	

Tabla 6

c- Absorción-desorción libre de agua

La cantidad media de agua absorbida por la caliza hasta su saturación fue del 1% y el tanto por ciento de agua evaporada hasta alcanzar el equilibrio con la atmósfera del 0,9% (tablas 7 y 8).

Más de la mitad del agua incorporada, el 57%, fue absorbida en la primera hora. En 24 horas captó el 81% y en 48 horas el 87%. El tiempo invertido hasta conseguir la saturación de las probetas fue de 12 días (ilustraciones 5 y 6).

La caliza liberó el agua con rapidez, así en 24 horas eliminó el 97% y en 48 horas el 100% respecto al total del agua que fue capaz de evaporar (ilustraciones 7 y 8).

El tanto por ciento de agua que quedó alojada en su estructura interna y, por tanto, que no pudo liberar al alcanzar el equilibrio con la atmósfera, fue del 14%.

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

La Era del Peladillo	ABSORCIÓN LIBRE DE AGUA				
	nº de muestra	Iv 1 hora	Ws 24 horas	W 48 horas	Is saturación (12 días)
CALIZA	1-1	0,11%	0,13%	0,19%	0,32%
	1-2	0,24%	0,26%	0,30%	0,49%
	1-3	1,50%	2,24%	2,33%	2,47%
	MEDIA	0,62%	0,88%	0,94%	1,09%

Tabla 7

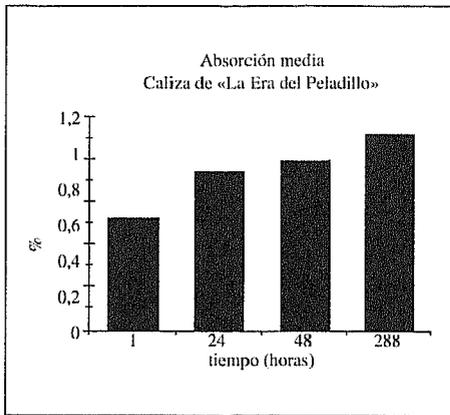


Ilustración 5

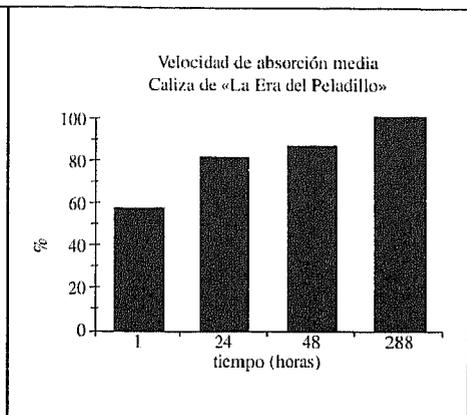


Ilustración 6

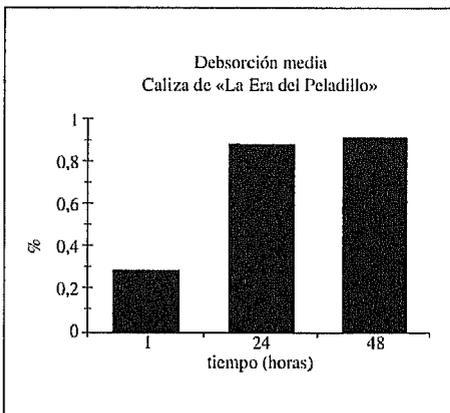


Ilustración 7

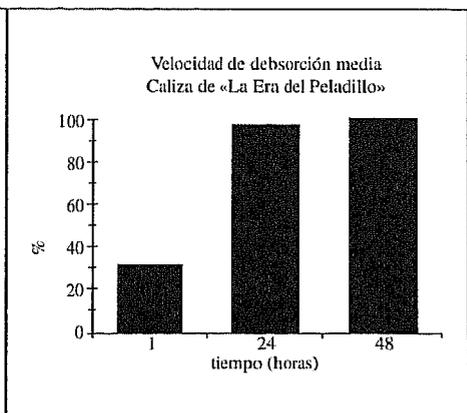


Ilustración 8

La Era del Peladillo	DESORCIÓN LIBRE DE AGUA			
	nº de muestra	En 1 hora	En 24 horas	En 48 horas (equilibrio con atmósfera)
CALIZA	I-1	0,17%	0,22%	0,23%
	I-2	0,32%	0,42%	0,44%
	I-3	0,34%	1,96%	2,04%
	MEDIA	0,28%	0,87%	0,94%

Tabla 8

8.- FORMAS MACROSCÓPICAS DE ALTERACION O DESPERFECTOS EN LOS YACIMIENTOS

LA VIRGEN DEL CAMPO (ENCISO)

A) Daños naturales

La piedra se desprende en el yacimiento en forma de escamas, placas y fragmentos.

La desplacación es un fenómeno generalizado en toda la superficie del estrato. Generalmente se trata de placas descamadas que se desarrollan paralelas a la superficie expuesta. Tienen varios centímetros de grosor y extensión considerable. Cuando una de estas placas se desprende, deja una superficie en la que se observan cristales de mica blanca, que en algunas ocasiones alcanzan tamaño centimétrico.

El proceso de formación de las placas es el siguiente: En primer lugar se forman pequeñas fisuras en el contacto entre láminas de distinta composición mineralógica y, o distinto tamaño de grano. A continuación se abren y prolongan las fisuras. Finalmente se desprenden escamas si el espesor de la lámina es de 1 a 3 milímetros.

La superficie del estrato está recorrida por redes de fisuras perpendiculares o subperpendiculares a la estratificación. Estas fisuras facilitan la entrada y circulación del agua por el interior de la piedra, así como el crecimiento de plantas superiores. La consecuencia final negativa es la rotura y desprendimiento de fragmentos de roca; con lo que se exponen nuevas superficies al efecto de la intemperie.

Otro indicador de alteración es el crecimiento de plantas superiores por las fisuras de la piedra. Las raíces, que aprovechan las fisuras, penetran hacia el interior de la piedra y finalmente provocan que se despeguen y desprendan fragmentos de roca.

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

Los depósitos superficiales que se acumulan en las oquedades del estrato, indican el desgaste mecánico, por impacto o fricción, a que está sometida la piedra. Como abrasivos actúan los fragmentos y partículas arrastrados por el viento y el agua.

El agua de lluvia circula libremente sobre toda la superficie del estrato, lo que origina zonas de lavado y consecuentemente desgaste. Hecho provocado por la falta de canalización del agua.

B) Daños ocasionados por el hombre directa o indirectamente

Como consecuencia del expolio, picaduras e incisiones.

Como consecuencia del turismo, el desgaste mecánico y rotura de la piedra. Agresiones provocadas por la libre circulación del hombre sobre una superficie tan frágil y alterada.

“LA ERA DEL PELADILLO” (IGEA)

A) Daños naturales

Ruptura del estrato a partir de fisuras preexistentes subperpendiculares a la estratificación. Son discontinuidades de la propia roca que están total o parcialmente rellenas de carbonatos.

Ruptura del estrato en forma de placas y, o escamas paralelas a la superficie expuesta. Las placas adquieren gran extensión y espesor. Finalmente las placas se desprenden del sustrato y de nuevo comienza el proceso en la superficie expuesta.

Ruptura de la roca provocada por el crecimiento de plantas superiores. Las raíces aprovechan las discontinuidades y durante su crecimiento agrandan las existentes o abren nuevas fisuras.

La falta de canalización del agua provoca la libre circulación del agua de lluvia sobre el yacimiento, con el consiguiente lavado y desgaste de la piedra.

B) Daños provocados por el hombre directa o indirectamente

Como consecuencia de actos vandálicos (expolio) se observan en el yacimiento picaduras y excoriaciones.

La circulación masiva del hombre por la superficie alterada del estrato, origina la ruptura y desprendimiento de escamas y fragmentos.

9.- AGENTES Y MECANISMOS DE ALTERACIÓN

El problema de la alteración de la piedra depende de muchos factores, unos inherentes a su composición y otros al medio exterior.

Las características propias de la roca que forma los yacimientos, que de una manera prioritaria influyen en el comportamiento de la misma frente a los distintos agentes meteorizantes son:

- Las estructuras sedimentarias: bandas de distinta composición y granulometría.
- Las fisuras preexistentes por las que progresan los agentes de alteración.
- La presencia de esmectitas: arcillas que dan problemas por la propiedad que tienen de hincharse al hidratarse.

Respecto a los agentes externos, son el agua, los cambios de temperatura y la pendiente de los estratos los que más influyen en la alteración de estas piedras.

Por tanto deducimos los siguientes mecanismos de alteración:

1– Mecanismos físico-mecánicos

La gran cantidad de fisuras nos indica la intensa degradación físico-mecánica a que está sometida la piedra de los yacimientos. Las fisuras, que se observan tanto a escala microscópica (microfisuras) como macroscópica (fracturas y grietas) están provocadas:

- a) Por los esfuerzos a que está sometido el estrato (deslizamiento de capas..etc).
- b) Por los repetidos ciclos térmicos y estacionales que soportan estas piedras. En definitiva, la baja conductividad térmica de estas rocas, unido a las considerables variaciones de temperatura entre el día y la noche, entre el núcleo de la piedra y su superficie (directamente expuesta a los efectos de la insolación); origina tensiones que causan fatiga en el material y finalmente deforman y microfisuran la piedra. Relacionado con estos cambios de temperatura hay que tener en cuenta que cada mineral tiene su coeficiente de dilatación. Es decir que cada mineral ocupa un volumen distinto cuando se expande o contrae. Así el cuarzo es de entre todos los minerales que forman esta piedra el que tiene mayor dilatación térmica individual. Además hay otros minerales como la calcita que tiene distinta expansión según su orientación.
- c) Por la tensión provocada por la expansión y retracción de ciertos minerales de la arcilla (esmectitas), capaces de hincharse en presencia de agua.
- d) Por la presión de cristalización originada por la transformación del agua a hielo. El agua penetra en la piedra aprovechando la red de poros y sobre todo la red de fisuras. El agua retenida en la superficie o en el interior de la piedra puede transformarse a hielo con el consiguiente incremento de volumen. Si en los poros

o microfisuras no hay espacio suficiente para este aumento de volumen se generan microfracturas que a gran escala se manifiestan con la rotura del material (gelifracción).

2- Mecanismo químico

Todo material rocoso se halla expuesto, en contacto con la atmósfera y en presencia de agua, a reacciones de meteorización química natural. El carácter agresivo que le confiere al agua el CO₂ disuelto, provoca, a largo plazo, la disolución de los carbonatos, lo que se traduce en pérdida de masa por disgregación y descementación; dejando huecos en la superficie y en el interior de las grietas.

3- Mecanismo biológico

Las plantas que crecen sobre la piedra de los estratos, pueden ser causa de alteración por ellas mismas o por impedir la evaporación del agua. Por una parte las raicillas que penetran por las fisuras y huecos del sustrato, se incrustan en la piedra y producen un efecto similar al del hielo; es decir la rompen o disgregan. Además retienen agua, que por la alternancia de ciclos de hielo-deshielo producen tensiones. Así mismo segregan sustancias cuyo ph y composición las hace corrosivas. Provocan fenómenos de disolución, oxidación e hidrólisis en el sustrato sobre el que se asientan.

10.- ALTERABILIDAD POTENCIAL DE LA PIEDRA. PRUEBAS CON TRATAMIENTOS DE REPARACIÓN, CONSOLIDACIÓN Y PROTECCIÓN.

Para predecir la durabilidad y comportamiento futuro de ambos tipos de piedra se hicieron tres ensayos de envejecimiento artificial acelerado: ensayo termohídrico o de humedad-sequedad; ensayo de heladicidad o de hielo-deshielo y ensayo a la luz ultravioleta. Se seleccionaron estos tres ensayos porque los agentes de alteración que más afectan a los yacimientos son la insolación, los cambios de temperatura y el agua líquida y sólida.

Las alteraciones principales de las probetas ensayadas de "La Virgen del Campo" eran: fisuras de gran extensión paralelas a la laminación sedimentaria y placas totalmente separadas del sustrato. Las de "La Era del Peladillo" bien estaban rotas en uno o varios trozos o bien se rompieron a favor de fisuras preexistentes perpendiculares a la laminación. Por tanto, se reparó la piedra pegando fragmentos sueltos y en algunas ocasiones cosiendo dichos fragmentos; y rellenando y, o sellando fisuras. Era prioritario conocer la durabilidad de la piedra reparada y con las fisuras cegadas para evitar que entrara y circulase el agua por la roca.

ARENISCA DE LA VIRGEN DEL CAMPO

Ensayo termohídrico

El ensayo termohídrico no fue agresivo para la arenisca reparada pero no tratada. Los 30 ciclos de humedad-sequedad no provocaron cambios en el aspecto externo de las probetas. Se conservaron los marcadores de tinta indeleble. Finalizado el ensayo, la pérdida de peso media registrada fue del 0,10% (tabla 9). Únicamente en una probeta se produjeron: en el ciclo 29 una fisura de gran extensión a favor de la laminación y en el ciclo 30 comenzaron a abrirse pequeñas fisuras paralelas a ese plano. De continuar unos ciclos más el resultado final hubiese sido el desprendimiento de esa placa y la apertura de las nuevas fisuras.

Los productos utilizados en la reparación de las probetas no tratadas, resina epoxídica para rellenar las grietas y mortero vínlíco para sellar las fisuras, no experimentaron alteración con los ciclos de humedad-sequedad.

La pérdida de peso media en la arenisca reparada e impregnada con el hidrofugante Tegosivin HL100 fue del 0,08% (tabla 9). Finalizado el ensayo termohídrico se conservaron los marcadores de tinta indeleble y no se observaron cambios en las probetas. Solo en una probeta se produjo, en el último ciclo, descamación poco intensa en la superficie no expuesta. La respuesta de los productos de reparación fue satisfactoria en estas piedras pegadas, cosidas y con las fisuras selladas.

El ensayo termohídrico tampoco fue agresivo en las probetas de arenisca reparadas, consolidadas e hidrofugadas. La pérdida de peso media en las piedras tratadas con Sinocril + Tegosivin fue del 0,07%, con Wacker OH + Tegosivin del 0,10% y con Tegovakon + Tegosivin del 0,22% (tabla 9). Se conservaron los marcadores de tinta indeleble y no se detectaron modificaciones en la forma externa de las rocas. En una muestra consolidada con Tegovakon e hidrofugada con Tegosivin se produjeron en el ciclo 30 dos fisuras paralelas a la laminación. En las resinas utilizadas para rellenar y sellar fisuras no se detectó ningún signo de alteración.

ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE HUELLAS...

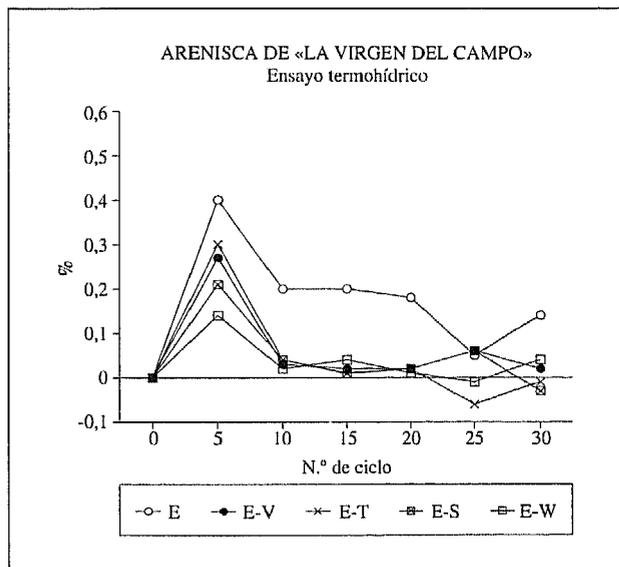
		ENSAYO TERMOHÍDRICO. ARENISCA DE "LA VIRGEN DEL CAMPO"						Pérdida de peso final ▲P
		Incremento de peso medio en % cada 5 ciclos						
muestra	tratamiento	Po-P5	Po-P10	Po-P15	Po-P20	P-P25	Po-P30	▲P
E	No	+0,40%	+0,20%	+0,20%	+0,18%	+0,05%	+0,14%	-0,10%
E-V	Tegosivin	+0,27%	+0,03%	+0,02%	+0,02%	+0,06%	+0,02%	-0,08%
E-T	Tegovakon + Tegosivin	+0,30%	+0,04%	+0,01%	+0,02%	-0,06%	-0,01%	-0,22%
E-S	Sinocril + Tegosivin	+0,21%	+0,04%	+0,01%	+0,02%	+0,06%	-0,03%	-0,07%
E-W	Wacker OH + Tegosivin	+0,14%	+0,02%	+0,04%	+0,01%	-0,01%	+0,04%	-0,10%

Tabla 9

E=Grupo de muestras únicamente reparadas.

E-V=Grupo de muestras reparadas e hidrofugadas.

E-T, E-S, E-W=Grupo de muestras reparadas, consolidadas e hidrofugadas.



Hasta el ciclo 5º y con cualquiera de los tratamientos, las probetas incorporaron agua a su sistema poroso. A partir de ahí cambió de forma brusca la pendiente de las curvas y las muestras comenzaron a perder peso. Entre los ciclos 10 y 20 se estabilizaron sus pesos y de nuevo en el ciclo 20 tuvo lugar otra caída que a partir del ciclo 25 se estabilizó.

Ilustración 9. Variación media del peso de las probetas con los 30 ciclos de humedad-sequedad.

Ensayo de heladicidad

El ensayo de hielo-deshielo no modificó la forma de las probetas reparadas, se conservaron los marcadores de tinta indeleble. Finalizado el ensayo, la pérdida de peso media registrada fue del 0,04% (tabla 10). No se observó alteración en los productos de reparación utilizados para pegar y coser fragmentos, y rellenar y sellar fisuras.

Los 30 ciclos de hielo-deshielo tampoco resultaron agresivos ni para la arenisca reparada e hidrofugada ni para la arenisca reparada, consolidada e hidrofugada. La pérdida de masa fue insignificante (tabla 10). No se detectaron cambios en la forma de las probetas ni desperfectos en los productos utilizados para reparar las muestras de piedra (pegado y cosido de fragmentos y relleno y sellado de fisuras).

		ENSAYO DE HELADICIDAD. ARENISCA DE "LA VIERGEN DEL CAMPO"						Pérdida de peso final
		Incremento de peso medio en % cada 5 ciclos						
muestra	tratamiento	Po-P5	Po-P10	Po-P15	Po-P20	P-P25	Po-P30	▲P
E	No	-0,08%	+0,01%	+0,09%	+0,07%	+0,09%	+0,19%	-0,04%
E-V	Tegosivin	+0,42%	+0,44%	+0,55%	+0,58%	+0,65%	+0,77%	-0,16%
E-T	Tegovakon + Tegosivin	+0,17%	+0,36%	+0,43%	+0,45%	+0,48%	+0,60%	-0,21%
E-S	Sinocril + Tegosivin	+0,08%	+0,24%	+0,33%	+0,33%	+0,37%	+0,49%	-0,07%
E-W	Wacker OH + Tegosivin	+0,15%	+0,34%	+0,38%	+0,40%	+0,44%	+0,56%	-0,18%

Tabla 10

E=Grupo de muestras únicamente reparadas.

E-V=Grupo de muestras reparadas e hidrofugadas.

E-T, E-S, E-W=Grupo de muestras reparadas, consolidadas e hidrofugadas.

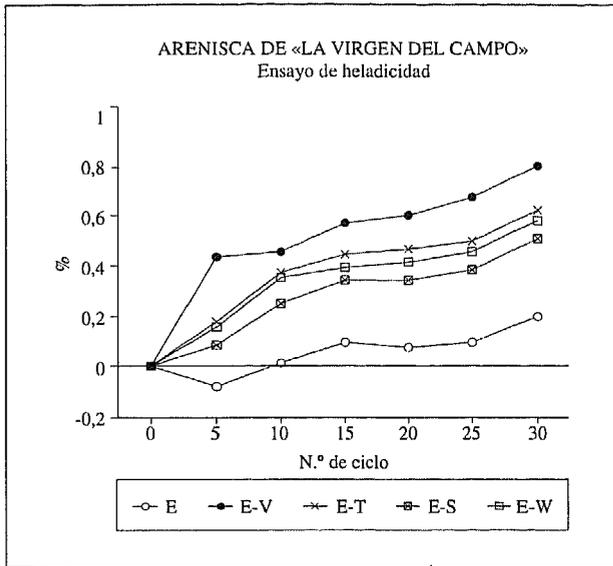


Ilustración 10. Variación media del peso de las probetas con los 30 ciclos de hielo-deshielo.

En general y como muestra la pendiente de las curvas, las probetas fueron incorporando agua a su sistema poroso desde el primero al último ciclo del ensayo de heladicidad.

La cantidad media de agua absorbida por las probetas reparadas fue menor que la tomada por las piedras impregnadas con los productos.

CALIZA DE LA ERA DEL PELADILLO

Ensayo termohídrico

La pérdida de peso media en las muestras únicamente reparadas fue del 0,01% (tabla 11). Los 30 ciclos de humedad-sequedad no originaron cambios ni en la forma de las muestras ni en los productos utilizados para reparar las piedras (muestras con trozos pegados y fisuras selladas).

En general, y para el resto de las probetas reparadas y tratadas, los desperfectos ocasionados por este ensayo, corresponden a aquellas muestras que precisaron para su reparación pegar dos o más trozos. En ellas se produjeron en los dos últimos ciclos fisuras en el mortero utilizado para sellar la junta de pegado, que en algunas piedras provocaron de nuevo la ruptura en sus trozos originales. Dichas alteraciones se produjeron porque las probetas, debido a su peso, precisaban además del pegado el cosido de las mismas.

En una muestra con sus fisuras rellenas y selladas, el efecto de la humedad-sequedad originó en el ciclo 30 una fisura a favor de la laminación y pequeñas fisuras en el sellado de una junta.

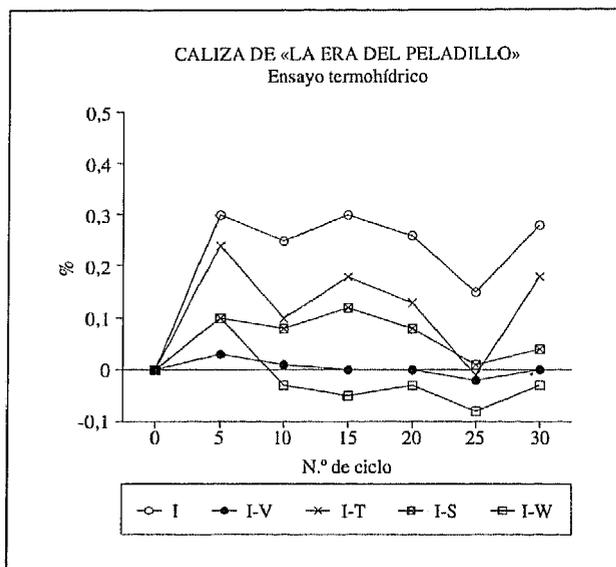
ENSAYO TERMOHÍDRICO. CALIZA DE "LA ERA DEL PELADILLO"								
Incremento de peso medio en % cada 5 ciclos								Pérdida de peso final
muestra	tratamiento	Po-P5	Po-P10	Po-P15	Po-P20	Po-P25	Po-P30	▲P
I	No	+0,30%	+0,25%	+0,30%	+0,26%	+0,15%	+0,28%	-0,01%
I-V	Tegosivin	+0,03%	+0,01%	+0,00%	+0,00%	-0,02%	+0,00%	-0,05%
I-T	Tegovakon + Tegosivin	+0,24%	+0,10%	+0,18%	+0,13%	-0,01%	+0,08%	-0,21%
I-S	Sinocril + Tegosivin	+0,10%	+0,08%	+0,12%	+0,08%	+0,004%	+0,04%	ruptura
I-W	Wacker OH + Tegosivin	+0,10%	-0,03%	-0,05%	-0,03%	-0,08%	-0,03%	-0,19%

Tabla 11

I=Grupo de muestras únicamente reparadas.

I-V=Grupo de muestras reparadas e hidrofugadas.

I-T, I-S, I-W=Grupo de muestras reparadas, consolidadas e hidrofugadas.



En los primeros cinco ciclos, las muestras captan agua. A partir de ahí y de forma brusca, pierden peso hasta el ciclo 10. Entre los ciclos 10 y 30 sus pesos tienden a estabilizarse, aunque del ciclo 20 al 25 hay un descenso general.

Ilustración 11. Variación media del peso de las probetas con los 30 ciclos de humedad-sequedad.

Ensayo de heladicidad

El ensayo de heladicidad no resultó agresivo para las muestras de caliza, tratadas o no tratadas, del yacimiento de “La Era del Peladillo”. La pérdida de peso media no superó en ningún caso el 0,16% (tabla 12). Finalizados los 30 ciclos de hielo-deshielo no se detectaron desperfectos en dichas piedras ni síntomas de alteración en los productos utilizados para pegar fragmentos y rellenar y sellar las fisuras. En todos los casos se conservaron los marcadores de tinta indeleble.

		ENSAYO DE HELADICIDAD. CALIZA DE “LA ERA DEL PELADILLO”						Pérdida de peso final
		Incremento de peso medio en % cada 5 ciclos						
muestra	tratamiento	Po-P5	Po-P10	Po-P15	Po-P20	P-P25	Po-P30	▲P
I	No	+0,10%	+0,16%	+0,21%	+0,21%	+0,21%	+0,23%	-0,06%
I-V	Tegosivin	-0,01%	+0,04%	+0,12%	+0,12%	+0,15%	+0,28%	-0,05%
I-T	Tegovakon + Tegosivin	-0,02%	-0,03%	+0,13%	+0,13%	+0,14%	+0,22%	-0,13%
I-S	Sinocril + Tegosivin	+0,12%	+0,31%	+0,38%	+0,39%	+0,42%	+0,48%	-0,06%
I-W	Wacker OH + Tegosivin	+0,05%	+0,18%	+0,27%	+0,32%	+0,36%	+0,50%	-0,16%

Tabla 12

I=Grupo de muestras únicamente reparadas.

I-V=Grupo de muestras reparadas e hidrofugadas.

I-T, I-S, I-W=Grupo de muestras reparadas, consolidadas e hidrofugadas.

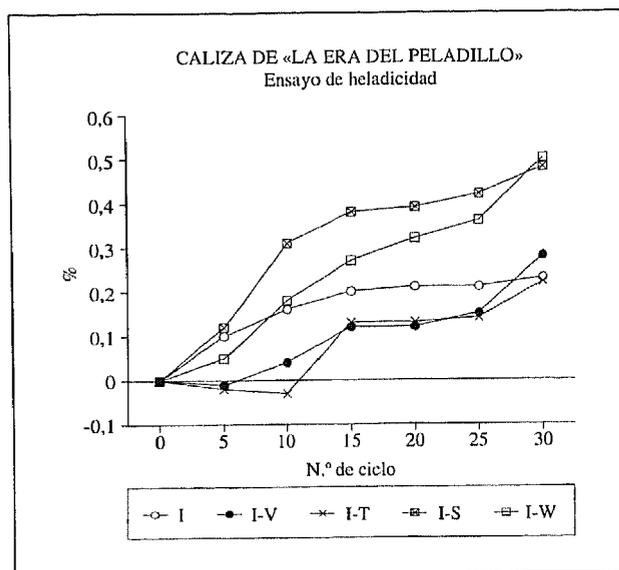


Ilustración 12. Variación media del peso de las muestras con los 30 ciclos de hielo-deshielo

Hasta el ciclo 15 la caliza reparada absorbió agua. A partir de ahí su peso se estabilizó.

La tendencia general de las muestras reparadas y tratadas fue absorber agua desde el primero hasta el último ciclo. Únicamente y al igual que ocurría con la arenisca en el ensayo de heladicidad (ilustración 10), las probetas impregnadas con Tegovakon + Tegosivin perdieron peso en los 10 primeros ciclos.

12.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La piedra analizada de “La Virgen del Campo” es una arenisca formada casi en su totalidad por cuarzo. En menor proporción contiene feldespatos, moscovita, clorita, biotita, interestratificados de esmectitas, óxidos de hierro y opacos dispersos. Los filosilicatos y óxidos de hierro se disponen en láminas que confieren a la roca textura heterogénea. Dicho cambio textural merma la resistencia de la roca, ya que los agentes de erosión aprovechan estos planos débiles para fisurarla y romperla. De esta forma, los desperfectos mayoritarios de la arenisca muestreada son placas descamadas, fisuras de gran extensión paralelas a la laminación sedimentaria y placas totalmente despegadas del sustrato.

La porosidad de la arenisca es muy baja, aproximadamente del 3%. Es porosidad intergranular y se localiza en las bandas donde se acumulan los minerales de la arcilla. La mayor parte de la porosidad corresponde a microconductos con radios de acceso comprendidos entre 0,003 y 0,1 micras. Respecto a su comportamiento hídrico, en 48 horas captó el 82% del total del agua absorbida y en 24 horas liberó el 98% del total del agua evaporada. El tanto por ciento medio de agua absorbida hasta su saturación es del 1,30% y el porcentaje medio de agua evaporada hasta conseguir el equilibrio con la atmósfera del 1,13%. La cantidad media de

agua que queda atrapada en su sistema poroso es del 13% respecto al total del agua absorbida. Agua que es susceptible de congelarse o provocar reacciones químicas.

La piedra seleccionada en “La Era del Peladillo” es una caliza negra, compacta y de grano muy fino. Está formada casi en su totalidad por matriz de calcita micrítica, en la que hay intercalados niveles detríticos constituidos por granos de cuarzo, filosilicatos y fragmentos fósiles poco cementados. Dichos niveles son discontinuidades que comprometen la resistencia futura de la piedra. Por otra parte, las fisuras preexistentes en la roca, perpendiculares a la estratificación, provocan la ruptura de la misma por dichos planos.

La porosidad de la caliza es muy baja, del 1,5%. Es porosidad intragranular, intergranular y de fractura. El 85% de los poros tiene tamaño inferior a 2,5 micras. La cantidad media de agua que absorbe hasta su saturación es del 1% y el tanto por ciento que evapora hasta alcanzar el equilibrio con la atmósfera del 0,9%. En 48 horas capta el 87% del agua que es capaz de absorber y en ese mismo intervalo de tiempo libera el 100% del total del agua que puede evaporar. La cantidad de agua que no puede liberar al alcanzar el equilibrio con la atmósfera es del 14%.

Los resultados de las pruebas con los tratamientos de reparación, consolidación y protección indican que la resistencia de las piedras, ya sea la arenisca o la caliza, mejora cuando se reparan las mismas cegando y sellando sus fisuras.

Para la arenisca o caliza solo reparada y para los dos ensayos (termohídrico y de heladicidad) la pérdida media de peso no ha superado el 0,10%. Únicamente el efecto de la humedad-sequedad provocó en una probeta de arenisca una fisura de gran extensión a favor de la laminación y la apertura de nuevas fisuras paralelas a ese plano.

Para las piedras reparadas, consolidadas e hidrofugadas la pérdida media de peso no ha sido superior al 0,22%. La acción erosiva de la humedad-sequedad originó en una muestra de arenisca descamación poco intensa y en otra dos fisuras paralelas a la laminación; y en una probeta de caliza una fisura a favor de la laminación y pequeñas fisuras en el sellado de una junta. El efecto del hielo-deshielo ocasionó en el último ciclo, dos fisuras perpendiculares a la estratificación en una muestra caliza y una fisura a favor de la laminación en una probeta de arenisca.

La luz ultravioleta no modificó las superficies de las muestras. No se observaron cambios de coloración ni envejecimiento de los productos consolidantes e hidrofugantes.

Los productos utilizados para reparar la piedra (resinas de pegado y relleno de fisuras y mortero de sellado) no registraron alteración bajo el efecto prolongado de la humedad-sequedad y del hielo-deshielo. Únicamente en una muestra de caliza se formaron en el último ciclo pequeñas fisuras en el sellado de una junta.

Conclusiones

Dado que el desperfecto mayoritario en la piedra de los yacimientos son las fisuras, el primer paso para su conservación es cegarlas y sellarlas. Así se impide que el agua penetre y circule por el interior de la roca; evitando las consecuencias negativas que supone: 1) la transformación del agua a hielo, 2) el aumento de volumen que experimentan ciertos minerales de la arcilla capaces de hincharse con agua, 3) la disolución de ciertos componentes minerales, y 4) el asentamiento de plantas superiores. El resultado satisfactorio a los ensayos de laboratorio de las probetas no impregnadas con los productos, pero si rellenas y selladas sus fisuras, justifica esta forma de proceder.

No hay gran diferencia en el resultado del tratamiento aplicado a las piedras, por lo tanto cualquiera es compatible con las mismas, siempre y cuando se eliminen las vías de fácil acceso al agua, se proteja el yacimiento contra la agresión física y se evite el paso del hombre por dichos afloramientos.

Agradecimientos

Al Instituto de Estudios Riojanos por la "Ayuda a la Investigación" concedida durante los años 1994 y 95 para investigar la alteración y conservación de los yacimientos de icnitas de dinosaurio de La Rioja.

REFERENCIAS

- Cámara, P., Durantez, D., Alcalde, A., Cabra, P., Comas, M.J., Goy, A., Fonollá, F., Granados, L., 1881. *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. nº 280. ENCISO I.G.M.E. Hoja y memoria.*
- Caro, S., Pavía, S., González, L.I., 1997. *Práctica de conservación: Estudio previo y restauración. Portada de la iglesia de San Bartolomé (Logroño).* Ed. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de La Rioja. 150p.
- Casanovas, M.L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1989. Huellas de dinosaurio de La Rioja. Yacimientos de La Virgen del Campo, La Senoba y Valdecevilla. Instituto de Estudios Riojanos. *Cienc. Tierra* (12), 190p.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1992. Tracks of a herd of webbed ornithopods and other footprints found in the same site (Igea, La Rioja, Spain). *Revue de Paléobiologie* (v.s.7), 29-36.

- Casanovas, M.L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Torcida, F., 1993. Huellas de dinosaurios palmeados y de terópodos de la "Era del Peladillo" Igea. La Rioja. *Zubía* (11), 11-53.
- Casanovas, M.L., Ezquerria, M., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1993. Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y La Era del Peladillo 2. (La Rioja, España). *Zubía* (5), 96-133.
- Casanovas, M.L., Ezquerria, R., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1995. Huellas de dinosaurios en la Era del Peladillo 3 (La Rioja, España). Primera nota. *Zubía* (13), 83-101.
- Casanovas, M.L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1995. La Era del Peladillo 4 (La Rioja. España). *Ciencias de la Tierra* (18), 45-52.
- Durantez, O., Solé, J., Castiella, J., Villalobos, L., Ramírez, J., Rivas, P., Del Pan, T., Chacón, J., 1982. *Mapa Geológico de España E. 1:50.000. nº 281. CERVERA DEL RIO ALHAMA* I.G.M.E. Hoja y memoria.
- Mata Campo, M.P., 1997. Caracterización y evolución mineralógica de la cuenca mesozoica de Cameros (Soria-La Rioja). Tesis doctoral. Inst. de Estudios Riojanos, Logroño (inédito).
- Melendez, A., Pérez-Lorente, F., 1996. Comportamiento gregario aparente de dinosaurios condicionado por una deformación sinsedimentaria (Igea, La Rioja, España). *Est. Geol.* (32), 77-82.
- Pérez-Lorente, F., Fernández, A., Uruñuela, L., 1986. *Pisadas fósiles de dinosaurios (Algunos ejemplos de Enciso)*. Ed. Gobierno de La Rioja-CEIP, 35p.
- Pérez-Lorente, F., 1990. Excavaciones sobre icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja). *Estrato* (2), 47-50.
- Pérez-Lorente, F., 1991. Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla. *Estrato* (3), 9-11.
- Pérez-Lorente, F., 1992. Trabajos sobre icnitas en Igea, Munilla y Enciso. *Estrato* (4), 59-62.
- Pérez-Lorente, F., 1993. Dinosaurios plantígrados en La Rioja. *Zubía* (5), 189-228.
- Pérez-Lorente, F., Caro, S., 1996. Inventario paleontológico de la Comunidad Autónoma de La Rioja, en el entorno de los municipios de Enciso, Igea, Munilla y Préjano. Consejería de Educación, Cultura, Juventud y Deportes del Gobierno de La Rioja (inédito).