

INTERVENCIONES EN LA CONSERVACIÓN DE LAS HUELLAS DE DINOSAURIO DE LA RIOJA (ESPAÑA)

Caro Calatayud, S.¹, Pavía Santamaría, S.² y Pérez-Lorente, F.¹

RESUMEN

En la Rioja, la restauración y conservación de los yacimientos con huellas de dinosaurio se lleva a cabo utilizando técnicas y métodos de trabajo establecidos por la comunidad científica; lo que quiere decir que previamente se hacen los estudios, análisis y ensayos pertinentes tanto para averiguar las causas que generan la destrucción de las piedras como para decidir los productos que se utilizarán en su restauración.

En este artículo se comparan los resultados obtenidos de los estudios geológicos previos a la restauración que se hicieron en varios afloramientos de La Rioja: “Peñaortillo” en Munilla; “La Era del Peladillo” en Igea; “La Virgen del Campo” en Enciso y “San Prudencio” en Villoslada de Cameros. El método de trabajo, que fue el mismo para los 4 afloramientos, contempló dos fases claramente diferenciadas y ordenadas en el tiempo. La primera, llamada fase previa de estudio en el laboratorio, constituye la base para planificar como será la intervención en la piedra que contiene las huellas, y que constituye la segunda fase. Esta forma de proceder se lleva a cabo para cada uno de los yacimientos ya que la heterogeneidad de la roca impide generalizar los resultados al resto de los afloramientos.

Palabras clave: Piedra, alteración, microscopía, porosidad, restauración, conservación, resinas, mortero, huellas de dinosaurio, La Rioja.

Restoration of dinosaur footprints outcrops in La Rioja is carried out using the methods and techniques established by the scientific community. This means that a number of studies, tests and analyses are completed before any decision is made on the type of restoration products to be used for restoration. Preliminary tests and analysis are carried out in order to assess the causes of the decay of the outcrops as well as the most suitable products to be used for their restoration.

This paper is a comparative study of the results obtained from a number of outcrops in La Rioja. These are: “Peñaortillo” en Munilla; “La Era del Peladillo” en Igea; “La Virgen del Campo” en Enciso y “San Prudencio” en Villoslada de Cameros. The working method was the same for all four outcrops and included two independent phases. The first phase takes place in the laboratory, and sets the basis to design and plan the subsequent restoration work, which in turn constitutes the second phase. This methodical procedure needs to take place on each outcrop due to the variability of the stone. The stone variability prevents from extrapolating the laboratory results, and therefore the restoration strategy, from one outcrop to another.

Key words: Stone, weathering, microscopy, porosity, restoration, conservation, resins, mortar, dinosaur footprint sites, La Rioja.

¹ Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja. C/Portillo nº3. 26586 ENCISO (La Rioja, España).

² Dept of Civil, Structural & Environmental Engineering. Museum Building. Trinity College. Dublin 2

0. INTRODUCCIÓN

Las huellas de dinosaurio son un bien patrimonial, por eso hay que utilizar formas de proceder correctas a la hora de conservarlas. Hay que conocer perfectamente el material en el que se va a intervenir y asegurarse de la eficacia de los productos de reparación y conservación, ya que hay productos que en vez de beneficiar a la roca, agravan y aceleran más su destrucción. Esta es la filosofía que se utiliza en La Rioja en la restauración de los yacimientos con huellas de dinosaurio. El procedimiento se basa: en los estudios previos y en la restauración del afloramiento mediante el sistema de campos de trabajo, siempre bajo la supervisión del equipo técnico especializado de la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja.

En La Rioja hay cerca de 8.000 huellas de dinosaurio inventariadas y clasificadas (Pérez-Lorente, F., 2001). La cifra aumentaría si se excavasen más yacimientos, algo que desde el Gobierno de La Rioja se ha desestimado puesto que urge primero conservar los afloramientos paleoicnológicos que están a la intemperie.

Los yacimientos se están erosionando. La mayoría se encuentran expuestos a la acción destructora de los agentes atmosféricos y biológicos. El agua, bien en estado sólido o líquido, las oscilaciones térmicas intensas y las raíces de las plantas superiores se encargan de modificar la forma de las rocas que contienen dichas huellas. Estos agentes provocan que la piedra se rompa en fragmentos convirtiendo la superficie del afloramiento en un conjunto de fragmentos, placas y escamas de piedra que se despegan y desprenden, lo que se traduce, en mayor o menor grado, en la pérdida de las huellas de dinosaurio.

La restauración de los afloramientos se lleva a cabo en campos de trabajo organizados por el Gobierno de La Rioja y la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja a los que asisten estudiantes universitarios. Un equipo técnico se encarga de enseñar como se procede a la limpieza y a la reparación de la roca del afloramiento ya que cada desperfecto de la roca o forma de alteración se restaura utilizando productos y métodos de trabajo específicos.

La forma de actuar es similar a como se procede en la restauración de un edificio monumental o resto arqueológico, aunque con las peculiaridades de un yacimiento geológico.

1. OBJETIVOS Y MÉTODO

El objetivo es establecer un plan de actuación en el yacimiento basado en estudios previos utilizando métodos y formas de proceder correctas avaladas por la comunidad científica. Se trata de conocer de antemano tanto las características de la roca como su respuesta cuando se le incorporan productos bien para repararla, bien para protegerla o para aumentar su grado de cohesión.

El método de trabajo que se sigue en La Rioja en la restauración de los yacimientos con huellas de dinosaurio consiste en utilizar técnicas de análisis cuyo fin es caracterizar perfectamente la piedra. Para ello y para cada uno de los yacimientos seleccionados se estudió, tanto la roca sana como alterada, con técnicas macroscópicas (inspección visual, lupa de mano y estereomicroscopio), microscópicas (microscopio petrográfico de polarización), difracción de rayos-X y porosimetría de inyección de mercurio. A continuación se hizo el estudio microclimático y a partir de él se seleccionaron aquellos agentes que más influencia tienen en la destrucción de estas piedras. Ello permitió programar los ensayos de envejecimiento artificial acelerado para averiguar la resistencia de las mismas a la acción erosiva del hielo-deshielo, humedad-sequedad y cambios de temperatura.

Conocidos los puntos débiles de la roca, por donde se rompe, y la forma en que lo hace se planteó su reparación en el laboratorio. Cada desperfecto o forma de alteración se restaura utilizando productos y métodos de trabajo específicos. El proceso comienza por la limpieza, tarea básica y laboriosa sobre todo cuando hay que extraer las raíces de las plantas que se asientan en las grietas y fisuras del estrato. Las grietas una vez

limpias hay que cegarlas o rellenarlas para evitar que se asiente la vegetación y que penetre el agua en el interior de la roca. Para ello se utilizó resina y un mortero de restauración. Los fragmentos, placas y escamas de piedra se colocan en su posición original utilizando para fijarlos al sustrato resinas o lechadas según fuese el caso. La actuación se complica cuando hay que unir los fragmentos como si se tratase de un rompecabezas.

2. MATERIALES Y ENSAYOS

Los materiales objeto de estudio son las rocas que forman 4 yacimientos con huellas de dinosaurio de La Rioja: “Peñaportillo” en el término municipal de Munilla.

“La Virgen del Campo” en el de Enciso.

“La Era del Peladillo” en el de Igea.

“San Prudencio” en Villoslada de Cameros.

De dichos yacimientos se tomaron muestras de piedra para ensayarlas y analizarlas en el laboratorio. Peñaportillo, La Virgen del Campo y San Prudencio están formados por cuarzoarenita y La Era del Peladillo por piedra caliza. La edad geológica de las rocas es Cretácico inferior (Aptiense, excepto para San Prudencio cuya edad es Berriasiense). Son materiales de facies Weald depositados hace aproximadamente entre 110 y 120 millones de años. Peñaportillo (Hernández et al. 1990), Virgen del Campo (Cámara Rupelo et al. 1981) y La Era del Peladillo (Durantez Romero et al. 1982), pertenecen al Grupo Enciso constituido por materiales detríticos con calizas y margas interestratificadas. San Prudencio pertenece al Grupo Oncala de Tischer compuesto por areniscas con esporádicos niveles calcáreos (cf. Camara et al. 1982).

En la siguiente tabla (tabla 1) se indican los ensayos y estudios efectuados en las rocas de los afloramientos a que se refiere este artículo (Caro Calatayud et al. 1998; 2000 y 2001 y Caro Calatayud et al. 2001).

TABLA 1. ENSAYOS REALIZADOS EN CADA UNO DE LOS AFLORAMIENTOS.

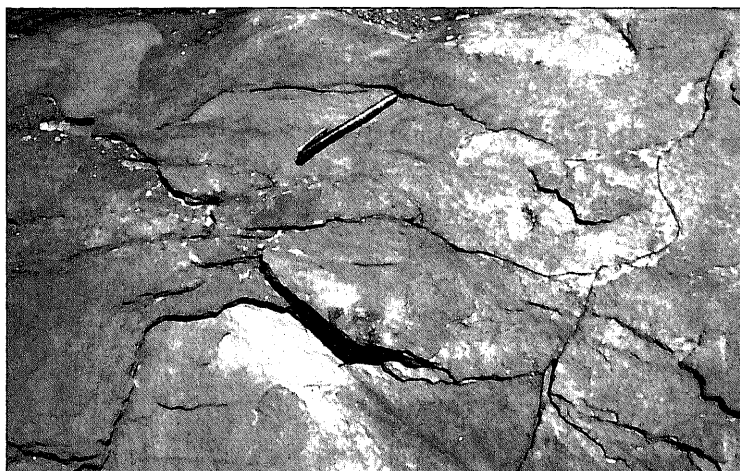
ENSAYOS	YACIMIENTOS DE LA RIOJA			
	PEÑAPORTILLO (Munilla)	LA VIRGEN DEL CAMPO (Enciso)	LA ERA DEL PELADILLO (Igea)	SAN PRUDENCIO (Villoslada de Cameros)
Estudio macroscópico de la alteración	+	+	+	+
Estudio petrográfico	+	+	+	+
Estudio mineralógico (difracción de rayos-X)	+	+	+	+
Porosidad	+	+	+	+
Absorción-desorción libre de agua	+	+	+	+
Envejecimiento artificial acelerado de la roca: ensayos termohídrico y de heladicidad	+	+	+	+
Envejecimiento artificial acelerado en la misma roca reparada: ensayos termohídrico y de heladicidad.	+	+	+	
Envejecimiento artificial acelerado en roca reparada e hidrofugada: ensayos termohídrico, de heladicidad y a la luz ultravioleta	+	+	+	

3. RESULTADOS

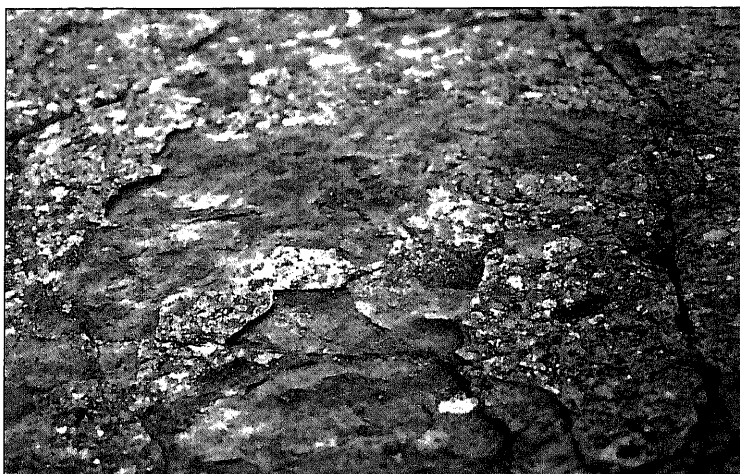
3.1 ESTUDIO MACROSCÓPICO DE LA ALTERACIÓN

Tras la inspección detallada de los yacimientos se clasificaron los desperfectos resultando que los más comunes y que se repiten en los cuatro casos son:

- **Descascarillado de la capa:** provocado por el desprendimiento de la piedra en el yacimiento en forma de fragmentos, placas y escamas. La roca se desprende de su base en forma de láminas que dependiendo de su grosor se clasifican como placas o escamas de piedra (Ordaz et al. 1988). Generalmente se trata de placas que se desarrollan paralelas a la superficie, es decir a la laminación sedimentaria. Tienen varios centímetros de grosor, extensión considerable y en ellas hay fisuras, en el contacto entre la lámina y el sustrato (fotografías 1 y 2).



Fotografía 1. Yacimiento de La Virgen del Campo. Desplacación de la roca.



Fotografía 2. Yacimiento de Peñaportillo. Descamación de la superficie del afloramiento.

- **Cuarreamiento de la capa.** Se produce (fotografía 3), porque la roca se rompe a partir de fisuras preexistentes que son perpendiculares o subperpendiculares a la estratificación y que son defectos inherentes a la propia piedra.

- **Grietas y fisuras.** En los yacimientos hay por tanto dos tipos de rupturas: Las que son perpendiculares, que provocan el cuarreamiento de la superficie, y las que son paralelas al estrato que originan la formación de placas y escamas. Estas fisuras son muy peligrosas e inducen a muchos destrozos en el yacimiento por dos motivos:

Porque facilitan la entrada y circulación del agua por el interior de la piedra.

Porque en ellas crecen plantas superiores. Su presencia es otro indicador de alteración. Las raíces, que aprovechan las fisuras o discontinuidades, penetran hacia el interior de la piedra y finalmente provocan que se despeguen y desprendan fragmentos de roca (fotografía 4).

La consecuencia final es la rotura y desprendimiento de fragmentos de roca; con lo que se exponen nuevas superficies al efecto de la intemperie.

- *Lavado de la capa.* Provocado porque el agua al no estar canalizada circula por la superficie del estrato originando zonas de lavado y por tanto de desgaste.

- *Desgaste y rotura de la capa superficial* como consecuencia del turismo. Son superficies muy frágiles ya que en muchos casos hay escamas y, o placas que están parcialmente despegadas del sustrato y el continuo deambular de personas provoca el desgaste mecánico y finalmente la rotura de estas láminas de roca.



Fotografía 3. Yacimiento de La Era del Peladillo. Cuarteamiento de la capa.

Los resultados del estudio macroscópico de la alteración permitieron establecer zonas donde la intervención era urgente ya que el grado de destrucción de la piedra era alarmante; como en “La Era del Peladillo” donde la roca está intensamente cuarteada o en “La Virgen del Campo”, donde la piedra está muy exfoliada.

3.2 ESTUDIO MINERALÓGICO Y TEXTURAL

Los minerales que forman las rocas de los afloramientos (tabla 2) se han identificado y cuantificado con el microscopio petrográfico de polarización y con la técnica de difracción de rayos-X (métodos del polvo cristalino y agregados orientados).

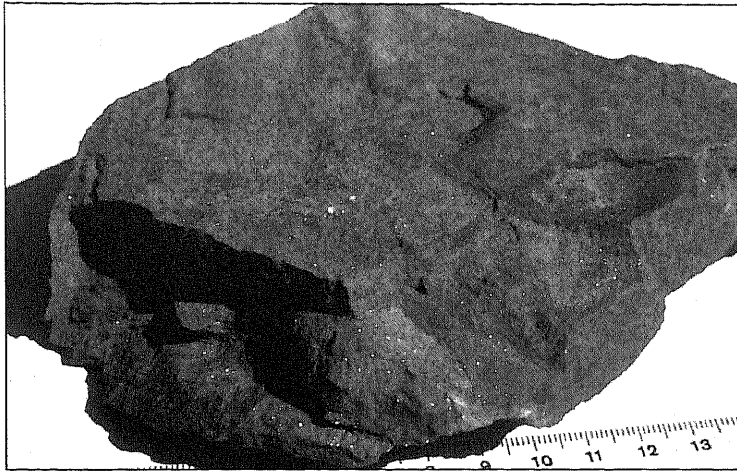
San Prudencio, Peñaportillo y Virgen del Campo están constituidos por arenisca cuarzosa o cuarzoarenita. Los minerales mayoritarios que forman el esqueleto de la roca son granos detríticos de cuarzo y feldspatos, y los minerales subordinados moscovita y biotita detríticas y clorita de neoformación. En el esqueleto hay también agregados laminares donde alternan láminas de clorita-moscovita y, o biotita. Los minerales accesorios son turmalina, circón, esfena y rutilo. La matriz la forman moscovita, clorita y cuarzo. Como cemento hay hematites, sílice y clorita.

El yacimiento de La Era del Peladillo está constituido por caliza formada en un 95% por una matriz de cristales de micrita que engloba microfósiles, granos de cuarzo y filosilicatos. Hay cemento síliceo y esparítico.

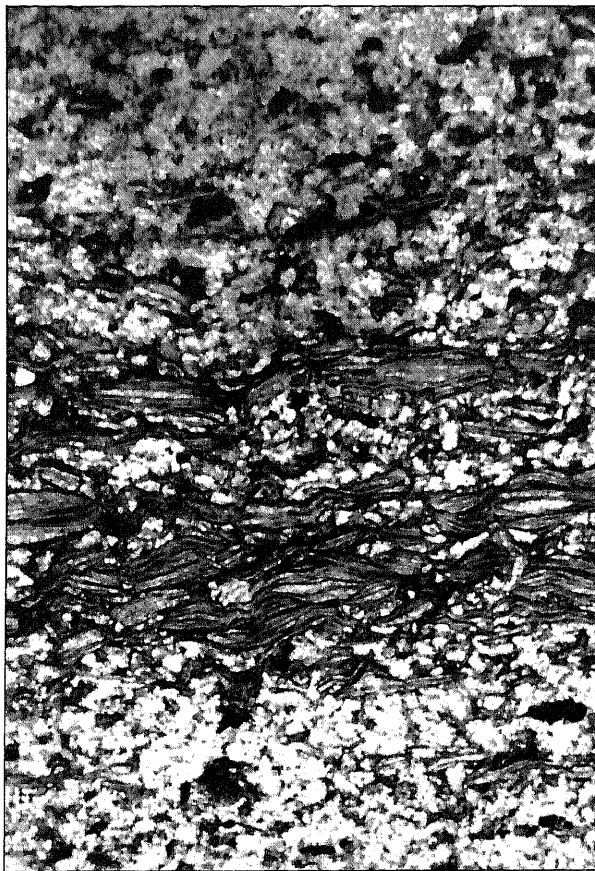
Con la técnica de los agregados orientados se han determinado mosco-



Fotografía 4. Yacimiento de La Era del Peladillo. Plantas superiores que crecen por las grietas del estrato y originan su ruptura.



Fotografía 5. La Virgen del Campo. Aspecto de una muestra de mano de arenisca cuarzosa. Textura heterogénea: la roca está dividida en placas y escamas.



Fotografía 6. La Virgen del Campo. La misma muestra de la fotografía 5 vista al microscopio petrográfico con luz paralela. Alternan zonas formadas casi exclusivamente por cuarzo con bandas en las que hay filossilicatos y óxidos de hierro. En el contacto, donde cambia la composición de los minerales, se localizan las discontinuidades.

vita, biotita, clorita e interstratificados de clorita-esmectitas (tabla 2). Los interstratificados están en mínimas cantidades.

Los estudios petrográficos muestran la textura heterogénea de las rocas y la presencia de discontinuidades. Características intrínsecas a las rocas que condicionan no solo la ruptura de las piedras sino la forma en que se rompen.

La laminación es evidente no solo a escala macroscópica (fotografía 5) sino también a escala microscópica (fotografía 6) y está definida por acumulaciones de micas, hematites, minerales de la arcilla y opacos.

Las láminas de mica, cuyo tamaño de grano es hasta 5 veces superior al diámetro medio de los granos de cuarzo, están acumuladas y orientadas definiendo la laminación sedimentaria. La heterogeneidad textural caracteriza tanto a la caliza como a la arenisca.

Microscópicamente, tanto la arenisca como la caliza, son rocas muy densas y compactas. La porosidad detectada es sobre todo de fisura, paralela a la laminación sedimentaria. En menor proporción existen microfisuras perpendiculares a dicha laminación.

Además se observan microfisuración y oxidación de forma puntual.

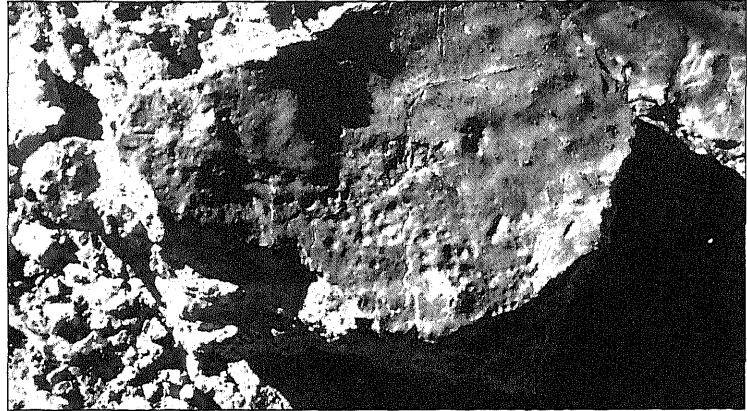
Con este estudio se ha averiguado porqué la piedra se erosiona de la forma anteriormente descrita. Se han detectado cuales son los puntos débiles de la roca, resultado muy importante puesto que los agentes de erosión aprovechan estos puntos débiles para destrozarla y generar los desperfectos.

La fotografía 7 corresponde a una muestra de mano recogida en el yacimiento de La Era del Peladillo, la cual está dividida en láminas. Los estudios petrográficos revelan la notable heterogeneidad textural de la roca y donde se localizan las discontinuidades (fotografía 8) que bajo la acción de los agentes de erosión darán lugar a las placas y escamas.

3.3 ESTUDIOS FÍSICOS: POROSIDAD Y ABSORCIÓN-DESORCIÓN LIBRE DE AGUA.

La porosidad de las rocas que contienen las huellas de dinosaurio es muy baja (tabla 3). En rocas sanas en ningún caso superan el 3%, ya sea caliza o arenisca. Se trata de microporos cuyo radio de acceso es inferior a 2,5 micras. La cantidad de agua que absorben tanto la caliza como la arenisca es inferior al 1,5%, como corresponde a la porosidad de la roca. Son rocas bastante impermeables. No obstante el agua que se infiltra y circula por los conductos y microporos de la roca es muy difícil de evaporar y siempre hay un porcentaje que queda retenida en su estructura interna porosa (entre el 10 y el 15% respecto al total del agua absorbida).

En rocas alteradas la porosidad efectiva llega a ser hasta del 6%. En estos casos se trata mayoritariamente de porosidad de fisuración, que se desarrolla tanto paralela como oblicua a la estratificación de la roca.

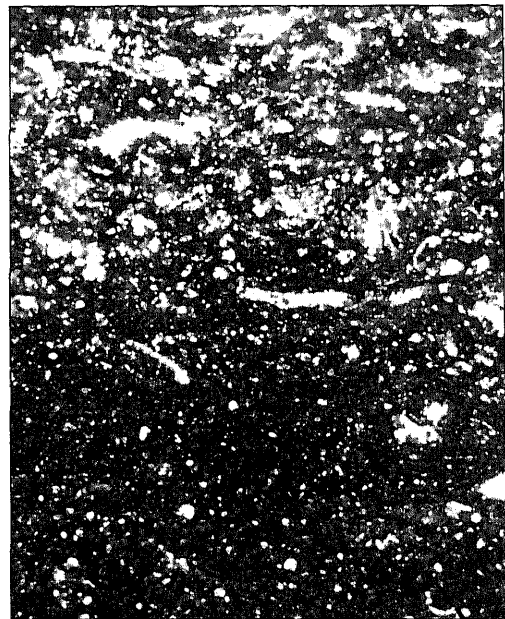


Fotografía 7. La Era del Peladillo. Aspecto macroscópico de una muestra de caliza. La roca está dividida en láminas y tiene fisuras perpendiculares a la estratificación.

3.4 ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO

Las muestras recogidas en los yacimientos se sometieron a los ensayos acelerados ya señalados para conocer su resistencia futura a la acción de las inclemencias atmosféricas [NORMATIVA INTERNACIONAL RILEM (1980)]. Los daños fueron (tabla nº 4): fisuras nuevas o acentuación de las que ya existían en la piedra y descamación y desplazados paralelos a la estratificación (fotografías 9 y 10). La consecuencia fue la ruptura de la roca en láminas o en fragmentos. Son las mismas formas de alteración identificadas en los yacimientos y que tienen como origen común las discontinuidades de la piedra. Además como se deduce de estos ensayos y del estudio macroscópico y microscópico de la alteración, en los casos que nos ocupan hay dos agentes que influyen mucho en la destrucción de las piedras: el agua; bien sea en estado líquido o sólido, y las raíces de las plantas que crecen por las grietas del estrato. El daño originado por las raíces se debe:

- 1- A su crecimiento.
- 2- Al agua que retienen y que sufre las consecuencias del hielo-deshielo.



Fotografía 8. La Era del Peladillo. La misma muestra vista al microscopio petrográfico con luz polarizada. Bandas formadas por filosilicatos, cuarzo y fragmentos fósiles intercaladas en la masa de calcita micrítica que constituye la mayor parte de la roca.

3- A las sustancias que segregan (Valentín, 1990).

Esas situaciones originan por una parte, que se abran nuevas fisuras o que se amplíen las existentes y por otra, que se rompa y disgregue la roca.

El daño originado por el agua se debe:

1- Al aumento de volumen que supone la transformación de agua líquida a hielo.

2- Al aumento de volumen que experimentan ciertos minerales de la arcilla capaces de hincharse en agua, en este caso los interstratificados de clorita/esmectitas identificadas en La Virgen del Campo y La Era del Peladillo.

3- La disolución de ciertos componentes minerales.

TABLA 2.
ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LAS ROCAS DE LOS YACIMIENTOS PALEOICNOLÓGICOS

	YACIMIENTOS DE LA RIOJA	COMPOSICIÓN Y MINERALOGÍA			
		Esqueleto % de minerales mayoritarios y subordinados	Matriz	Cemento	Micro alteración
ARENISCA CUARZOSA	<i>SAN PRUDENCIO</i>	Cuarzo (80-85%) Feldespato (7-10%) Moscovita, biotita, clorita (6%)	<5%	Hematites	Oxidación en zonas restringidas y microfisuración
	<i>PEÑAPORTILLO</i>	Cuarzo (25-90%)* Feldespato (10%) Moscovita, biotita y clorita (8%)	<5%	Oxidos de hierro (hematites) en microfisuras y mezclado con la matriz	Microfisuración Oxidación
	<i>VIRGEN DEL CAMPO</i>	Cuarzo (90-95%), Feldespato (5%), Moscovita, biotita, clorita e interstratificados de esmectitas (9%)	<5%	Sílice Clorita Hematites	Microfisuración Oxidación
CALIZA	<i>LA ERA DEL PELADILLO</i>	Fósiles, cuarzo y Filosilicatos (moscovita, clorita, biotita e interstratificados de esmectitas) (<5%)	Micrítica (95%)	Sílice Esparita	Microfisuración Disolución Oxidación

* Según predominen en las muestras niveles laminados o niveles masivos.

TABLA 3.
POROSIDAD EFECTIVA DE LAS ROCAS DE LOS YACIMIENTOS PALEOICNOLÓGICOS DE LA RIOJA.

	POROSIDAD EFECTIVA DE LOS YACIMIENTOS			
	PEÑAPORTILLO	LA VIRGEN DEL CAMPO	SAN PRUDENCIO	LA ERA DEL PELADILLO
Roca compacta	2,50%	2,70%	1,14%	1%
Roca laminada	4,30%	6%	5,36%	5,70%

TABLA 4. PÉRDIDA DE PESO Y DETERIOROS ORIGINADOS POR LA ACIÓN DE CICLOS DE HUMEDAD-SEQUEDAZ Y HIELO-DESHIELO.

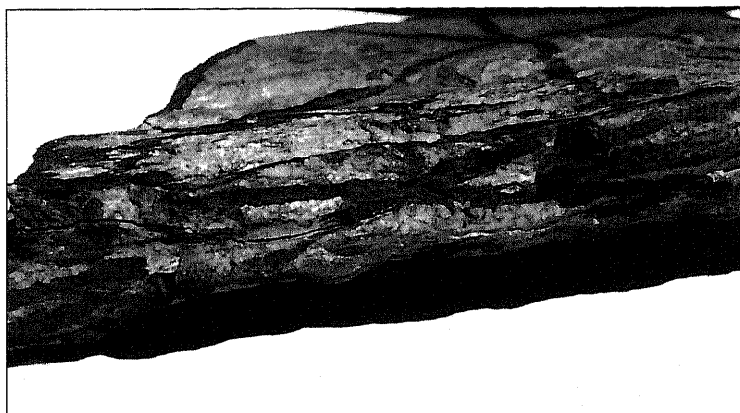
	<i>Ensayos acelerados en muestras de los yacimientos.</i>		
	PEÑAPORTILLO	LA VIRGEN DEL CAMPO	LA ERA DEL PELADILLO
Pérdida de peso	Termohídrico: -0,10% Heladicidad: -0,04%	Termohídrico: -0,10% Heladicidad: -0,04%	Termohídrico: -0,01% Heladicidad: -0,06%
Formas de alteración	Oxidación de la superficie expuesta	Descamación poco intensa y fisuras paralelas a la laminación	Ruptura en varios trozos y fisuras

3.5 RESTAURACIÓN DE LA ROCA.

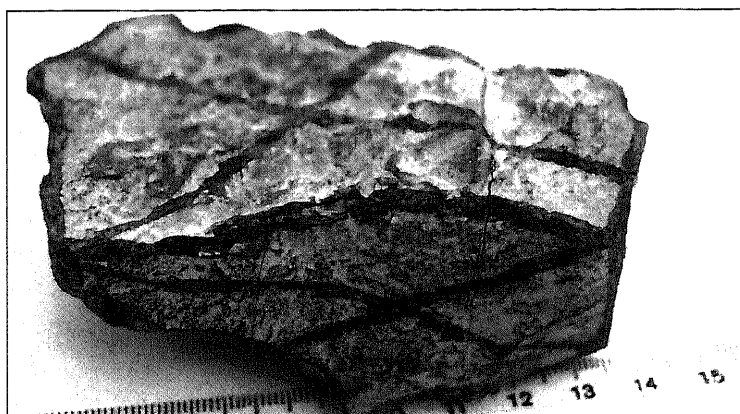
De los estudios previos se deduce que para evitar la destrucción de las huellas hay que reparar la roca adoptando medidas que eviten por una parte que el agua entre y circule por su interior y por otra que se asienten las raíces de las plantas superiores. Por ello hay que comenzar primero por las fisuras.

El primer paso consiste en limpiar bien todas las grietas y fisuras, eliminando las raíces y extrayendo la tierra y el material suelto. A continuación rellenar esas fisuras y sellarlas con productos comerciales. Estas actuaciones precisan incorporar sustancias extrañas a la piedra y por tanto es importante ensayarlos previamente, puesto que ha priori no se conoce el comportamiento del sistema piedra-producto. En la roca de los tres afloramientos se ensayó una resina epoxídica (FETADIT) para rellenar las grietas y un mortero vinílico para sellarlas. Las grietas, una vez perfectamente limpias, se llenaron con resina hasta colmarlas (fotografía 11). La forma de proceder es la misma que se utiliza por ejemplo en la restauración de un monumento.

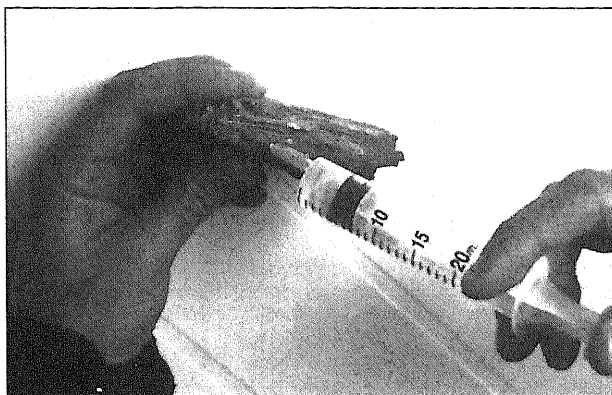
Una vez que las fisuras están llenas se procede a sellarlas (fotografía 12). Para ello se ensayaron dos morteros que se fabricaron mezclando, para un tipo, sílice muy fina con la resina



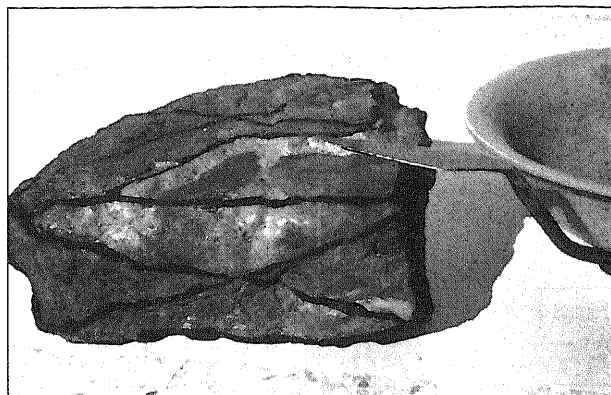
Fotografía 9. Probeta de arenisca cuarzosa no reparada de Peñaportillo. Los ciclos sucesivos de humedad-sequedad provocaron la apertura de fisuras en muestras con laminación acentuada.



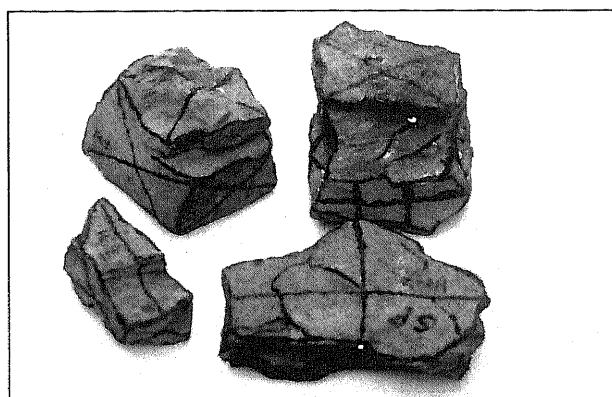
Fotografía 10. Probeta de caliza no reparada de La Era del Peladillo. Los ciclos sucesivos de hielo-deshielo originaron fisuras perpendiculares a la estratificación.



Fotografía 11. Reparación de las probetas en el laboratorio. Relleno de las grietas con resina inyectada con una jeringuilla.



Fotografía 12. Reparación de las probetas en el laboratorio. Sellado de las fisuras una vez que están colmadas de resina.



Fotografía 13. Reparación de las probetas en el laboratorio. Conjunto de muestras reparadas: fragmentos pegados con resina epoxídica y sellado posterior de las juntas.



Fotografía 14. Muestras de Peñaportillo restauradas y finalizados los ensayos acelerados. Buen comportamiento de los sistemas piedra-producto. Los ciclos de hielo-deshielo no provocaron daños ni en la roca ni en las sustancias incorporadas en su reparación.

vinílica (Mowilith 50) y para el otro tipo, mezclando sílice muy fina con resina epoxídica. En ambos casos se utilizó como disolvente acetona. Es un proceso muy laborioso. Cuando las fisuras son tan estrechas que ni siquiera la resina penetra por ellas únicamente se sellan con el mortero.

Otro de los desperfectos en las huellas es el desprendimiento de placas o escamas de piedra. Para evitar perder este material se recuperaron los fragmentos pegándolos con una resina epoxídica. Previamente se limpiaron cuidadosamente las dos superficies que han de estar en contacto. A continuación se aplicó resina en ambas caras y se cuidó su encaje perfecto. Por último se sellaron las juntas (fotografía 13). En algunos casos además de pegar hubo que coser las piedras.

3.6 DURABILIDAD FUTURA DE LAS PIEDRAS RESTAURADAS.

Una vez reparadas las muestras en el laboratorio, se sometieron a los ensayos de envejecimiento artificial acelerado para averiguar la respuesta futura de la piedra y la eficacia de los productos utilizados. La tabla 5 resume la pérdida de peso (datos medios) y los desperfectos originados en las muestras por la acción erosiva del hielo y la humedad-sequedad.

Los cambios de humedad, de temperatura y la acción del hielo-deshielo no han modificado la forma de las muestras. No se detectaron desperfectos ni en la piedra ni en los productos. Se conservaron intactos las resinas y el mortero utilizado en su restauración (fotografía 14).

TABLA 5. PERDIDA MEDIA DE PESO Y DAÑOS EN LA ROCA REPARADA POR LA ACCIÓN DEL HIELO, DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA Y DE LA HUMEDAD-SEQUEDAD

	<i>Ensayos acelerados en muestras reparadas de los yacimientos.</i>		
	PEÑAPORTILLO	LA VIRGEN DEL CAMPO	LA ERA DEL PELADILLO
Pérdida media de peso	Termohídrico: -0,04% Heladicidad: -0,02%	Termohídrico: -0,04% Heladicidad: -0,02%	Termohídrico: -0,01% Heladicidad: -0,16%
Desperfectos	Oxidación	-	-

3.7 DURABILIDAD FUTURA DE LAS PIEDRAS RESTAURADAS E HIDROFUGADAS.

También se quiso conocer si la durabilidad de las rocas mejoraba al aplicarle un hidrofugante (Tegosivin HL 100). En la tabla 6 se resume la pérdida de peso y los desperfectos originados en las muestras al someterlas a ciclos sucesivos de hielo-deshielo, humedad-sequedad y luz ultravioleta.

Los resultados indican que el hidrofugante ensayado es compatible con las rocas analizadas. No se produjeron desperfectos ni envejecimiento del producto. El porcentaje de hidrofugante que penetra al interior de la roca es muy bajo debido a la escasa porosidad y a que las fisuras están selladas.

Únicamente en dos muestras en las que no se limpiaron bien las fisuras y por tanto el relleno y sellado no fueron correctos se abrieron de nuevo las discontinuidades tanto por acción del hielo como por el efecto de la humedad-sequedad.

La luz ultravioleta no produjo en ningún caso envejecimiento del hidrofugante aplicado.

TABLA 6. PERDIDA MEDIA DE PESO Y DESPERFECTOS EN LA ROCA REPARADA E HIDROFUGADA POR LA ACCIÓN DEL HIELO Y DE LA HUMEDAD-SEQUEDAD.

	<i>Ensayos acelerados en muestras reparadas e hidrofugadas de los yacimientos.</i>		
	PEÑAPORTILLO	LA VIRGEN DEL CAMPO	LA ERA DEL PELADILLO
Pérdida de masa	Termohídrico: -0,06% Heladicidad: -0,13%	Termohídrico: -0,08% Heladicidad: -0,16%	Termohídrico: -0,05% Heladicidad: -0,05%
Desperfectos	Oxidación de la superficie expuesta	-	-

3.8 PAUTAS DE ACTUACIÓN IN SITU EN LOS YACIMIENTOS PALEOICNOLÓGICOS

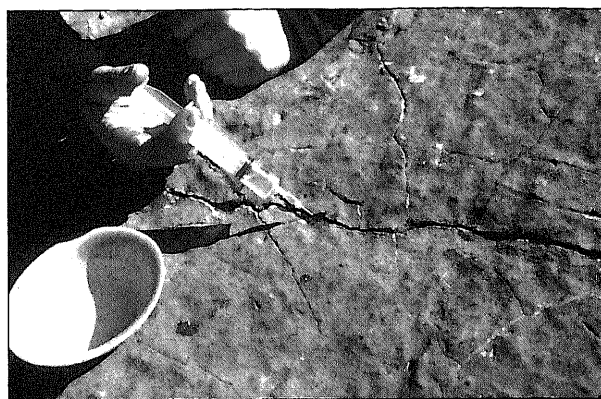
La restauración de los afloramientos paleoicnológicos la llevan a cabo universitarios nacionales e internacionales durante los campos de trabajo que tienen lugar todos los veranos durante el mes de julio. Los organiza el Gobierno de La Rioja y la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja.

El método de trabajo en el campo sigue las pautas establecidas en el laboratorio (Caro et al. 2000). Comprenden las siguientes actuaciones:

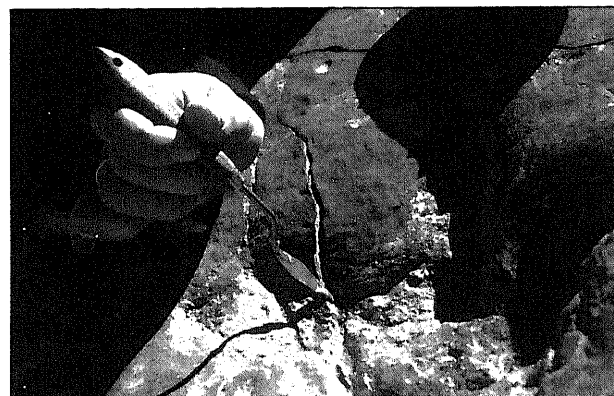
- 1- Limpieza de las grietas: extracción de las raíces, tierra y material suelto (fotografía 15).
- 2- Relleno de las fisuras con resina inyectada con una jeringuilla (fotografía 16).
- 3- Sellado de las fisuras con el mortero de restauración aplicado con una espátula (fotografía 17).
- 4- Pegado de fragmentos, utilizando resina y mortero o lechada de cemento según el caso (Pavía et al. 2003). En algunos yacimientos como La Era del Peladillo hay que encajar las piedras como en un rompecabezas (fotografía 18).



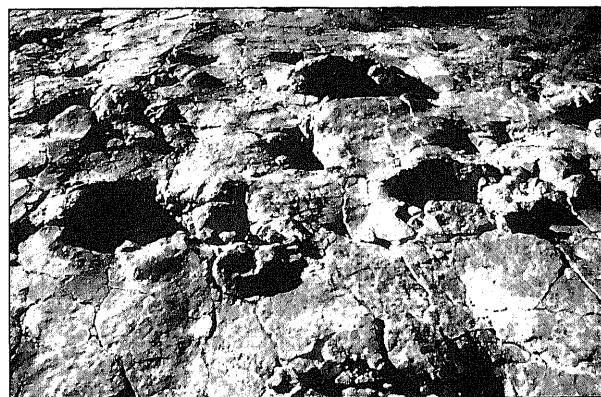
Fotografía 15. Restauración del yacimiento en los campos de trabajo. Limpieza de las grietas.



Fotografía 16. Restauración: Relleno de las fisuras con resina.



Fotografía 17. Restauración: Sellado de las fisuras.



Fotografía 18. Área restaurada del yacimiento de La Era del Peladillo. Las piezas se encajaron como en un rompecabezas.

4. CONCLUSIONES

Los estudios previos, macroscópicos, microscópicos y físicos, indican que las fisuras y discontinuidades de las rocas son defectos inherentes a las mismas. Son zonas de debilidad que el agua tanto en estado líquido como sólido, y las raíces de las plantas utilizan para destrozarse la piedra que contiene las huellas. El proceso comienza con fisuras microscópicas que se abren y prolongan y termina con la rotura macroscópica de la roca.

De los resultados de los ensayos de envejecimiento artificial acelerado se extrae como conclusión que el comportamiento de las piedras restauradas ha mejorado respecto a las mismas rocas sin reparar. No se han desprendido escamas ni se han abierto fisuras, al contrario de lo que ocurría cuando las fisuras no estaban colmadas y selladas. Esto es así porque con esta forma de proceder se impide que el agua entre y circule por el interior de la piedra y se evita que se asienten plantas superiores. Estas actuaciones solo tienen sentido si se toman medidas adicionales que eviten que el hombre y el ganado circulen por la superficie de la capa ya que los productos no están pensados para aguantar dichas agresiones físicas.

Los ensayos de durabilidad muestran que no hay diferencias apreciables entre las probetas reparadas y las mismas hidrofugadas. El hidrofugante ensayado es compatible con la roca pero los resultados, en cuanto a mejora, no justifican su aplicación; por lo menos para el caso concreto del producto analizado. Por supuesto tampoco precisan de productos consolidantes puesto que el problema de la piedra son las discontinuidades y no la descohesión de los granos minerales que la constituyen.

5. AGRADECIMIENTOS

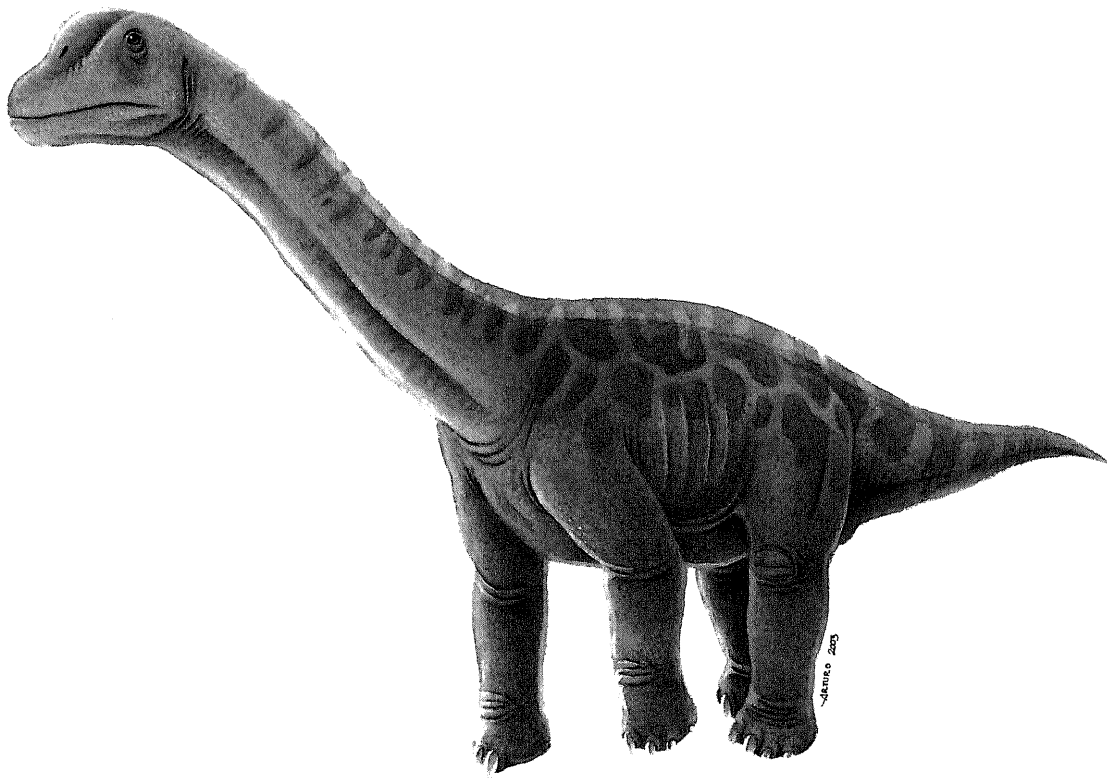
Al Instituto de Estudios Riojanos gracias a cuyas ayudas a la investigación se hicieron los estudios geológicos previos a la restauración de los yacimientos con huellas de dinosaurio de La Virgen del Campo, Peñaportillo y La Era del Peladillo. A la Consejería de Turismo y Medio Ambiente con el yacimiento de San Prudencio.

A la Consejería de Cultura por financiar los campos de trabajo de verano para restaurar los afloramientos previamente estudiados.

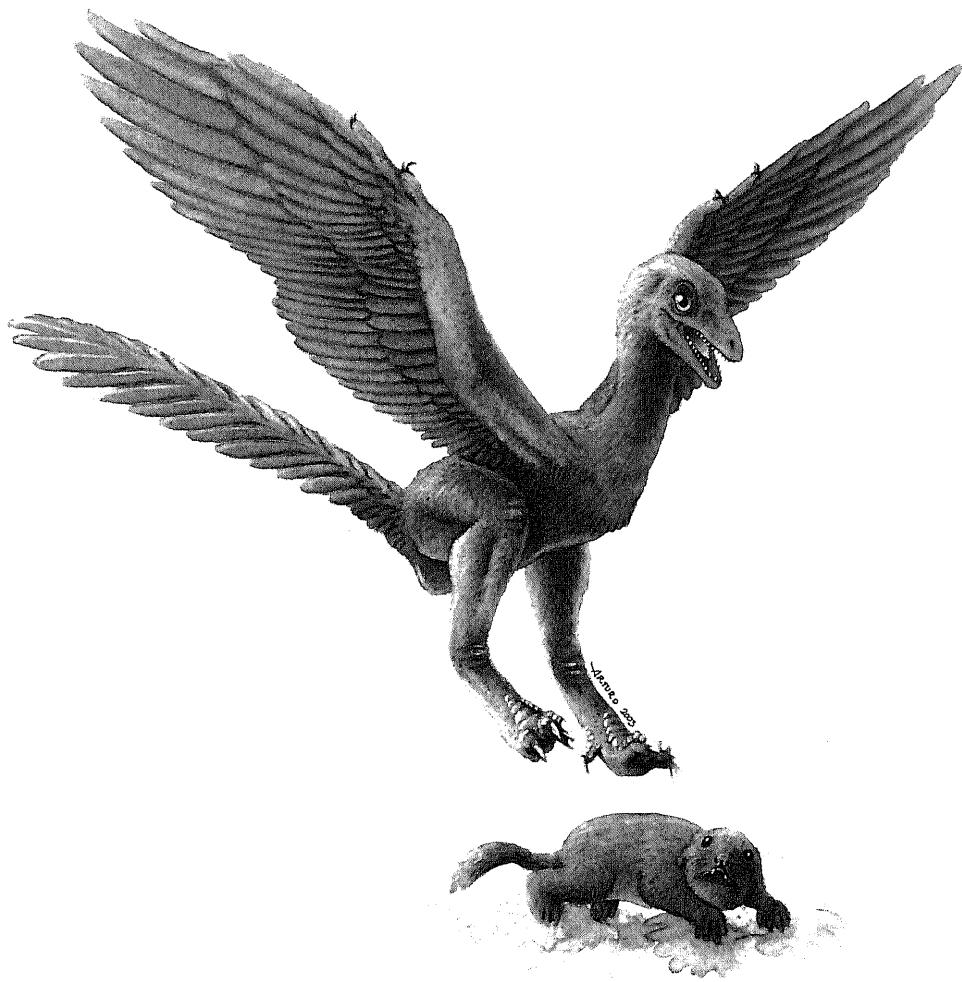
6. BIBLIOGRAFÍA

- 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. n° 280. ENCISO I.G.M.E. Hoja y memoria.*
- Cámara, P., Durantez, O., 1982. *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, n° 279. VILLOSLADA DE CAMEROS. I.G.M.E. Hoja y memoria.*
- Caro Calatayud, S., Pavía Santamaría, S., 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). *Zubía* (16), 199-232.
- Caro Calatayud, S., Pavía Santamaría, S., 2000. Análisis geológico de la piedra del yacimiento de huellas de dinosaurio de Villoslada de Cameros (La Rioja). Inédito. Medio Ambiente.
- Caro Calatayud, S., Pavía Santamaría, S.; 2001. Estudios previos para la restauración del yacimiento de icnitas de dinosaurio de Peñaportillo (Munilla, La Rioja). Inédito. Instituto de Estudios Riojanos.
- Caro Calatayud, S., Pavía Santamaría, S., Pérez-Lorente, F., Romero Molina, M., 2000. Restauración y conservación de yacimientos de huellas de dinosaurio de La Rioja (España): Método de trabajo. *Quarry-Laboratory-Monument. International Congress-Pavia* (1), 219-224.
- Caro Calatayud, S., Pérez-Lorente, F., Requeta Loza, E., 2001. Estudio y restauración de yacimientos paleoicnológicos en Villoslada de Cameros (La Rioja. España). *Geogaceta* (30), 27-30.

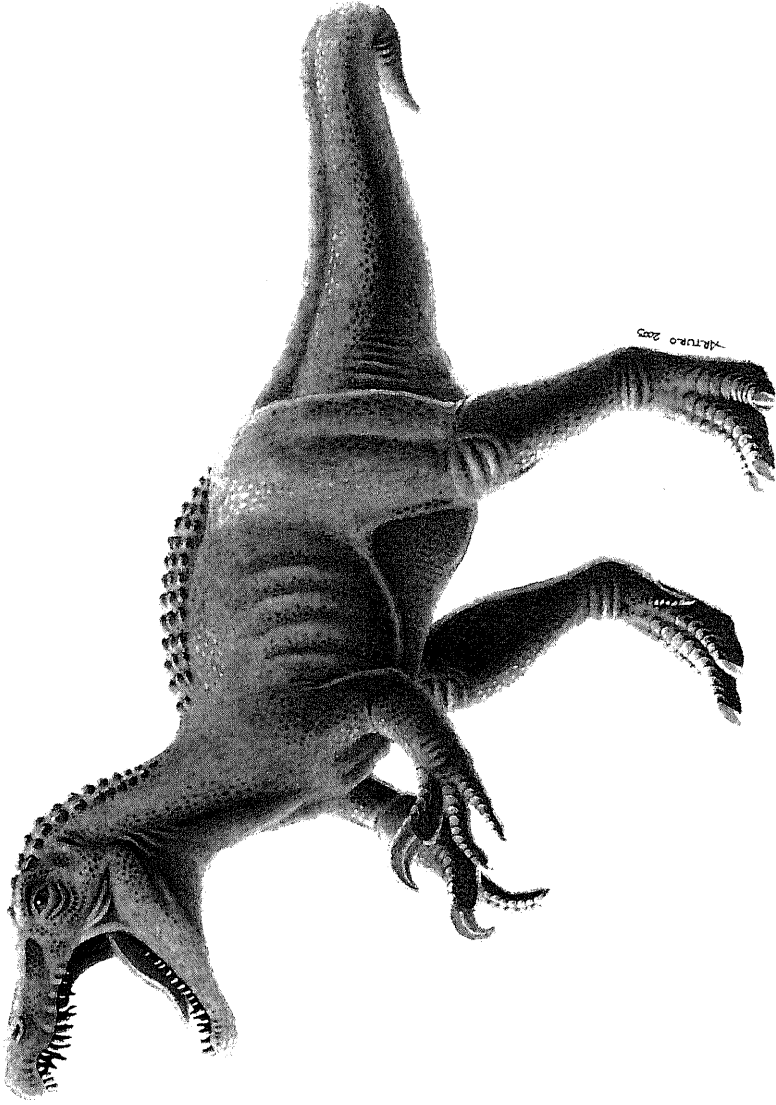
- Durantez, O., Solé, J., Castiella, J., Villalobos, L.; Ramírez, J., Rivas, P., Del Pan, T., Chacón, J., 1982. *Mapa Geológico de España E. 1:50.000. n° 281. CERVERA DEL RÍO ALHAMA* I.G.M.E. Hoja y memoria.
- Hernández, A., Ramírez, J. L., Olivé, A., Alvaro, A., Ramírez del Pozo, J., Aguilar, M. J., Meléndez, A., 1990. *Mapa Geológico de España. 1:50.000. n° 242. MUNILLA* I.G.M.E. Hoja y memoria.
- Norma RILEM 1980. *Essais recommandés pour mesurer l'alteration des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement*. *Materiaux et Constructions*, Bull. Rilem (75), 216-220.
- Ordaz, J., Esbert, R. M., 1988. Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción. *Materiales de construcción* (38), n° 209, 39-45.
- Pavía Santamaría, S., Caro Calatayud, S., 2003. Compatibilidad de morteros de cemento con la piedra de los yacimientos con huellas de dinosaurio de La Rioja. Inédito.
- Pérez-Lorente, F., 2001. Buscando la protección de los yacimientos de huellas de dinosaurio. Proyecto Icnitas de dinosaurio de La Península Ibérica. *Tierra y Tecnología* (22), 25-30.
- Valentín, N.; 1990. "Biodeterioro en rocas monumentales". Conferencia presentada en el Curso Conservación de Rocas Monumentales. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología, celebrado en Oviedo en marzo de 1990. 26 p.



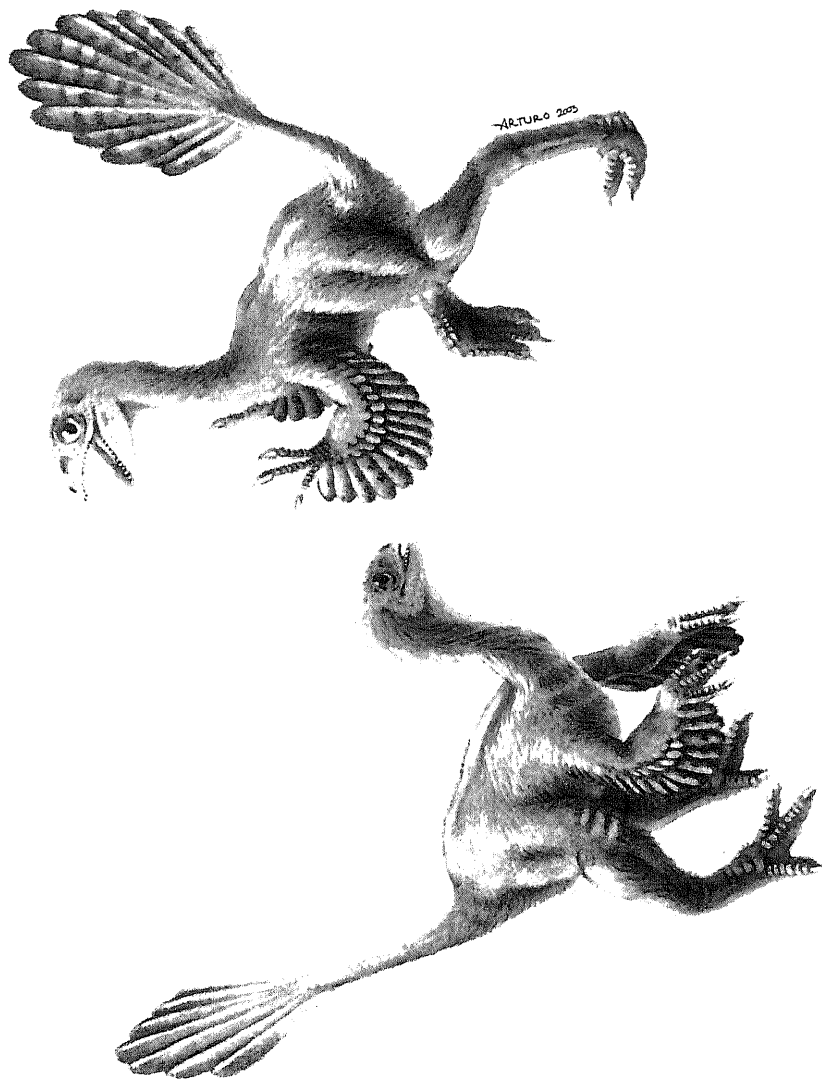
ARAGOSAURUS



ARCHAEOPTERYX



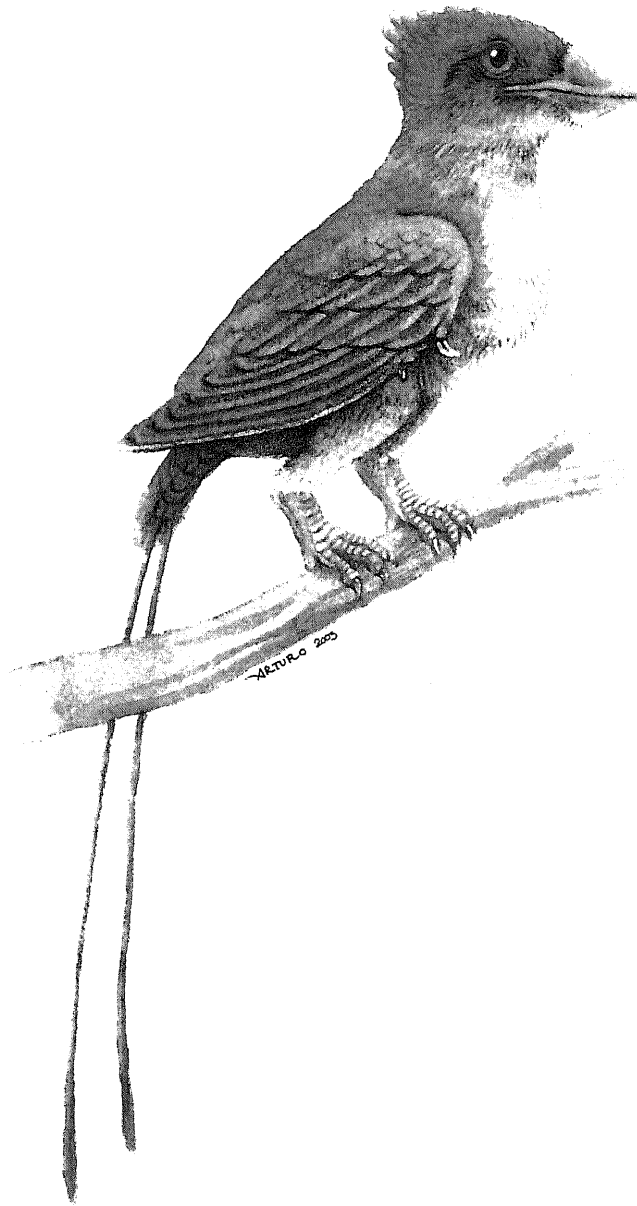
BARYONYX



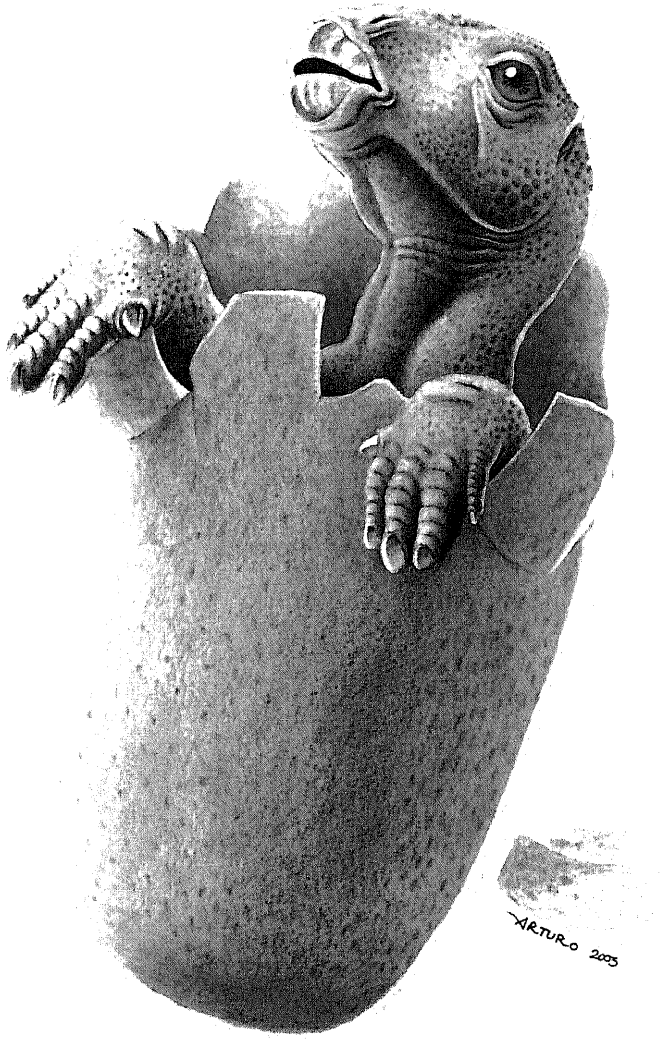
CAUDIPTERYX



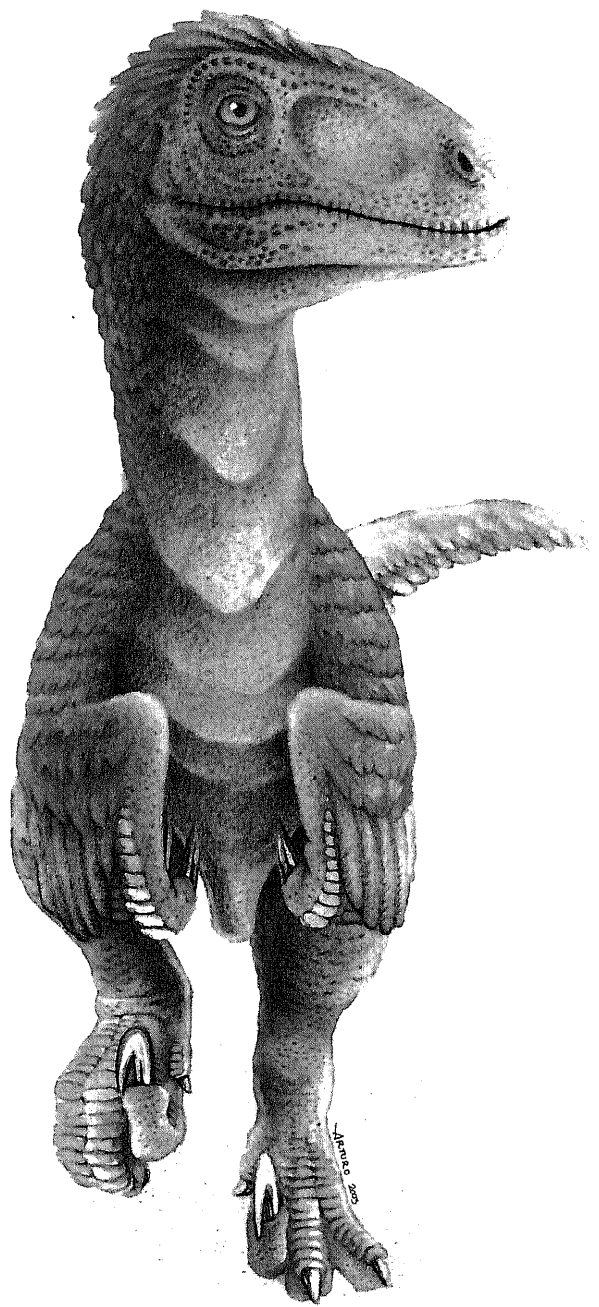
CONFUCIOSORNIS HEMBRA



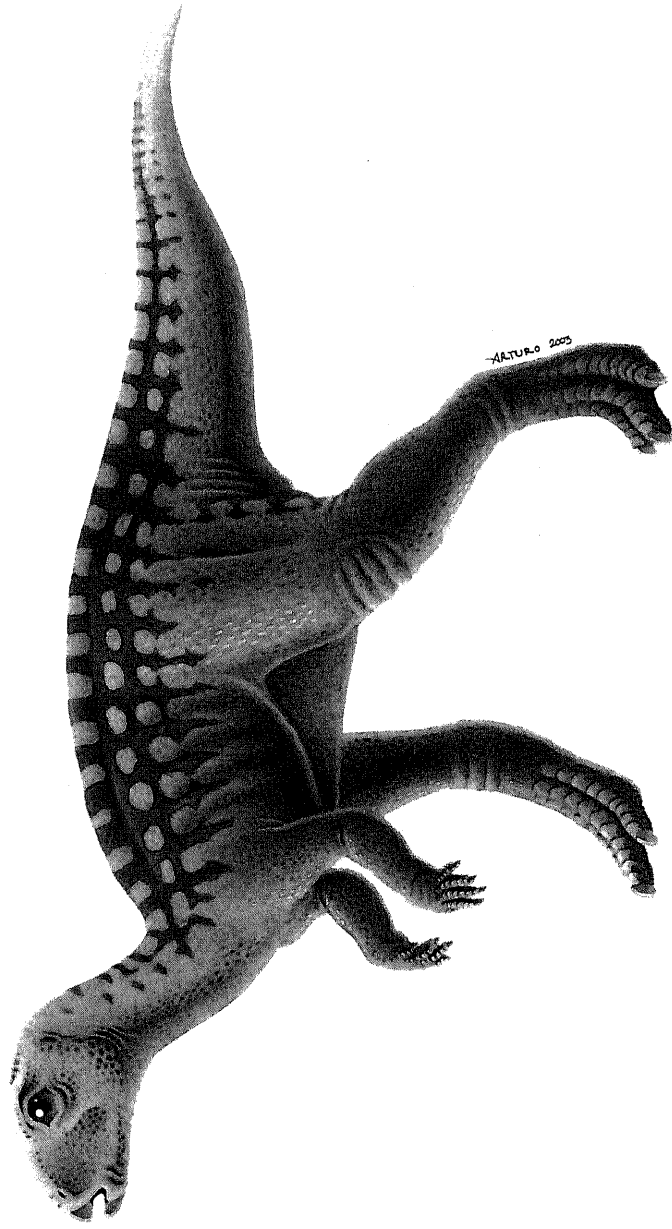
CONFUCIOSORNIS MACHO



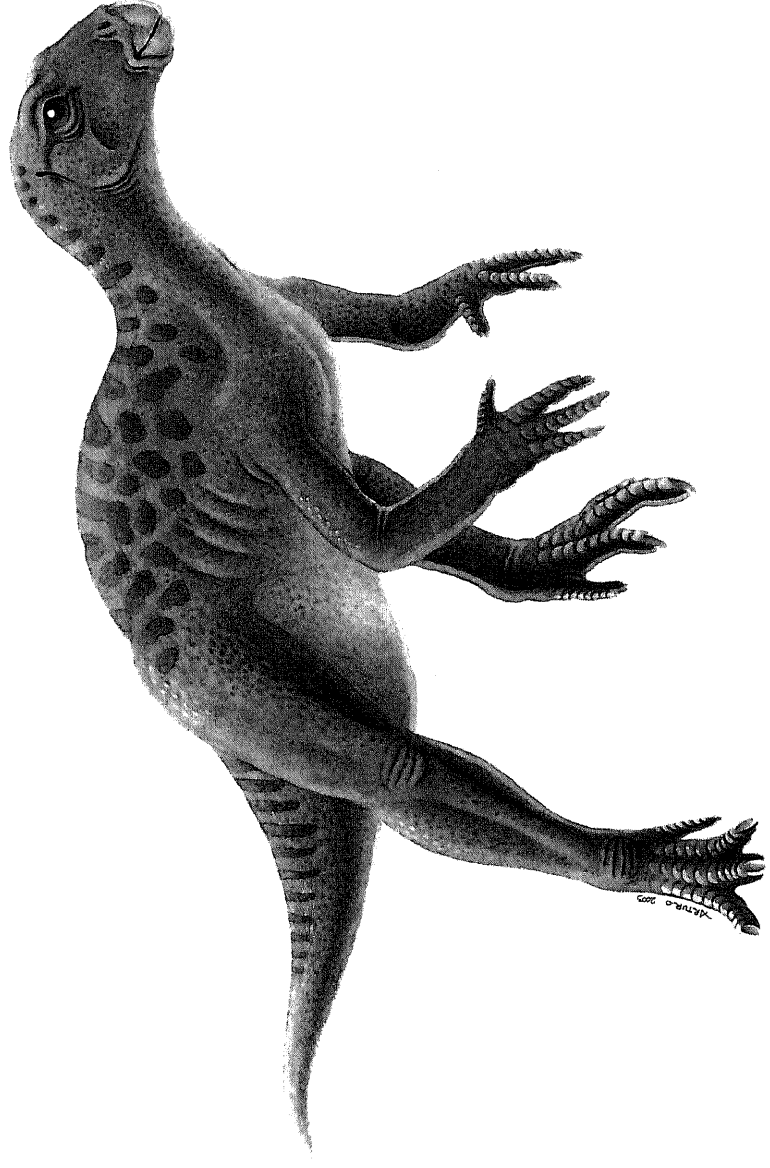
CRIA



DEINONYCHUS



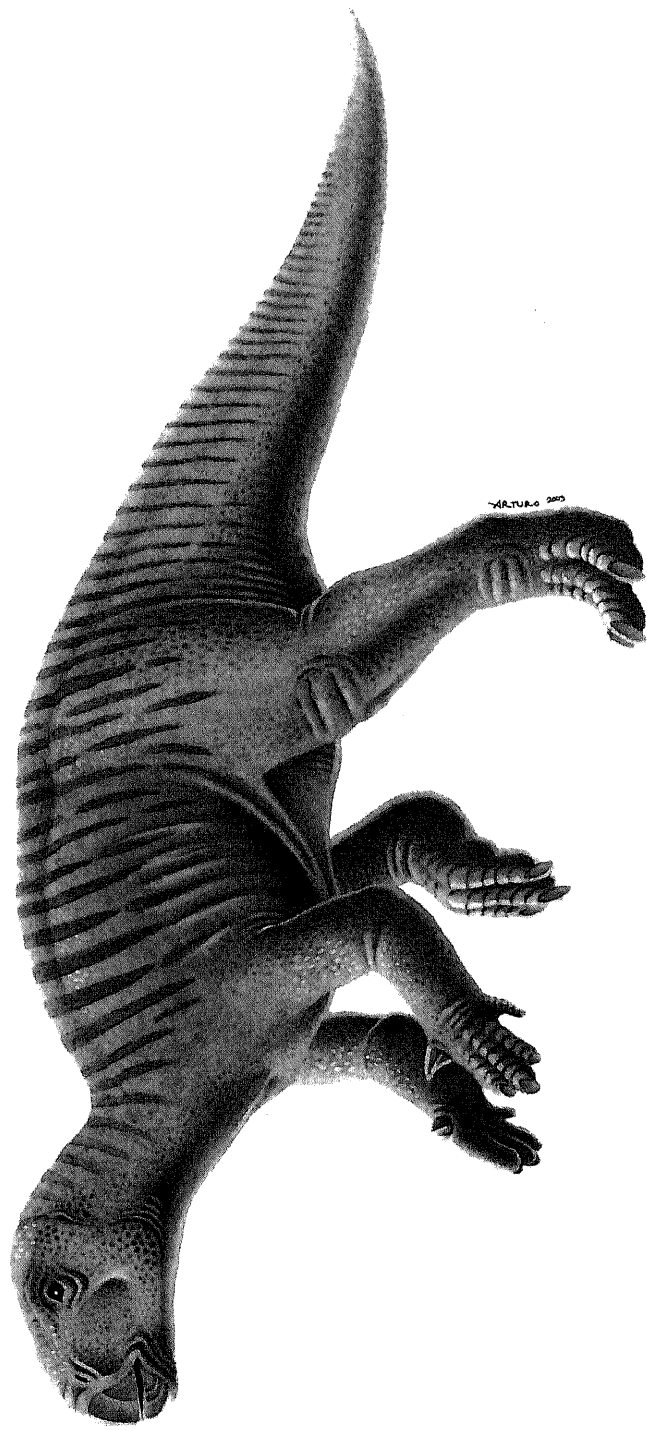
DRYOSAURUS



HYSIOPHODON



IBEROMESORNIS



IGUANODON