

# SENSIBILIDAD AL AGUA DE ROCAS ARCILLOSAS

V. G. RUIZ DE ARGANDOÑA Y J. ORDAZ

TRABAJOS DE Ruíz de Argandoña, V. G. y Ordaz, J. (1982).—Sensibilidad al agua de rocas arcillosas.  
GEOLOGIA *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 12, 93-98.



Se estudia en el trabajo el comportamiento frente al agua de algunas rocas arcillosas del NNW. de España. Se ha podido observar que, las diferentes respuestas al agua de las rocas —evidenciadas a través de su hinchamiento, desmoronamiento, etc.— están en función principalmente de su mineralogía y textura y, en consecuencia, de sus características físicas. Así, las rocas menos porosas de las estudiadas (filitas y pizarras de origen metamórfico) son relativamente menos sensibles al agua que las más porosas (margas y limolitas de origen sedimentario). Por otro lado, las variaciones en el contenido en agua de las rocas (resaltadas a partir de ensayos de humedad/sequedad), constituyen, a nuestro entender, uno de los factores más determinantes que controlan la alterabilidad de estas rocas arcillosas.

The behaviour of some argillaceous rocks from NNW. of Spain, in relation to water, is studied in the article. It can be observed that, the different responses to the water by these rocks —shown in their swelling, slaking, etc.— mainly depend on their mineralogy and texture and, consequently, on the physical characteristics. Thus, the less porous rocks among the studied ones (phyllites and slates of metamorphic origin) are relatively less sensitive to water than the more porous ones (marlstones and shales of sedimentary origin). On the other hand, the variations in the rock water content (stand out by the wetting/dry test) are, in our opinion, one of the most determining factors controlling the weatherability of these mudrocks.

V. G. Ruiz de Argandoña y J. Ordaz, Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo. Manuscrito recibido el 29 de marzo de 1982.

Es un hecho extendido, y fácilmente observable, que un gran número de rocas arcillosas sufren cambios apreciables cuando se exponen a fluctuaciones en las condiciones de humedad, o bajo la acción directa del agua. La sensibilidad al agua por parte de estos materiales arcillosos se hace patente a través de varias manifestaciones (desmoronamiento o *slaking*, disminución de la resistencia con la humedad, etc...) e influye de una manera determinante sobre la alterabilidad o meteorización física a corto plazo de la roca.

En el presente trabajo se estudian los diferentes comportamientos frente al agua de algunas rocas arcillosas, especialmente en relación con sus propiedades físicas y características petrográficas.

## MATERIALES Y PROPIEDADES FÍSICAS

Se han escogido cuatro tipos de rocas arcillosas procedentes del área geográfica del N. y

NW. de España: Luarca, Ribadesella y Villabona, en Asturias; y Rande, en La Coruña.

Dos de los materiales son sedimentarios (marga de Ribadesella y limolita de Villabona), y los otros dos metamórficos (filita de Rande y pizarra de Luarca).

Estudios petrográficos (macro y microscópicos), y análisis semicuantitativos de difracción de Rayos X, han servido de base para la clasificación y descripción de las rocas seleccionadas. En la Tabla I se sintetizan las principales características litológicas de estos materiales.

Por otro lado, se han medido algunas propiedades físicas básicas, siguiendo las normas sugeridas por la ISRM (1979). Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla II.

Como puede observarse, a las mayores densidades de los dos tipos rocosos metamórficos corresponden menores porosidades y contenidos en humedad de saturación (medida de la capacidad de absorción de agua). El grado de saturación indicativo del grado de interconexión o comunicabilidad de poros y fisuras es similar

en todas las rocas, excepto para la marga de Ribadesella, que es considerablemente menor. En cuanto a la permeabilidad, Tabla III, -medida con un permeámetro discontinuo de carga

variable-, los valores obtenidos están también acordes con el resto de propiedades físicas, dado que las permeabilidades exhibidas son directamente proporcionales a sus  $n$  e  $i_s$ . Además,

TABLA I.-Características litológicas

Localización geográfica	Descripción petrográfica	Composición mineralógica	Minerales arcillosos	Edad geológica
Rande	Filita. Gris-negra, esquistosidad planar muy regular, orientación preferente de los granos minerales, poca microfisuración.	Cuarzo, arcillas, albita, moscovita, materia orgánica, accesorios.	Clorita 15% Illita 8%	Ordovícico
Luarca	Pizarra. Negra, densa, esquistosidad muy regular, muy poco microfisurada.	Cuarzo, arcillas, sericita, moscovita, materia orgánica, accesorios.	Clorita 26% Illita 8 %	Ordovícico
Ribadesella	Marga. Negra mate, diaclasado abundante, fractura concoidea, algunas microfracturas.	Cuarzo, arcillas, calcita, ankerita, sericita, materia orgánica, accesorios	Illita 25 %	Jurásico
Villabona	Limolita. Gris-negra, fractura rugosa, bandeado, algunas microfracturas.	Cuarzo, arcillas, calcita, siderita, anhidrita, dolomita.	Illita 14% Caolinita 25 %	Carbonífero

los valores de la permeabilidad en probetas saturadas son considerablemente menores que en condiciones de sequedad. Esta diferencia es, a su vez, mucho más marcada en las rocas de origen sedimentario, y puede ser utilizada como un indicador de la degradabilidad potencial de la roca.

## ENSAYOS FRENTE AL AGUA

Diversos autores han ideado ensayos para definir y caracterizar la sensibilidad frente al agua por parte de los materiales arcillosos, sobre todo en relación con su durabilidad o meteorabilidad (véase, por ejemplo, Dapena y Uriel

TABLA II.-Propiedades físicas de las cuatro rocas estudiadas:  $\rho_g$  (gr/cm<sup>3</sup>), densidad de los granos minerales;  $\rho_d$  (gr/cm<sup>3</sup>), densidad aparente de la roca seca;  $n_o$  (%), porosidad abierta;  $n$  (%), porosidad total;  $i_s$  (%), contenido en humedad de saturación;  $S_r$  (%), grado de saturación.

Roca	$\rho_g$	$\rho_d$	$n_o$	$n$	$i_s$	$S_r$
Filita de Rande	2,78	2,75	1,06	1,07	0,40	99,06
Pizarra de Luarca	2,81	2,74	2,54	2,56	0,93	99,21
Marga de Ribadesella	2,74	2,53	5,56	7,32	2,20	75,95
Limolita de Villabona	2,72	2,50	8,09	8,16	3,24	99,14

1980). Se considera, no obstante, que de todos ellos, los más utilizados para el establecimiento de criterios objetivos cuantificables son: los ensayos de hinchamiento, los de desmoronamiento, y los ciclos humedad/sequedad.

#### HINCHAMIENTO

En la Tabla IV se exponen los resultados del ensayo de hinchamiento libre (no confinado), en base al coeficiente de hinchamiento  $\epsilon_s = \Delta L/L$ , siendo L la longitud inicial de la probeta, e  $\Delta L$  el incremento (expansión) de la misma cuando

TABLA III.—Permeabilidad al aire

Roca	K(mdcy)-Probetas secas	K(mdcy)-Probetas saturadas
Filita de Rande	$0,9 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-4}$
Pizarra de Luarca	$1,5 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-4}$
Marga de Ribadesella	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-4}$
Limolita de Villabona	$4,2 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-4}$

se sumerge en agua. Todos los tipos estudiados muestran hinchamiento, si bien claramente se observa que los  $\epsilon_s$  mayores corresponden a las rocas sedimentarias (margas y limolitas), las más porosas y permeables. Un estudio detallado del hinchamiento de estas rocas en relación a la porosidad, permeabilidad, ciclos de hinchamiento/contracción, anisotropía, etc., así como su interpretación petrofísica ha sido ya expuesto en un trabajo anterior (Ordaz y Gómez Ruiz de Argandoña 1981).

Como puede observarse, las muestras estudiadas se comportan de manera diferente frente a la inmersión en agua. Las limolitas de Villabona presentaron el mayor nivel de desmoronamiento, si bien éste se realizó de forma lenta y con débil tendencia a la escamación. Las margas de Ribadesella, mostraron una fracturación rápida muy variable, sin llegar a la desintegración estructural de la roca. Las filitas de Rande y las pizarras de Luarca, no se vieron en principio, afectadas por la acción directa del agua; siendo las filitas las que mejor resistieron los efectos destructivos del agua (Gómez Ruiz de Argandoña y Ordaz 1981).

#### DESMORONAMIENTO

Al objeto de evaluar la susceptibilidad al desmoronamiento de las rocas estudiadas se realizó el ensayo de Lutton (1977), consistente en sumergir una serie de fragmentos rocosos (de 25-50 grs.) en agua durante cinco días a unos 20°C de temperatura y presión ambiental. Al final del ensayo se anotaron los rasgos de deterioración producidos, encuadrándolos en diferentes niveles con arreglo a una escala preestablecida de seis índices, correspondiendo el 1 a las rocas que se degradan totalmente, y el 6 a las que no muestran cambios aparentes. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla V.

#### CICLOS DE HUMEDAD/SEQUEDAD

Los cambios repetidos en las condiciones de humedad son uno de los factores más determinantes en la alterabilidad de las rocas arcillosas. Se ha podido observar que, en líneas generales, la degradabilidad de la roca aumenta o se acelera si se ve sometida a ciclos alternantes de humedad/sequedad, es decir, a ciclos de inmersión en agua seguidos de desecación al aire, forzada o no.

TABLA IV.—Coeficiente de hinchamiento libre lineal.

Roca	$\epsilon_s$
Filita de Rande	$1,8 \times 10^{-4}$
Pizarra de Luarca	$1,0 \times 10^{-3}$
Marga de Ribadesella	$3,4 \times 10^{-3}$
Limolita de Villabona	$6,1 \times 10^{-3}$

TABLA V.—Ensayo de desmoronamiento.

Roca	Indice de Lutton	Comportamiento
—	1	Desintegración total, conversión en polvo.
—	2	Desmoronamiento rápido, escamación abundante.
Limolita de Villabona	3	Desmoronamiento lento, escamación escasa.
Marga de Ribadesella	4	Fracturación rápida y múltiple.
—	5	Fracturación lenta y escasa
Pizarra de Luarca Filita de Rande	6	Sin cambios aparentes

De los diversos métodos ideados para calibrar cualitativa y cuantitativamente los efectos producidos por los citados ciclos, se ha seguido el propuesto por Farjallat y Neiry de Oliveira (1971), consistente básicamente en el siguiente procedimiento: de cada muestra estudiada se utilizaron tres fragmentos de 25-50 grs.; el tiempo de inmersión en agua fue de 24 horas; y el secado, al aire, se realizó a la temperatura ambiental (alrededor de 17°C) durante 24 horas. El número de ciclos fue de 20. A lo largo del ensayo se fueron anotando las apreciaciones cualitativas referentes a la fracturación y desintegración de los materiales ensayados. Asimismo, se anotó el peso final, en seco, de los fragmentos rocosos, y el contenido en agua (absorción) después de la última inmersión.

a) *Comportamiento frente a los ciclos.*—Las muestras que presentaron mayor tendencia a deteriorarse al ser sometidas al ensayo antes descrito, fueron las limolitas de Villabona, derrumbándose estructuralmente en el transcurso del segundo ciclo de humedad/sequedad. Las muestras quedaron disgregadas en múltiples y pequeñas escamas o pedazos de carácter irregular, de un volumen aproximado no superior a los 2 cm<sup>3</sup>. La fracturación se hizo más evidente a lo largo del marcado bandeado de esta roca (banda más arcillosa, frente a banda menos arcillosa). Las margas de Ribadesella se vieron también afectadas por el agua, de modo que

empezaron a exhibir fisuras fácilmente perceptibles a partir del tercer ciclo. Los fragmentos disgregados fueron menos numerosos y de mayor tamaño que en el caso de las limolitas.

Las pizarras de Luarca y las filitas de Rande se vieron menos afectadas por los ciclos. En las primeras, se apreciaron fisuras sólo en un fragmento y a partir de los 15 ciclos. En las de Rande, en cambio, no se visualizó ningún rasgo significativo de fracturación en los 20 ciclos efectuados.

Siguiendo la clasificación de Deo et al. (1974) del comportamiento de materiales arcillosos frente a los ciclos de humedad/sequedad (Tabla VI), las limolitas y margas corresponderían al grupo 1, mientras que las filitas y pizarras se incluirían en el grupo 3.

Como puede inferirse, el comportamiento de las rocas ensayadas en los ciclos de humedad-sequedad está acorde con los resultados obtenidos para las mismas en los ensayos de desmoronamiento.

b) *Pérdida de material.*—A lo largo de los ciclos de humedad/sequedad se pudo observar una cierta pérdida de material, de carácter granular, por desagregación y desprendimiento de partículas superficiales.

Vueltos a pesar (en seco) los fragmentos de las muestras ensayadas, se midió el porcentaje de pérdida de material, por comparación con el peso inicial obtenido antes de ser sometido a los

ciclos. Los valores resultantes, fueron relativamente muy pequeños, siendo la limolita de Villabona la que mayor pérdida en peso experimentó, Tabla VII.

c) *Incremento de la microfisuración.*—Se ha podido observar que los sucesivos ciclos de humedad/sequedad afectan al nivel de microfisuración interna de la roca. Con objeto de poner de manifiesto esta interrelación, se midió la absorción de agua (en 24 horas de inmersión) antes y después de los 20 ciclos.

Dado que la absorción de agua, está en función de la porosidad abierta (de poro y fisura) de la roca, las variaciones en los valores absorptivos pueden ser tomados, por consiguiente, como una medida indirecta del incremento de la microfisuración.

Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla VIII. Como puede observarse, existe un aumento de la capacidad de absorción de agua en todas las muestras ensayadas con el número de ciclos aplicados; si bien, en términos relativos, estas cantidades varían de uno a otro tipo de roca. Así, las muestras más porosas de entrada (marga de Ribadesella y limolita de Villabona), exhiben incrementos de la microfisuración de sólo el 20 % y 30 %, respectivamente; mientras que las menos porosas (pizarra de Luarca y filita de Rande) muestran incrementos mucho mayores, del orden de 179 % y 240 %, respectivamente.

En cualquier caso, esto indicaría una tendencia, por parte de estas rocas arcillosas a fisurarse con los cambios en el contenido en humedad, rebajándose de este modo su durabilidad potencial.

TABLA VI.—Comportamiento frente a los ciclos humedad/sequedad

Roca	Grupo	Comportamiento frente a ciclos H/S.
Marga de Ribadesella Limolita de Villabona	1	Materiales muy afectados por el agua, desmoronamiento significativo.
—	2	Materiales poco afectados por el agua, después de cinco ciclos.
Filita de Rande Pizarra de Luarca	3	Materiales no afectados por el agua, después de cinco ciclos.

TABLA VII.—Pérdida de material con los ciclos humedad/sequedad.

Roca	Pérdida en peso (%)
Filita de Rande	0,003
Pizarra de Luarca	0,008
Marga de Ribadesella	0,03
Limolita de Villabona	0,10

TABLA VIII.—Absorción de agua (W) antes y después de los 20 ciclos de humedad/sequedad.

Roca	W (inicial)%	W (final) %
Filita de Rande	0,12	0,41
Pizarra de Luarca	0,34	0,95
Marga de Ribadesella	2,00	2,40
Limolita de Villabona	3,00	3,90

## CONCLUSIONES

En base al estudio realizado y a los resultados, se pueden entresacar las siguientes conclusiones generales:

a) En ausencia de minerales arcillosos fuertemente expansivos —como en este caso—, las características texturales juegan un papel preferente en el comportamiento frente al agua de este tipo de rocas arcillosas. Puesto que la textura de la roca condiciona, a su vez, gran parte de sus principales propiedades físicas (p. ej., porosidad, absorción de agua, permeabilidad, etc...), las diferentes respuestas a la acción del agua —evidenciadas a través de su hinchamiento y desmoronamiento, entre otros fenómenos— estarán también fundamentalmente determinadas por sus características físicas. En este sentido, se ha podido observar que, las rocas menos porosas de las estudiadas (filitas de Rande y pizarras de Luarca) son relativamente menos sensibles al agua que las más porosas (margas de Ribadesella y limolita de Villabona); pudiéndose establecer, de este modo, una neta distinción entre las rocas arcillosas de origen metamórfico y las de origen sedimentario, por

lo que respecta a su comportamiento frente al agua.

b) Por otro lado, se ha podido comprobar que, los cambios en el contenido en agua (humedad) de las rocas, influyen de una manera determinante sobre la alterabilidad de la roca. Los sucesivos ciclos de humedad/sequedad ocasionan expansiones/contracciones de la roca y, en consecuencia, un incremento de microfisuración interna. Dicha fisuración inducida proporciona, a su vez, nuevas vías de acceso al agua procedente del exterior, intensificando y acelerando los procesos de la deterioración progresiva e irreversible que, en algunos casos, puede conducir al derrumbamiento estructural de la roca.

c) A nuestro entender, entre los parámetros petrográficos y físicos más significativos para la evaluación geomecánica de la sensibilidad al agua de las rocas arcillosas, así como en eventuales predicciones de la alterabilidad futura de las mismas, se contarían: la naturaleza y proporción de los minerales de arcilla; la porosidad; el hinchamiento; y la resistencia a los ciclos de humedad/sequedad.

## BIBLIOGRAFIA

- Dapena, J. E. y Uriel, S. (1980).—Determinación de la meteorabilidad de las rocas. *Bol. Inf. Lab. Carret. y Geot.*, 142, 3-34, Madrid.
- Deo, P., Wood, L. E. y Lowell, Jr. C. W. (1974).—Use of shale in embankments. *National Research Council, Transportation Research Board, Special Report*, 148, 87-96.
- Farjallat, J. y Nery de Oliveira, J. (1972).—Experimental studies on the weatherability of the Capivara dam basalts, Rio Parapanema, Brazil. *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol.* 6, 83-96.
- Gómez Ruiz de Argandoña, V. y Ordaz, J. (1981).—Características físicas y de alterabilidad frente al agua de las pizarras de Rande (A Coruña). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 2 (II), 51-58, La Coruña.
- International Society For Rock Mechanics (1979).—Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, and swelling and slake durability index properties. *Int. J. Rock Mech. Min. Sic. and Geomech. Abstr.*, 16, 141-156.
- Lutton, R. J. (1977).—Slaking index for design. In: *Design and construction of Compacted Shale Embankment*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Soils and Pavements Laboratory, 3, 31.
- Ordaz, J. y Gómez Ruiz de Argandoña, V. (1981).—Swelling characteristics of some mudrocks from Asturias (Spain). In: Koichi Akai, Majao Hayashi y Yuchi Nishimatsu (Eds.), *Weak Rock: Soft, Fractured and Weathered Rock*, 1, 231-235. A. A. Balkema, Rotterdam.