

Cuantificación de granos mediante análisis de imagen: aplicación a una muestra de inyección de arena en la base del manto del Esla (Zona Cantábrica, orógeno Varisco)

Particle quantification from image analysis: application to a quartz-rich sand injection sample at the basal shear zone of the Esla Nappe (Cantabrian Zone, Variscan orogen)

Edgar Berrezueta¹, Manuel de Paz-Álvarez², Sergio Llana-Fúnez², Cynthia Gallego-Ruiz², Berta Ordóñez-Casado¹ y Juan Luis Alonso²

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/ Matemático Pedrayes, 25, 33005 Oviedo, España. e.berrezueta@igme.es, b.ordonez@igme.es

² Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005. Oviedo, España. pazmanuel@uniovi.es, llanasergio@uniovi.es, uo259694@uniovi.es, jalonso@uniovi.es

RESUMEN

El análisis de imagen en muestras de roca en lámina delgada o superficie pulida permite la caracterización de los tamaños y formas de los granos o partículas que constituyen una roca. Para comprobar la eficacia de diferentes parámetros en la discriminación de granos y partículas con diferente origen y evolución en una misma roca, utilizamos una muestra de una inyección arenosa en la base del manto del Esla (Zona Cantábrica, orógeno Varisco). Caracterizamos las partículas con los parámetros de área (A), perímetro (P), esfericidad (Es), solidez (So), perímetro-área normalizado (PAN) y dimensión fractal (DF). Este análisis permite diferenciar los granos redondeados de origen sedimentario detrítico, de aquellos que han sufrido fracturación parcial o total. Sin embargo, el análisis no permitió discriminar suficientemente los granos parcialmente expuestos a la acción corrosiva de fluidos durante la inyección debido quizá a una posible cementación posterior.

Palabras clave: Análisis petrográfico de imágenes, roca de falla, parámetros de forma.

Geogaceta, 69 (2021), 19-22
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La principal contribución del análisis digital de imagen en la caracterización microscópica de rocas es la de identificar, clasificar y cuantificar sus componentes petrográficos: minerales, poros y texturas (Starkey y Samantaray 1993; Martínez-Martínez *et al.*, 2007). La técnica de análisis petrográfico de imagen (API) proporciona en microscopía óptica información cuantitativa de los materiales rocosos en lámina delgada, (Ehrlich *et al.*, 1984; Asmussen *et al.*, 2015). Esto es particularmente útil en la medición de la forma y tamaño de estos componentes (Fernández *et al.*, 2005; Martínez-Martínez *et al.*, 2007) aplicando procedimientos que garanticen la reproducibilidad y representatividad de las medidas (Pirard *et al.*, 1999; Catalina y Castroviejo, 2017).

En el caso de la caracterización morfológica de fragmentos en rocas asociadas a fallas, resulta importante indicar la complejidad de este tipo de materiales. En primer lugar, la procedencia de fragmentos o granos puede ser variada, pueden generarse deformaciones superpuestas y concurrir otros procesos que alteren tamaños y formas de los granos en las rocas, como son los cambios en los contornos de los granos por la acción corrosiva de fluidos hidrotermales o por recrecimientos posteriores asociados a procesos de cementación.

Para evaluar la utilidad de varios de los diversos parámetros de forma de fragmentos o granos de una roca en la discriminación de procedencias y/o tipología de los fragmentos, utilizamos una muestra procedente de inyectitas de arena en la zona de cizalla basal del manto del Esla.

ABSTRACT

Image analysis of rock samples in thin sections or polished surfaces allows the characterisation of the sizes and shapes of the particles that conform the rock. In order to test the effectiveness of different parameters in discriminating particles and grains of different origin and evolution within a rock, we use one sample from a quartz grain-rich injection at the base of the Esla Nappe (Cantabrian Zone, Variscan Orogen). We characterise particles using the parameters area (A), perimeter (P), sphericity (Es), solidity (So), normalised perimeter-area (PAN) and fractal dimension (DF). The analysis allows to discern rounded sand grains of detrital sedimentary origin from grains that have been partially or totally fractured. However, the parameters used could not discriminate sufficiently grains partially corroded by fluids during their injection perhaps due to the effect of subsequent overgrowths by cements.

Keywords: Image optical analysis, fault rock, shape parameters.

Fecha de recepción: 01/07/2020
Fecha de revisión: 23/10/2020
Fecha de aceptación: 27/11/2020

Contexto geológico

La aparición de inyecciones de arena en la base del manto del Esla fue descrita por Arboleya *et al.* (1999) (Fig. 1). Están constituidas por diques y *sills* clásticos de anchura variable, mm a dm, que se inyectan varios metros de altura en las formaciones carbonatadas presentes en la parte basal del manto del Esla (de Paz-Álvarez *et al.*, 2021). Los bordes de los diques y *sills* clásticos son netos a escala de afloramiento, aunque pueden tener un trazado irregular, éste último interpretado como debido a la corrosión de los fluidos que facilitan la inyección (de Paz-Álvarez *et al.*, 2021). El material inyectado está formado fundamentalmente por granos de arena de cuarzo posteriormente cementados por calcita, por este motivo se consideran inyecciones de arena y no de arenisca. Los granos de cuarzo se interpreta que proceden de las areniscas del Devónico superior, en el bloque inferior del manto de Esla (Arboleya *et al.*, 1999; de Paz-Álvarez *et al.*, 2021).

Descripción de la muestra

La muestra seleccionada es una brecha formada por granos de cuarzo (40%) y fragmentos de caliza y dolomía (25%), cementados por calcita (35%) (Fig. 2A). Localmente, existen poros rellenos por minerales arcillosos. Estas brechas aparecen a lo largo de la base del manto del Esla, y su textura es muy similar en todas las localidades. Los fragmentos carbonatados poseen bordes angulosos, y raramente aparecen fracturados, preservando facies sedimentarias típicas de la Fm. Láncara, situada en la base del manto. Los granos de cuarzo son subredondeados, pero en algunas zonas aparecen fracturados y con diverso grado de corrosión (Fig. 2B). Debido a la escasez de matriz y al bajo grado de fracturación de los componentes, se ha interpretado que estas brechas se alimentaron de los granos detríticos de formación areniscosas en el bloque inferior, que se desagregaron e inyectaron durante la circulación de fluidos a alta presión (Arboleya *et al.*, 1999).

Metodología

La secuencia de trabajo consistió en la: i) caracterización petrográfica de las láminas delgadas y definición de las tipologías a cuantificar en granos de cuarzo; ii) adquisición de imágenes digitales (Cámara Prog

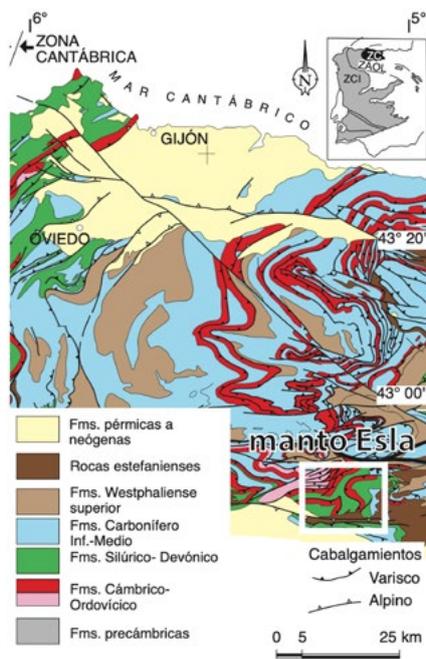


Fig. 1.- Mapa geológico de la Zona Cantábrica (orógeno Varisco) (Alonso *et al.*, 2009). El manto del Esla está localizado con el cuadrado blanco.

*Fig. 1.- Geological map of the Cantabrian Zone (Variscan orogen) (Alonso *et al.*, 2009). The Esla nappe is within the white box.*

Res 5 a 1290 x 972 píxeles) en color acoplada a microscopio (Leica DM 6000, 5-10-20 aumentos); iii) identificación y segmentación automatizada de 6 microfotografías mediante el programa *ImageJ* v.1.52; iv) cuantificación de los parámetros Area (A), Perímetro (P), Esfericidad (Es) y Perímetro-Area normalizado (PAN), Solidez (So) y Dimensión Fractal (DF) en los granos; y iv) interpretación de los resultados obtenidos para las diferentes tipologías de granos encontrados. Se utilizó *ImageJ* v.1.52 para determinar los parámetros A, P, Es, So y Pan e *ImagePro Plus* v. 7.0 para DF. Las unidades de P y A son en píxeles (unidades digitales). Las definiciones de los parámetros se presentan en la Fig. 3.

Resultados

El estudio petrográfico corroboró la presencia de un esqueleto de granos de cuarzo (Fig. 2B) y carbonatos en un cemento de calcita y localmente matriz arcillosa. Además, se identificaron las tres tipologías generales según su forma en los granos de cuarzo: subredondeadas (sin ninguna aparente alteración química o mecánica), fracturadas (granos rotos por acción mecánica) y con alteración química en sus bordes (granos con evidencias de corrosión). En microscopía



Fig. 2.- A) Foto de afloramiento de brechas del manto del Esla. B) Imagen al microscopio de la muestra representativa a estudiar. Descripción de tipos de granos presentes: redondeados de origen detrítico (1), fracturados (2) y alterados químicamente (3).

Fig. 2.- A) Outcrop photograph of the breccias at the base of the Esla Nappe. B) Photomicrograph of the sample. Types of grains studied: rounded detritic (1) fractured (2) and with chemical alteration (3).

óptica no se observaron evidencias de recrecimiento por cementación. En caso de superposición de características, se asignó la tipología más relevante a cada uno de los granos estudiados.

La identificación automatizada de los granos de interés se realizó mediante una macro en *ImageJ* consistente en la segmentación por umbrales (el cuarzo presenta valores de Nivel de Gris > que NG de matriz). Una vez segmentados los granos, se seleccionaron aquellos que no estaban cortados por los bordes de la imagen. La clasificación de los granos en los tres principales tipos se realizó por el operador siguiendo los criterios antes mencionados asignando un código numérico 1, 2, y 3 para las tres tipologías (subredondeadas, fracturadas y alteradas químicamente, respectivamente).

El proceso y análisis de imagen aplicado permitió la identificación y cuantificación de 110 granos en una lámina delgada. Cada uno de estos granos fue inspeccionado individualmente para garantizar que el proceso aplicado fuera el adecuado. Una representación simplificada de la distribución de los granos según su área (en unidades digitales) se presenta en la Fig. 4. La correspondencia (digital) a unidades métricas es, 1.1 micra: 1 píxel (con 10 aumentos). En las curvas se aprecia que los granos

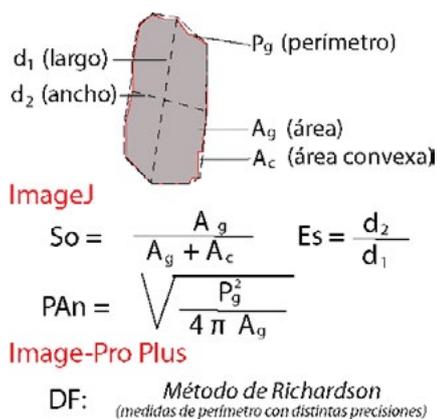


Fig. 3.- Definición de parámetros de tamaño y forma medidos en un grano (recopilados en Berrezueta et al., 2019).

Fig. 3.- Definition of shape and size parameters measured in a grain (compiled in Berrezueta et al., 2019).

con rotura mecánica presentan unas áreas menores (media: 25060 píxeles²) respecto al área de los granos redondeados (media: 37967 píxeles²), como cabría esperar. Sin embargo, los granos alterados químicamente presentan unas áreas superiores a las de los granos sin alterar (media: 61915 píxeles²). Si bien no se han observado evidencias de recrecimiento por cementación, no se pueden descartar sin hacer catodoluminiscencia. Por otra parte, la población de granos alterados químicamente podría tener una granulometría diferente en origen.

Para el análisis de la forma de las diferentes tipologías de granos, los principales estadísticos de los parámetros evaluados se presentan en la Tabla 1. A continuación, se describe la contribución de los parámetros de esfericidad, solidez, dimensión fractal, y perímetro-área normalizado en la interpretación cuantitativa de la forma de los granos. La correlación entre los diferentes parámetros medidos, considerando las tipologías de los granos se presenta en la Fig. 5.

Esfericidad (Es)

Los valores medidos de este parámetro ponen de manifiesto que la influencia del corte en los granos y la alteración química en los bordes no es relevante en cuanto a valores medios (Tabla I). Ninguno de los granos alterados física y químicamente tienen un valor de esfericidad menor al límite inferior de esfericidad medida en granos subredondeados (Fig 5).

Los valores de este parámetro indican que no hay un cambio relevante en la esfericidad en las muestras debido procesos físico-químicos ligados a la inyección.

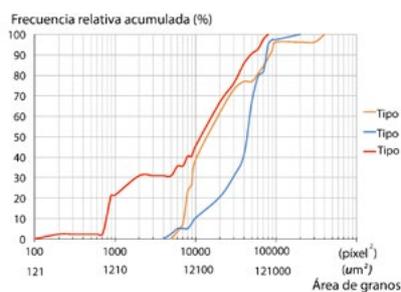


Fig. 4.- Frecuencia acumulada de los granos (Tipos 1, 2 y 3) según su área (unidades digitales y métricas).

Fig. 4.- Relative cumulative frequency of grains (Types 1, 2 and 3) according to their area (digital and metric units).

Dimensión fractal (DF)

Este parámetro presenta una diferencia clara entre los valores medios y la desviación estándar de las granos redondeados respecto al resto de granos (Tabla I). El 50,5% de los granos definidos como alterados, por fracturación o por corrosión química, presentan un valor de dimensión fractal por encima del máximo valor de este parámetro en los granos subredondeados (Fig. 5).

El comportamiento de este parámetro indica que hay cambios relevantes de la rugosidad en el grano (aumento) y probablemente, también en su redondez (disminución) en los granos alterados respecto a las que permanecen sin alterar.

Solidez (So)

La medida de este parámetro presenta unos valores medios mayores en los granos redondeados respecto a los granos de tipo 2 y 3 (Tabla I). Además, el 52,29% de los granos que se clasifican como fracturados y alterados químicamente presentan un valor de solidez por debajo del límite inferior de este parámetro en los redondeados (Fig. 5).

El comportamiento de este parámetro indica que hay cambios relevantes de la redondez de grano (disminución) y probablemente, también en su rugosidad (incremento) en los granos alterados respecto a los sin alterar.

Perímetro-área normalizado (PAn)

Los valores medidos de este parámetro indican de forma general que sus valores medios, para las tipologías estudiadas permiten una diferenciación clara entre los granos sin alterar de los alterados (Tabla I). Las medidas de este

Tipo	Valores				
	Mín.	Máx.	Media	Desv. Est.	
Es	1	0,34	0,98	0,74	0,17
	2	0,44	1	0,69	0,13
	3	0,37	0,96	0,67	0,16
DF	1	1,05	1,09	1,06	0,01
	2	1,04	1,14	1,1	0,03
	3	1,04	1,17	1,09	0,03
So	1	0,86	0,95	0,93	0,02
	2	0,72	0,97	0,88	0,06
	3	0,68	0,95	0,87	0,06
PAn	1	1,12	1,42	1,22	0,08
	2	1,12	2,1	1,46	0,17
	3	1,09	1,86	1,38	0,17

Tabla 1.- Medidas de parámetros de forma (Es, esfericidad; So, solidez; DF, dimensión fractal, PAn, perímetro-área normalizado) sobre granos en 6 imágenes (tipo 1, 31, tipo 2, 47 y tipo 3, 32).

Table 1.- Shape parameters measurements (Es, sphericity; So, solidity; DF, fractal dimension; PAn, normalized perimeter-area) of grains in 6 images (type 1, 31, type 2, 47 and type 3, 32).

parámetro para los granos redondeados no exceden de 1,4 mientras que, por encima de este valor (Fig. 5) se encuentran al 51,37% de los tipos alterados.

Las medidas de este parámetro indican que los granos alterados por rotura y químicamente presentan un incremento en la rugosidad y pérdida de redondez respecto a los granos sin alterar.

Discusión

La combinación de los rangos de medidas (máximo y mínimo de los parámetros DF, So y PAn encontrados para los granos tipo 1): DF (1,05-1,09), So (0,86 - 0,95) y PAn (1,12 - 1,42) (Fig 5), permitieron limitar la presencia de granos de tipos 2 y 3 en el de tipo 1, a un 16,8 y 18,10 %, respectivamente. La incorporación del criterio de tamaño de granos tipo 1 (5132-349600 píxeles) a los anteriores criterios (Fig 4), permitió reducir más la presencia de granos de tipos 2 y 3 en el de tipo 1 (15,6% y 16,8%, respectivamente).

La comparación conjunta de los tres parámetros de forma (DF, So y PAn) junto con un criterio de tamaño permitió discriminar cualitativamente los granos alterados de los no alterados.

En general, se muestra una clara aportación en la discriminación de la forma de los granos con el parámetro DF, aunque no todos los programas informáticos de análisis de imagen disponen de un cálculo sencillo de este sobre granos individuales.

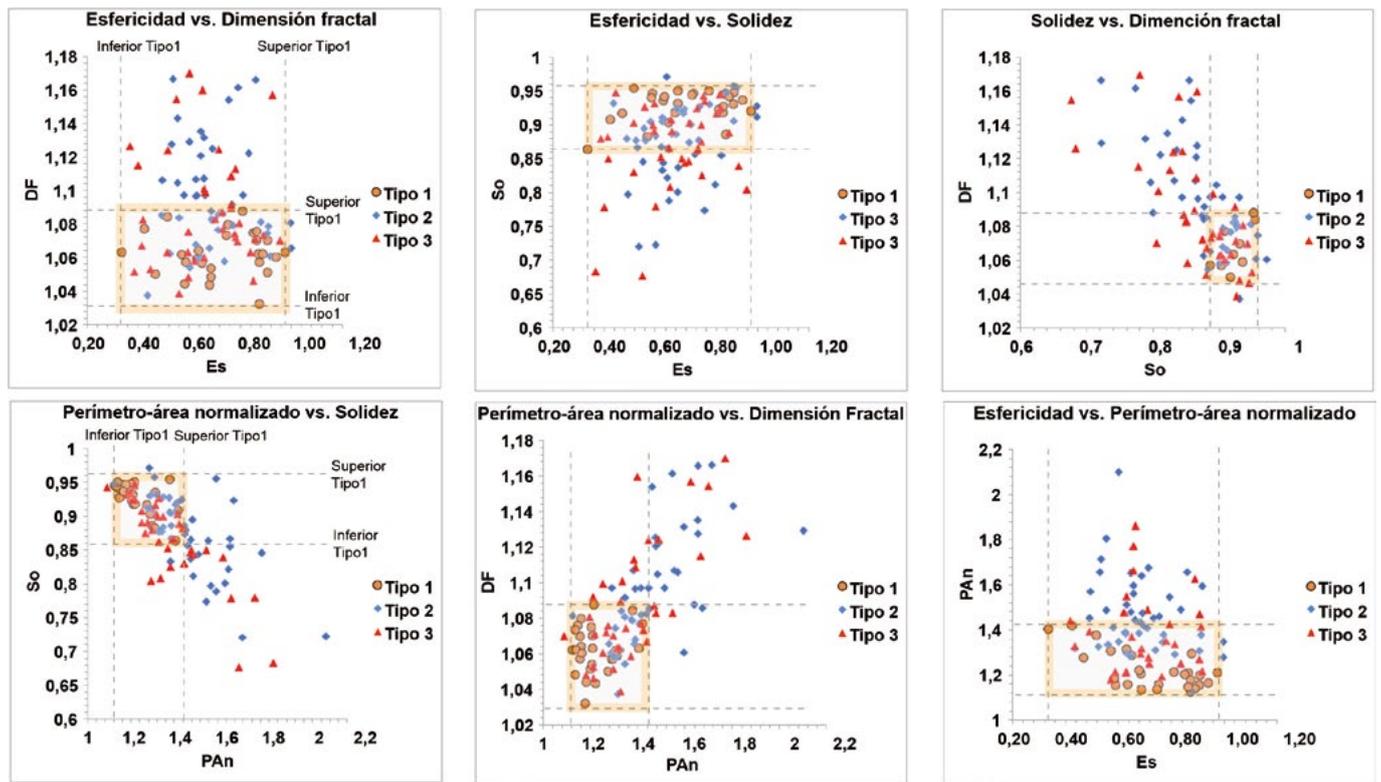


Fig. 5.- Comparación entre parámetros de forma medidos. Es vs. DF, Es vs. So, So vs. DF, PAn vs. So, PAn vs. Df, Es vs. PAn. Los valores mínimos y máximos para los granos de Tipo 1 se identifican en todos los gráficos (Inferior Tipo1 y Superior Tipo1).
 Fig. 5.- Comparison among shape parameters measured. Es vs. DF, Es vs. So, So vs. DF, PAn vs. So, PAn vs. Df, Es vs. PAn. The minimum and maximum values for Type 1 grains are identified in all charts (lower and upper).

A partir de estas observaciones, basadas también en trabajos previos de cuantificación y uso de parámetros de tamaño y forma en la interpretación de procesos geológicos (Asmussen *et al.*, 2015; Fernández *et al.*, 2005; Berrezueta *et al.*, 2019), consideramos que se podría en el futuro mejorar la eficiencia en la discriminación de tipos de granos, incrementando el número de parámetros de forma a evaluar. Por ejemplo, incluyendo los parámetros de la redondez de Wadell (Roussillon *et al.*, 2009) y/o la angularidad de los granos (Sukumaran y Ashmawy, 2001). Además, el estudio detallado de la relación de los parámetros de forma con sus tamaños (Berrezueta *et al.*, 2019) y el uso de estadísticos como media geométrica o moda, en los tamaños de partículas (López-Sánchez, 2020), podría aportar mejores criterios discriminatorios a los planteados en este trabajo, aunque probablemente requieran poblaciones de granos más numerosas.

Conclusiones

El procedimiento propuesto ha permitido la cuantificación, clasificación y diferenciación cuantitativa de la mayoría (67,6%) de los granos presentes en la muestra analizada, permitiendo presentar

un procedimiento y medidas que ofrecen la posibilidad de complementar estudios petrográficos cualitativos tradicionales.

La discriminación de granos detríticos originales de granos modificados por procesos físico-químicos es satisfactoria. Sin embargo, la distinción en base a datos cuantitativos entre granos fracturados y corroídos es menos sencilla. A pesar de que las tendencias en los parámetros son diferentes (Fig. 5), existe todavía mucho solapamiento en el rango de valores paramétricos (Tabla 1).

Agradecimientos

Investigación financiada por proyecto MINECO CGL2017-86487-P. Ángel Martínez Nistal (Servicios Científico-Técnicos, U. Oviedo) programó la segmentación automatizada de granos de cuarzo a partir de imágenes de microscopía óptica. Agradecemos a L.I. Net Álvarez, un revisor anónimo, y al Editor por la revisión crítica de una versión previa de este manuscrito.

Referencias

Alonso, J.L., Marcos, A. y Suárez, A. (2009). *Geologica Acta* 7, 451-473.

Arbolea, M.L., Julivert, M., Zamarreño, I. (1999). *Trabajos de Geología*, 21, 47-61.
 Asmussen, P., Conrad, O., Günter, A., Kirsch, M. y Riller, U. (2015). *Computers and Geosciences* 83, 89-99.
 Berrezueta, E., Cuervas-Mons, J., Rodríguez-Rey, A. y Ordóñez-Casado, B. (2019). *Minerals* 9(12), Art. 768.
 Catalina, J.C. y Castroviejo, R. (2017). *Revista de Metalurgia* 53(4), 20 p.
 de Paz-Álvarez, M.I., Llana-Fúnez, S., Alonso, J.L. (2021) *Journal of Structural Geology* 142, Art. 104230.
 Ehrlich, R., Crabtree, S.J., Kennedy, S.K. y Cannon, R.L. (1984). *Journal Sedimentary Petrology* 54, 1365-1378.
 Fernández, F.J., Menéndez-Duarte, R., Aller, J. y Bastida, F. (2005). *Geological Society London Special Publications* 245(1), 409-420.
 López-Sánchez, M.A. (2020). *Journal of Structural Geology* 135, Art. 104042.
 Martínez-Martínez, J., Benavente, D. y García del Cura, M.A. (2007). *Engineering Geology* 90, 41-54.
 Pirard, E., Lebrun, V. y Nivart, J.F. (1999). *European Microscopy and Analysis* 60, 9-11.
 Roussillon, T., Piégay, H., Sivignon, I., Tougne, L. y Lavigne, F. (2009). *Computers and Geosciences* 35, 1992-2000.
 Sukumaran, B. y Ashmawy, A.K. (2001). *Geotechnique* 51, 619-627.