

## EFFECTO DEL ASCENSO CAPILAR SOBRE EL MOVIMIENTO DE AGUA POR SURFACTANTES

ZABALA, S.; TORRES SÁNCHEZ, R.M.\*

CONICET, Serrano 669, (1414), Capital Federal. \*(CETMIC) Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica, Cno. Parque Centenario y 508. CC 49 (1897) M.B. Gonnet. Argentina.  
e-mail: rosats@netverk.com.ar

*Received April 26, 2001. In final form: March 26, 2002*

### ABSTRACT

*In unsaturated porous materials, the surfactant spreading produces a water movement from the surfactant containing to the surfactant-free region of the system. The possible application of this phenomenon to natural systems may necessary the study of the capillary rise influence on the water movement by surfactants. This phenomenon was studied in columns closed in the extremes, formed by rings interconnected and systems of homogeneous particle size. In this work the capillary rise effect on the water movement by surfactants originated during the vertical or horizontally column's rings joining, was studied. Materials utilised were kaolin ( $\phi < 2\mu\text{m}$ ) and glass beads ( $\phi < 110\mu\text{m}$ ).*

*In kaolin systems, without surfactant, the capillary rise effect was evidenced in columns joined vertically. This effect was translated in systems with surfactant in an increase of the initial water content of ring 2 during the rings joining. The hypothesis generated was that in systems with surfactants (in ring 1) when it faces the higher than initial water of ring 2, an increase of total water moved in the system was produced, mainly from ring 2 to 3. This hypothesis was corroborated by the coincident results found in columns joined vertical or horizontally with different initial water content between ring 1 and 2-3. The total water movement found in the last systems were higher than that found in systems with constant initial water in all rings.*

*Systems of glass beads, without surfactant, showed no difference in the water moved originated by the column position joining, pointing out the absence of capillary rise. The direction of water movement by surfactant obtained, for this system, for different initial water between the rings, were in agreement but with lower amounts of water moved than that found for kaolin systems*

### RESUMEN

*En sistemas de materiales porosos no saturados, el esparcimiento de surfactantes produce un movimiento de agua que ocurre desde el sitio donde se encuentran hacia el extremo libre de ellos. La posible aplicación de este fenómeno a sistemas naturales, hace necesario el estudio de la influencia del ascenso capilar sobre el movimiento de agua por surfactantes. Este fenómeno se analiza en columnas cerradas en los extremos, formadas por anillos interconectados y sistemas de partículas con tamaño homogéneo, donde el ensamblaje de la columna es en forma vertical y horizontal. Los materiales utilizados fueron caolín ( $\phi < 2\mu\text{m}$ ) y perlas de vidrio ( $\phi < 110\mu\text{m}$ ).*

*Se observó que en los sistemas de caolín, sin surfactante, el ascenso capilar se evidencia en las columnas armadas verticalmente. Este se traduce en los sistemas con surfactante en un aumento del contenido de agua inicial del anillo 2 durante el ensamblado. La hipótesis que esto plantea es que en presencia de surfactante (anillo 1) este al enfrentarse a un mayor contenido de agua inicial (producida por el aumento capilar) genera un aumento del agua movida total en el sistema, principalmente del anillo 2 al 3. Esta hipótesis se corroboró en sistemas con distinto contenido en agua inicial en los anillos 1 y 2-3, con resultados coincidentes entre las columnas ensambladas horizontal y verticalmente y donde el movimiento de agua total es superior al obtenido en sistemas de contenido en agua inicial constante.*

*En los sistemas de perlas de vidrio, sin surfactante, no se encontró diferencia en el movimiento de agua originada por la posición de ensamblado de la columna, evidenciando la ausencia del ascenso capilar. El sentido del movimiento de agua por surfactante, obtenidos en este sistema, para distinto contenido de agua inicial entre los anillos, coincidió con los del sistema de caolín, con menores valores de agua movida.*

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de materiales porosos no saturados, el esparcimiento de algunos surfactantes insolubles en agua, produce un movimiento de agua que ocurre desde el sitio donde se encuentra el surfactante hacia el extremo libre de él. La situación óptima para que ocurra este fenómeno, es cuando el agua presente forma un film continuo sobre el material poroso [1]. La fuerza impulsora de este movimiento de agua es la variación de presión capilar generada por las diferencias del tamaño de poro (consecuentemente del tamaño de las partículas) y de tensión superficial [1-2], de acuerdo a la ecuación de Young y Laplace [3]:

$$\Delta P = 2\gamma/r \quad [1]$$

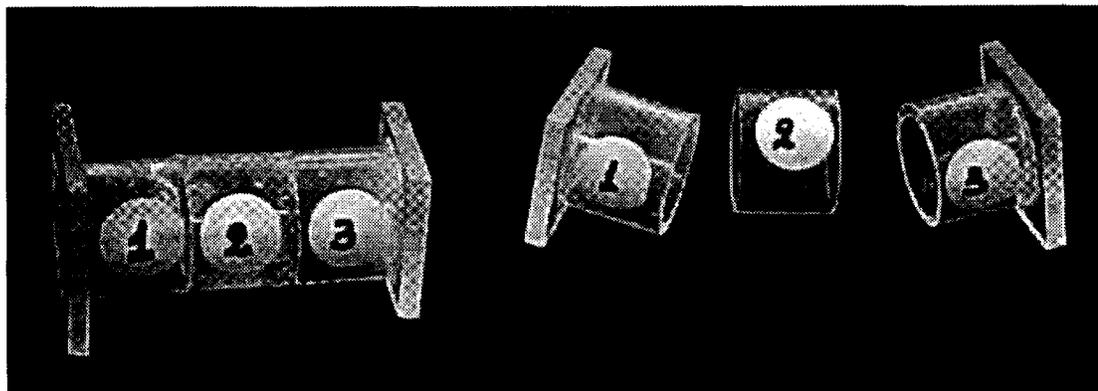
donde  $\gamma$  es el valor de la tensión superficial y  $r$  el radio del poro. El movimiento de agua por surfactantes, hasta la actualidad, ha sido estudiado en columnas formadas por materiales de tamaño de partícula grande (arena) y uniforme [1-2,4], siendo la diferencia de tensión superficial (de los sitios con y libres de surfactante) la generadora del movimiento de agua. La utilización de surfactantes como transportadores de agua (bomba de succión química) en procesos de eliminación de agua, en minas, recuperación ambiental, etc., hace imprescindible el estudio en sistemas de tamaño de partícula pequeño (finos), para poder analizar con posterioridad este proceso en sistemas naturales donde generalmente existe una distribución del tamaño de partícula.

El ascenso capilar, en sistemas porosos, aumenta con la disminución del tamaño de partícula del mismo y con el contenido en agua [5]. En consecuencia en los trabajos realizados a la fecha, el ascenso de agua capilar en la columna es mínimo y ha podido despreciarse debido a: la utilización de sistemas de tamaño de partícula grande y al bajo contenido de agua (alrededor de 10%), necesario para la formación del film continuo. En los sistemas de partículas finas, la obtención del film de agua continuo se produce con contenidos de agua mayores al 30% [1], debido a ello, el ascenso capilar originado por el tamaño de partícula y contenido en agua debe tenerse en cuenta.

El objetivo del presente trabajo es analizar, la influencia del ascenso capilar durante el ensamblado de la columna (en forma vertical y horizontal) en el transporte de agua por surfactantes, en sistemas de partículas de pequeño tamaño (caolín) y compararlo con partículas de mayor tamaño (perlas de vidrio).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se usó una caolinita de DBK Company (6Tile lote 74) con tamaño de partícula 50%  $< 2\mu\text{m}$  y superficie específica BET de  $20.5\text{m}^2/\text{g}$ . La composición química expresada en % de óxidos fue:  $\text{SiO}_2 = 45.5$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38.1$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.3$ ;  $\text{TiO}_2 = 1.4$ ;  $\text{CaO} = 0.4$ ;  $\text{MgO} = 0.5$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0.04$  y  $\text{H}_2\text{O} = 13.8$ . El surfactante utilizado fue 1-tetradecanol (Fluka). Las perlas de vidrio utilizadas (Dragon-Werk, Bayruth, Alemania), con tamaño de partícula 98%  $< 110\mu\text{m}$  (diámetro nominal medio entre 80 y  $110\mu\text{m}$ ), fueron tratadas durante 24 horas en HCl concentrado y luego lavadas con agua destilada. El movimiento de agua se estudió en columnas cerradas en los bordes, constituidas por tres anillos de acrílico (de 2cm de diámetro y 1,5 cm de altura cada uno). La figura 1 muestra la columna utilizada.



**FIGURA 1.** Columna utilizada para el estudio del movimiento de agua por surfactante.

El método utilizado, para medir el movimiento de agua, fue el siguiente: a 14g de material se le agregó agua hasta alcanzar un determinado contenido de agua inicial y se mezcló profusamente. Esta mezcla, se dividió en dos partes. Una de ellas se utilizó para llenar los anillos 2 y 3 de la columna. A la otra parte de la mezcla, se agregó el surfactante sólido (0.2g) y se mezcló profusamente, llenándose luego el anillo 1. El ensamblado de las columnas en sentido vertical, consistió en llenar el anillo 3 con material, unirle el anillo 2, llenar este último anillo y posteriormente adicionarle el anillo 1 lleno. Para el ensamblado de las columnas en sentido horizontal, los anillos 3 y 2 se unieron previamente, se llenaron en posición horizontal y posteriormente sin modificar la posición se adicionó el anillo 1 lleno. Los anillos fueron unidos entre sí mediante cinta adhesiva y la columna pesada para determinar la cantidad de material húmedo. Después de un tiempo de contacto de 24hs, establecido como el tiempo en el que se alcanza el equilibrio [6], en posición horizontal, la columna fue pesada para verificar que las pérdidas por evaporación fuesen despreciables. Los anillos fueron cuidadosamente pesados separadamente, en portamuestras de aluminio previamente tarados, y posteriormente secados a 100°C para determinar el contenido de agua, el cual fue expresado como g de agua por 100g de material seco. El contenido de agua final determinado en cada anillo se definió como positivo cuando este fue superior al contenido inicial y la dirección del movimiento de agua en el sentido anillo 1-2 a 3. Los valores totales de agua movida se expresaron como valores absolutos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estudiar la influencia del ascenso capilar, en partículas de pequeño tamaño (caolín), sobre el movimiento del contenido en agua en la columna por surfactante, se usó el valor de agua inicial máximo de  $37 \pm 2\%$ , determinado por Tschapek et al. [1], que es donde el film de agua sobre las partículas es continuo. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos de movimiento de agua, sin surfactante (blancos) para 37% de agua inicial en todos los anillos y las dos posiciones de ensamblado de la columna. En la Tabla 1 puede apreciarse un total de agua movida (en valor absoluto) de alrededor de 1.0%, para las dos posiciones de ensamblado de la columna, coincidiendo con los datos obtenidos para blancos en otros sistemas [6].

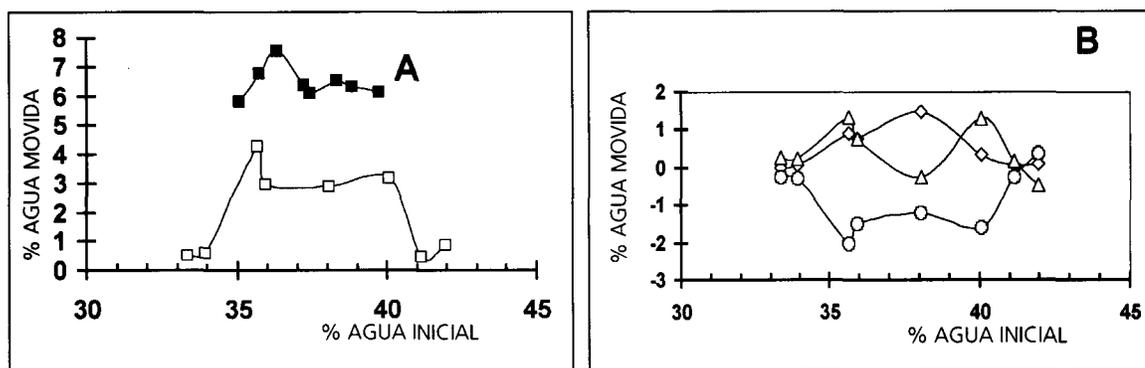
La dirección del movimiento de agua, en sistemas sin surfactante (blancos), generado por la presión manual durante el armado de las columnas es en la dirección positiva [7], del anillo 2 al 3, corroborado en sistemas de suelos sin surfactante [6]. El comportamiento de la dirección del agua movida en este sistema (Tabla 1) difiere entre las distintas posiciones de ensamblado, lo cual pone en

evidencia el efecto del ascenso capilar originado por la posición vertical durante el ensamblado de la columna, que transfiere agua del anillo 2 al 1. El movimiento de agua en la columna ensamblada horizontalmente es en el sentido positivo (anillo 1 a 3), originado por la presión manual durante el ensamblado de la misma.

**TABLA 1.** Porcentajes de agua total movida, en sistemas de caolín, sin surfactante (blancos) y 37% de agua inicial en los anillos.

Columna	Anillo			
	Total	1	2	3
Vertical	1.4	0.2	-0.7	0.5
Horizontal	1.6	-0.3	-0.5	0.8

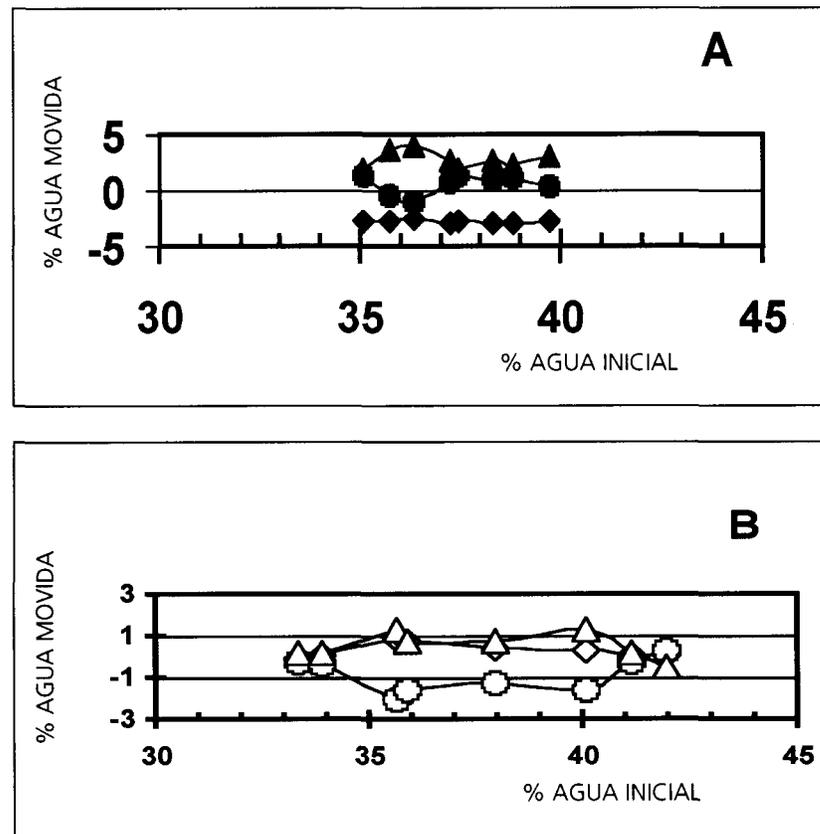
La Figura 2 muestra la cantidad de agua total movida, con surfactante, en las columnas ensambladas vertical (A) y horizontalmente (B), después del tiempo de equilibrio (24hs) en función del contenido de agua inicial.



**FIGURA 2.** Porcentaje de agua total movida, en sistemas de caolín, para las columnas ensambladas vertical (A) y horizontalmente (B), en función del contenido de agua inicial.

El movimiento de agua, en la columna ensamblada en posición vertical (Figura 2a) es de alrededor de 6% y con dispersiones del orden de 1% (entre 6 y 7%), para un rango de agua inicial cercano al indicado por Tschapek et al. [1], donde se produce el máximo movimiento de agua. Mientras que los valores obtenidos para la columna ensamblada en posición horizontal (Figura 2b), son menores pero con mayor dispersión, del orden de 3% (entre 1 y 4%), en ese mismo rango de agua inicial. La Figura 3 muestra el detalle del agua movida en cada anillo para el mismo intervalo de agua inicial indicado en la Figura 2.

En la Figura 3 A, correspondiente al ensamblado vertical, el anillo 1 retiene en promedio valores de agua cercanas a las iniciales y/o positivas ( $\approx 1\%$ ), mientras que en los anillos 2 y 3 disminuyen y aumentan, respectivamente, su contenido en agua respecto del contenido inicial, coincidiendo estos sentidos de la dirección de agua con los obtenidos para los blancos (Tabla 1). Los valores de agua movida hacia el anillo 3, son superiores a los del mismo anillo de la columna horizontal (Figura 3b). La Figura 3b, correspondiente a la posición horizontal de ensamblado, indica que el anillo 1, después del equilibrio, contiene menos cantidad de agua que la inicial. El empuje de agua por el esparcimiento del



**FIGURA 3.** Agua movida, en sistemas de caolín, en cada anillo en función del contenido de agua inicial. Columnas ensambladas en posición: vertical (A) y horizontal (B). Anillos 1 (●), 2 (◆) y 3(▲).

surfactante se evidencia claramente en los anillos 2 y 3 con valores de movimiento de agua positivos, coincidiendo con los valores obtenidos para otros sistemas [7]. En particular en los valores extremos de agua inicial estudiados, los cuales se alejan del valor de agua máximo (indicado para este sistema =37%), el exceso o deficiencia de agua para formar el film óptimo y continuo de agua, produce valores de movimiento de agua coincidentes y cercanos a los encontrados en los blancos (de alrededor de 1% de agua total movida, Tabla 1). Efecto que no se evidencia en las columnas de ensamblado vertical, además de diferir estas columnas respecto a las columnas de ensamblado horizontal en la cantidad de agua final encontrada en el anillo 2, la cual permanece constante (negativa) e independiente del rango de agua inicial.

La hipótesis que plantea el análisis de estas figuras es la siguiente. La diferencia de contenido de agua final en el anillo 1, entre los dos tipos de ensamblados, indicaría que durante este proceso en la columna vertical (Figura 2a) se produce un movimiento de agua por ascenso capilar (del anillo 3 al 2), ya evidenciado en los blancos de la columna vertical donde el agua se traslada al anillo 1, y al encontrarse el surfactante (anillo 1) con un mayor contenido en agua (respecto a la inicial) en el anillo 2, genera una presión capilar que provoca un mayor movimiento de agua hacia el anillo 3.

Para evaluar la hipótesis planteada se ensamblaron columnas de caolín, con surfactante en el anillo 1 y con distinto contenido en agua inicial en los anillos 1 y 2-3. La Tabla 2 recoge, como ejemplos representativos, los valores obtenidos de movimiento de agua para contenidos de agua

inicial de 42% y 44% y de 34 y 42% en los anillos 1 y 2-3, respectivamente. El sentido de la dirección de agua fue coincidente con columnas realizadas con otros contenidos de agua iniciales en los anillos 1 y 2-3, respectivamente. Es importante destacar que los valores de agua total movida en ambas columnas (Tabla 2), cuando al agua inicial entre los anillos es diferente, son superiores a los hallados para los sistemas correspondientes al ensamblado de la columna vertical (alrededor de 7%, Figura 3a).

La realización de columnas sin surfactante (blancos) con distinto contenido en agua inicial entre los anillos, produjo el movimiento esperable de agua desde los anillos con mayor contenido en agua (anillos 2 y 3) hacia el anillo de menor contenido en agua (anillo 1). Los valores de porcentaje de agua movida, en cada anillo, obtenidos en la Tabla 2, muestran una coincidencia importante entre los dos tipos de ensamblado de la columna. El valor del porcentaje de agua en el anillo 2 es negativo y constante, lo cual demuestra la hipótesis planteada (mayor agua en el anillo 2 con la que se enfrenta el surfactante y producción de un mayor movimiento de agua total). El valor negativo de agua movida obtenido para el anillo 1 de la columna horizontal, respecto a los valores obtenidos en la Figura 3b, corrobora también la importancia del distinto contenido en agua entre los anillos 1 y 2-3.

**TABLA 2.** Porcentajes de agua movida, para caolín distinto contenido de agua inicial en los anillos 1 y 2-3, respectivamente.

Columna	% Agua inicial	% Agua movida			
		Total	1	2	3
Vertical	36 y 42	11.6	-1.9	-3.9	5.8
	42 y 44	11.8	-2.8	-3.1	5.9
Horizontal	36 y 42	12.6	-3.6	-2.7	6.3
	42 y 44	15.0	-4.6	-2.9	7.5

Para evidenciar la ausencia del ascenso capilar en sistemas de tamaño de partícula grande, se realizaron los mismos ensamblados de columnas en sistemas de perlas de vidrio. Los valores obtenidos en estos sistemas para el movimiento de agua, sin surfactante y 18% de agua inicial (agua máxima inicial para estos sistemas [1]), están indicados en la Tabla 3.

En la Tabla 3 puede verse que para estos sistemas (blancos) no existe variación entre las distintas posiciones de ensamblado de la columna, lo cual marca la ausencia de ascenso capilar. Los valores de agua total movida son similares a los obtenidos para el sistema de blanco de caolín.

**TABLA 3.** Porcentajes de agua movida en perlas de vidrio (blancos) sin surfactante, con 18% de agua inicial.

Columna	Total	Anillo		
		1	2	3
Vertical	1.8	-0.2	-0.7	0.9
Horizontal	1.6	-0.2	-0.6	0.8

La Tabla 4, muestra un ejemplo representativo de los puntos obtenidos para columnas de perlas de vidrio, con contenido de agua inicial constante en todos los anillos (18%) y con distinto contenido de agua inicial entre los anillos 1 y 2-3 (18 y 24%, respectivamente).

**TABLA 4.** Sistema perlas de vidrio. Agua movida, en cada anillo para contenidos de agua inicial. 18 y 24% indican los contenidos de agua inicial de los anillos 1 y 2-3, respectivamente.

Columna	% Agua inicial	% Agua movida			
		Total	Anillo		
			1	2	3
Vertical	18	3.6	-0.1	-1.7	1.8
	18 y 24	5.0	-0.2	-2.3	2.5
Horizontal	18	2.4	-0.1	-1.1	1.2
	18 y 24	3.8	-0.1	-1.8	1.9

Los resultados obtenidos en esta Tabla 4 indican que el movimiento total de agua en el sistema de perlas varía con contenidos de agua inicial constante o distinta entre los anillos 1 y 2-3, para los dos tipos de ensamblado de la columna, vertical (3.8 a 5.0%) y horizontal (2.4 a 3.8%), coincidiendo con lo encontrado para el sistema de caolín (Figura 3 y Tabla 2). Los menores valores de agua total movida obtenida en los sistemas de perlas de vidrio coinciden con lo determinado para otros sistemas de tamaño de partícula similar [1].

En los sistemas de perlas de vidrio, con agua inicial constante, contrariamente a lo hallado para los sistemas de caolín, el movimiento de agua en el anillo 1, no presenta variación en la dirección del agua movida (valores negativos) para ambos ensamblados de la columna. Existe una diferencia en el total de agua movida entre los dos tipos de ensamblado de la columna, lo cual podría evidenciar una mínima influencia del ascenso capilar en los sistemas de partículas gruesas. La confirmación de este hecho requiere de un estudio estadístico, el cual se está llevando a cabo.

En los sistemas de perlas de vidrio, con distinto contenido inicial de agua, el sentido de la variación del contenido de agua en los anillos coincide con lo obtenido para los sistemas de caolín (Tabla 2) y evidencia nuevamente el mayor movimiento de agua por el surfactante, cuando este se enfrenta a un mayor contenido en el anillo 2.

## CONCLUSIONES

El movimiento de agua por surfactantes en sistemas de partículas de pequeño tamaño (caolín), está influenciado de manera positiva por el ascenso capilar (evidenciado en los sistemas sin surfactante, blancos) que se produce durante el ensamblado de la columna en forma vertical. Esto provoca un aumento en el contenido de agua inicial del anillo 2, esta diferencia de agua genera una mayor cantidad de agua movida en los sistemas con surfactante ensamblados verticalmente. En los sistemas de blancos de partículas de mayor tamaño (perlas de vidrio) no se evidencia, en forma notoria, el ascenso capilar durante el ensamblado vertical de la columna.

El movimiento total de agua por surfactantes se ve aumentado en los sistemas con distinto contenido en agua entre los anillos con surfactante, tanto en sistemas de pequeñas como de grandes partículas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del CONICET a través del Proyecto IP 0217/98.

## REFERENCIAS

- [1] Tschapek, M., Wasowski, C.; Falasca S. *J. Disp. Sci. and Tech.* **1987**, 8, 493.
- [2] Karkare, M.V.; Fort, T. *Langmuir*, **1993**, 9, 2398.
- [3] Adamson, A. *Physics and Chemistry of surfaces* 5<sup>th</sup> ed. J. Wiley & Sons. NY. **1990**. Ch. II.
- [4] Karkare, M.V.; Fort, T. *Langmuir*, **1993**, 9, 1684.
- [5] Baver, L. In: *Soil Physics*. Ch. 7 Soil water (ed. L. Baver) Wiley & Sons, NY. **1959**.
- [6] Zabala, S.M. *El efecto de la materia orgánica del suelo en el transporte de agua por surfactantes*. Magister Scientiae. UNCPBA. Marzo **2001**.
- [7] Tschapek, M.; Wasowski, C. *Coll. and Surfaces*, **1982**, 5 65.