

## EFECTO DEL POTENCIAL IÓNICO SOBRE LA ADSORCIÓN ESPECÍFICA DE CATIONES EN SUSPENSIONES DE LATERITA Y DE CIENO CARBONATADO

Yaniel Cardero Llopiz, Leonel R. Garcell Puyáns  
Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente

*La adsorción específica de cationes, sobre las superficies del mineral laterítico y del  $\text{CaCO}_3$ , ha sido investigada empleando la técnica de valoración potenciométrica y el método de adición individual de electrolitos a las suspensiones. Se utilizaron como materiales sólidos de ensayo el carbonato de calcio reactivo y tres muestras tomadas del proceso de lixiviación ácida a presión (LAP): dos de mineral laterítico y una de la suspensión industrial de cieno carbonatado; siendo preparadas sus suspensiones con agua destilada y con dos tipos de medios industriales: el agua cruda o de proceso y el agua del reboso de los espesadores.*

*Para el análisis se parte de los resultados experimentales de adsorción específica de los distintos cationes y del conjunto de curvas de estabilidad y sus correspondientes valores de puntos de carga cero (p.c.c). Con los medios dispersantes industriales todos los cationes estudiados producen un desplazamiento en el p.c.c. Se pudo verificar que la adsorción específica de los cationes, y su influencia sobre el desplazamiento en el p.c.c., muestran una relación de dependencia con sus respectivos potenciales iónicos.*

**Palabras clave:** potencial iónico; suspensiones de laterita; suspensiones de carbonato de calcio; adsorción específica de cationes; punto de carga cero; estabilidad coloidal.

*Specific adsorption of cations on lateritic mineral and  $\text{CaCO}_3$  surfaces has been investigated with adsorption experiments by the electrolyte addition method and potentiometric titration technique. Reactive  $\text{CaCO}_3$  and three samples from the pressured acid leaching process (PAL): two laterite samples and an industrial carbonated suspension were chosen, and its suspensions were prepared using distilled water and two types of industrial medium: crude water, and thickener water overflow. The starting point of the analysis was the experiment adsorption data and a set of stability curves and its corresponding points of zero charge values (p.z.c). With the industrial medium all cations studied produce a shift in the p.z.c. It could be verified that the preferential specific adsorption of cations and its influence on the shift in the p.z.c show a dependence relation with the Ionic Potential of adsorbed cations.*

**Key words:** ionic potential; laterite suspensions; calcium carbonate suspensions; adsorption of cations; point of zero charge; colloidal stability.

### Introducción

Es conocido que las dispersiones coloidales, o aquellas con alto contenido de partículas muy finas, al ponerse en contacto con medios polares, como el agua, adquieren cargas eléctricas superficiales que dan lugar a las llamadas propiedades interfaciales. Según la teoría DLVO (Deryaguin-Landau y Verwey-Oberbeek) en las suspensiones coloidales se genera una interacción neta entre las partículas cargadas en dependencia del equilibrio que alcanzan las fuerzas de atracción y de repulsión entre éstas /Shaw D., 1977; Hunter R. J., 1981; Darias M., 1987/. Bajo estas condi-

ciones, a determinados pH la superficie sólida puede presentar una carga neta provocada por el exceso de iones positivos o negativos adsorbidos en ella, dando lugar a suspensiones estables debido al predominio de las fuerzas de repulsión electrostática entre las partículas.

De igual manera, a un valor específico de pH, la superficie del sólido resulta eléctricamente neutra, y este valor de pH se identifica como punto de carga cero (p.c.c), para el cual se establece el dominio de las fuerzas de atracción de Van der Waals, haciéndose inestable la dispersión. Por consiguiente, la estabilidad de una suspensión aumenta en la medida en que su pH se

aleja del valor del p.c.c. /Somasundaran P. y E. Agar, 1967; Shaw D., 1977; Hunter R. J., 1981; James R. O. y G. A. Parks, 1982; Ross S. y I. D. Morrison, 1988/. Una situación similar prevalece en la interfase sólido-líquido para determinados compuestos insolubles, como el  $\text{CaCO}_3$  y los óxidos minerales, en los que las especies iónicas calcio y carbonato (para el primero), y los iones hidrógeno e hidroxilo (para los óxidos) constituyen sus respectivos iones determinantes del potencial.

La adsorción específica de iones que se encuentran en el medio constituye uno de los mecanismos importantes que contribuyen a cargar eléctricamente a las partículas. La densidad de carga eléctrica que adquieren las partículas depende, fundamentalmente, del pH de la suspensión, del contenido iónico del medio y de la composición química de la fase sólida /Darias M., 1987; Leong Y. K. *et al.*, 1995; Garcell L. R. *et al.*, 1998/. Según las leyes de la química de Superficie son adsorbidos por la superficie del sólido, preferentemente, los iones de mayor valencia, y para iones de una misma valencia, los que posean mayor radio iónico. Así, se han establecido las series liotrópicas de adsorción de muchos óxidos y oxihidróxidos, conocidas también como series de Hofmeister /Breeuwsma A. y J. Lyklema, 1973; Shaw D., 1977; Hunter R. J., 1981; Darias M., 1987/. En las industrias química e hidrometalúrgica cubanas existe una gran diversidad de dispersiones que exhiben comportamientos típicos de las dispersiones coloidales. Este es el caso de las suspensiones de mineral laterítico y de cieno carbonatado, que se manipulan en el proceso de lixiviación ácida a presión (LAP), en Moa /Cerpa *et al.*, 1999; Garcell L. R., 2004; Linares A., 2009/.

Recientemente, ha sido elaborada una nueva tabla periódica de los elementos y sus iones para ciencias de la tierra (no se presenta en este trabajo) /Railsback L. B., 2003; Bernal J. P. y L. B. Railsback, 2008/, en la que las especies químicas son clasificadas de acuerdo a sus posibles estados de oxidación en la naturaleza, y donde juega un importante papel el Potencial Iónico, como característica intrínseca de cada ión, que permite identificar tendencias geoquímicas en la tabla periódica de los elementos y sus iones. El potencial iónico ( $\phi$ ) se define, de acuerdo con la

ecuación (1,1), como la relación entre la valencia ( $z$ ) del ión y su radio iónico ( $R_i$ )

$$\phi = (z/R_i) \quad (1)$$

El radio iónico es, al igual que el radio atómico, la distancia entre el centro del núcleo del átomo y el electrón estable más alejado del mismo, pero haciendo referencia no al átomo, sino al ión / [www.encyclopedia.com/doc/1O13-ionicradius/](http://www.encyclopedia.com/doc/1O13-ionicradius/). Los radios iónicos de los cationes son menores que los atómicos; siendo lo contrario en los aniones. El potencial iónico ( $\phi$ ) constituye una medida de la densidad de carga de los iones. Al aumentar la magnitud de esa densidad de carga se fortalecen los enlaces con otros iones /en.wikipedia.org/wiki/Ionic-potential/. El valor de  $\phi$  varía de una especie química a otra debido a las distintas magnitudes de sus valencias y radios iónicos. En general, en la nueva tabla periódica de railsback, los valores de  $\phi$  se incrementan de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha. Sin embargo, un cierto número de elementos aparecen varias veces en dicha clasificación debido a que presentan estados de oxidación múltiple, entre los cuales se encuentran el hierro, el cobre, el silicio, el vanadio, el cobalto, el estaño y otros. Por ejemplo, el catión hierro (Fe) se presenta en la naturaleza en dos estados de oxidación: con valencia 2 (radio iónico = 0,76 Å) y  $\phi = 2,63$ ; y con valencia 3 (radio iónico = 0,64 Å) y  $\phi = 4,70$ . Es por ello que, en la nueva tabla, el Fe (III) ocupa una posición por encima de la del Fe (II).

En este trabajo se analizan los datos experimentales de estabilidad, y de sus respectivos valores de p.c.c obtenidos en suspensiones acuosas de mineral laterítico y de cieno carbonatado, verificándose que la adsorción específica de los cationes, y su influencia sobre el desplazamiento en el p.c.c., muestran una relación de dependencia con sus respectivos potenciales iónicos.

## Materiales y métodos

### Origen de los materiales y técnicas de caracterización utilizadas

Las dos muestras de mineral laterítico (RB-1 y LR-2) y la de cieno carbonatado, y las aguas industriales de reboso y de proceso, fueron extraí-

das del proceso de lixiviación ácida a presión (LAP), en Moa. El agua destilada y el carbonato de calcio reactivo se obtuvieron en el laboratorio de química inorgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente. Las composiciones químicas de las muestras de laterita y del sólido de la suspensión de cieno carbonatado se determinaron por el método de fluorescencia de Rayos X. El análisis del contenido de iones de las muestras de las aguas industriales se realizó en el laboratorio del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) de Santiago de Cuba, según las técnicas y normas nacionales establecidas.

### Ensayos para la determinación de la estabilidad de las suspensiones

En los ensayos de estabilidad se ha empleado la técnica potenciométrica de valoración rápida /Mao M. *et al.*, 1994; Garcell L. R., 1998; Beatón M., 2001/. Las curvas de estabilidad se obtuvieron con datos de densidad de carga eléctrica de las partículas ( $\sigma_o$ ) en función del pH (presentados en términos de  $\Delta b$  vs. pH). El término  $\Delta b$  se utiliza en representación de  $so$  ( $C/m^2$ ), ya que ambas variables son directamente proporcionales, según la expresión (2.1), donde B ( $C/m^2 \cdot mol$ ) es una constante:

$$\sigma_o = B \cdot \Delta b \quad (2)$$

El punto de carga cero (p.c.c.) es el valor de pH en el que la densidad de carga superficial se anula ( $\Delta b = 0$ ), siendo:

$$\Delta b = ([H^+] - [OH^-]) / V_{TOT}, \text{ mol/L} \quad (3)$$

donde:

$[H^+]$  y  $[OH^-]$  son los moles de los iones determinantes del potencial, acorde con los volúmenes y concentraciones del ácido y de la base consumidos; y  $V_{TOT}$  es el volumen total de la suspensión, incluyendo los volúmenes de ácido y base añadi-

dos. Para la medición del pH se utilizó un peachimetro CRISON BASIC 20. Los ensayos se realizaron preparando 100 ml de la suspensión, con 8 g/L de la fase sólida (unas con agua destilada y otras con las aguas industriales), y concentraciones del electrolito indiferente de 0,01 y 0,10 mol/L de  $KNO_3$ . Para el control del pH se utilizaron disoluciones de  $HNO_3$  y de  $KOH$ , ambas con concentraciones de 0,2 mol/L.

## Resultados y discusión

### Composición química e iónica de los materiales utilizados

La laterita está constituida por una mezcla de óxidos como resultado del proceso natural del intemperismo químico, siendo la goethita la fase mineralógica principal /Garcell L.R., A. Cerpá y A. F. Almaguer, 1995; Almaguer, 1996/. En la tabla 1 se dan los datos de composición química de las muestras de laterita, RB-1 y LR-2. Puede verse que ambas muestras poseen composiciones similares, con predominio del hierro, que es el elemento más abundante en el mineral laterítico. Están presentes, además, otros elementos en proporciones menores, tales como: el aluminio, la sílice, el cromo, el magnesio, el níquel y el cobalto. Ambas muestras presentan, en general, la composición química típica de la laterita cubana.

La fase sólida de la muestra de cieno carbonatado está constituida, en esencia, por carbonato de calcio (73,6 % en peso del total de la muestra). Esta fase posee un contenido de calcio en el orden de 29,44 % en peso del total de la muestra mineral. También contiene otros elementos en menores concentraciones, como el magnesio (1,7 %), el hierro (1,36 %), el aluminio (0,5 %), y la sílice (0,047 %).

Tabla 1  
Composición química de las muestras de laterita, (% en peso)

Muestra	Ni	Co	Fe	Mg	Al	S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
RB-1	1,31	0,167	48,4	0,31	3,62	2,82	1,79	1,18	0,015	0,031
LR-2	1,65	0,168	48,3	0,38	3,49	2,71	1,69	1,08	0,012	0,036

El contenido de iones más importantes de las aguas industriales de reboso de los espesadores, antes del contacto con el mineral (para las dos muestras) y después de su contacto con éste (sólo para la muestra LR-2) se presenta en la tabla 2. Por lo general, en el agua de reboso predominan

las concentraciones de magnesio y sílice; sin embargo, se observa en la tabla que las muestras utilizadas en el trabajo presentan, además, un contenido comparativamente importante del anión sulfato, encontrándose los iones calcio, magnesio y silicio en menores concentraciones.

Tabla 2  
Composición iónica de las aguas de reboso de cada muestra, antes y después del contacto con el mineral, (mg/L)

Muestras	Agua de reboso	Ca	Mg	Silicio	Sulfato
RB-1	Antes	13,10	18,02	-	90,00
LR-2	Antes	3,36	11,28	1,27	27,70
LR-2	Después	8,66	6,98	0,638	27,40

En la tabla 3, se dan los datos del contenido iónico del agua de proceso antes y después de su contacto con el CaCO<sub>3</sub> reactivo. Se observa que,

antes del contacto con el sólido, están presentes en esta muestra iones magnesio, cloruro, silicio y calcio.

Tabla 3  
Composición iónica del agua de proceso antes y después del contacto con el CaCO<sub>3</sub>, (mg/L)

Iones	Mg	Ca	Silicio	Cloruro	Sulfato
Antes del contacto con el sólido	18	8	12	14	0
Posterior al contacto con el sólido	13	13	8	14	0

### Adsorción específica de iones en las suspensiones de laterita y de carbonato calcio

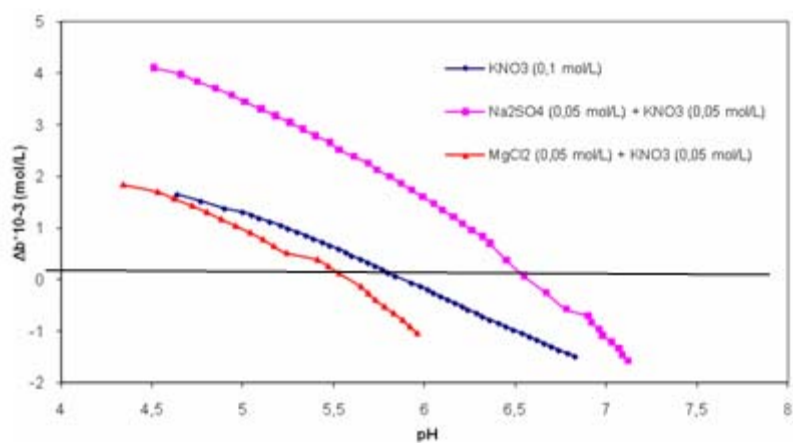
En trabajos anteriores /Cerpa A. *et al.*, 1999; Garcell L. R., 2004; Linares A., 2009/, se determinó que en las suspensiones de laterita y de carbonato de calcio no se produce la adsorción específica de los iones monovalentes: cloruro, nitrato, potasio y sodio, por lo que el KNO<sub>3</sub> y el

NaCl han sido utilizados como electrolitos indiferentes en los estudios de estabilidad.

En los ensayos realizados, se determinó que la pulpa de la muestra de laterita RB-1, preparada con agua destilada y utilizando el KNO<sub>3</sub> como electrolito indiferente, presenta un valor de p.c.c próximo a 5,80 (figura 1). Al añadir a la suspensión el electrolito MgCl<sub>2</sub>, su curva de estabilidad se desplaza hacia un pH más ácido, con un valor de su p.c.c igual a 5,57, lo cual sugiere que ha

ocurrido la adsorción específica de iones magnesio, ya que como se ha explicado anteriormente el ión cloruro no se adsorbe en la laterita. Un comportamiento similar se obtuvo al preparar otra suspensión acuosa, con la misma muestra laterítica, a la que se le añadió el electrolito  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , cuya curva de estabilidad se desplazó hacia un pH más básico con un valor de p.c.c igual a 6,52, indicando con ello que han sido adsorbidos los iones sulfato, puesto que el ión sodio, prácticamente, no se adsorbe. Este comportamiento está acorde con los resultados de un estudio previo realizado, acerca de la capacidad de adsorción en la goethita

(fase mineralógica principal de la laterita) de los principales iones contenidos en agua de mar, y en el cual se demuestra que la goethita posee gran afinidad por los iones hidrógeno, magnesio y sulfato, y, además, que la adsorción del magnesio > calcio es contraria a la serie regular de Hofmeister /Baliestrieri L. S. y J. W. Murray, 1981/. Al parecer, la adsorción de los iones magnesio ocurre como consecuencia de reacciones de intercambio con el calcio que se desorbe de la superficie de la laterita (ver tabla 2). El sulfato también podría estar intercambiándose con los iones cloruro que se desorben de la laterita /Torres E., 1989/.



**Fig. 1** Curvas de estabilidad de las suspensiones de laterita (muestra RB-1) preparadas con agua destilada, en presencia de distintos electrolitos.

Un comportamiento similar al representado en la figura 2 ha sido descrito con detalle para una suspensión acuosa de hematita, con la cual se realizaron ensayos de adsorción específica en agua destilada por adición individual de los electrolitos  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  /Breeuwsma A. y J. Lyklema, 1973/.

La suspensión de la muestra LR-2 presenta un p.c.c igual a 5,75, en agua destilada y en presencia del electrolito indiferente  $\text{KNO}_3$ . En cambio, esa misma muestra, en su agua industrial de rebose alcanza un p.c.c de 5,25 (no se presenta el gráfico). La disminución del valor del p.c.c indica que ha ocurrido la adsorción específica de un catión. Por los resultados ya obtenidos con la muestra RB-1, y según los datos de la tabla 2 para la muestra LR-2, es obvio que se trata del catión magnesio, probablemente mediante un mecanismo de intercambio con el catión calcio, el cual se desorbe, como puede apreciarse en la tabla. Tam-

bién, se observa la adsorción del silicio, y, se aprecia que prácticamente no hay adsorción de los iones sulfato en esta muestra.

Ensayos realizados en la suspensión de  $\text{CaCO}_3$  reactivo con el electrolito indiferente en agua destilada (ausencia de adsorción específica), dieron un valor de p.c.c = 8,3; sin embargo, para la suspensión industrial de cieno carbonatado se encontró un valor de p.c.c = 9,4. La diferencia observada en los p.c.c de las dos dispersiones se atribuye a que, en el cieno carbonatado, para altos valores de pH, deben ser mayores las concentraciones en equilibrio de los iones carbonato (uno de los iones determinantes del potencial). Esta explicación se sustenta en los resultados obtenidos en pruebas de estabilidad realizadas previamente, en las cuales se comprobó que, al aumentar las concentraciones de iones carbonatos en suspensiones de  $\text{CaCO}_3$  reactivo en agua destilada, la



---

curva de estabilidad y el p.c.c se desplazan hacia valores de pH más básicos (no se muestran los datos) /Cardero Y., 2010/. Y, asimismo, en otro trabajo /Somasundaran P. y E. Agar, 1967/, mediante el análisis de datos termodinámicos de solubilidad de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) en el agua, se verificó que en condiciones de equilibrio, a elevados valores de pH, hay un exceso de iones carbonatos que son aportados por el proceso de disolución del sólido y adsorbidos en la superficie del mineral, consecuentemente con cantidades proporcionales a su concentración en la disolución; en este último trabajo se establece, además, que en el sistema calcita-agua, el valor de pH = 9,5 corresponde al p.c.c de la dispersión, y que el pH = 8,2 corresponde a su punto isoeléctrico. Ambos valores están muy próximos a los obtenidos en el presente trabajo, para las dispersiones analizadas.

La adsorción específica de iones sobre la superficie del  $\text{CaCO}_3$  se representa en la tabla 2 y en la figura 2. En la tabla se observa que las concentraciones de los iones magnesio y sílice disminuyen en el agua al adicionarle el  $\text{CaCO}_3$ , lo cual indica que ha ocurrido la adsorción específica de ambas especies en la superficie del sólido. En general, se considera que la adsorción específica de ambos iones sobre la superficie del carbonato es el resultado de reacciones de intercambio con los iones determinantes del potencial del carbonato de calcio, es decir, los iones calcio y carbonato, los que deben encontrarse próximos al estado de equilibrio en la superficie sólida, en dependencia del pH de la suspensión y de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico /Zachara J. M., Ch. E. Cowan y Ch. T. Resch, 1993/. Ello se describe de cierta manera en la misma tabla 2, en la que se aprecia la desorción de los iones calcio, sugiriendo que ha ocurrido el intercambio de los iones calcio por los de magnesio en la superficie del sólido. De manera similar a lo observado en las suspensiones de laterita, aparentemente el carbonato de calcio también muestra más afinidad por el magnesio que por el calcio, contrario a lo esperado de acuerdo con las reglas generales de la Química de Superficie /Shaw D., 1977; Darías M., 1987/.

En otros ensayos de estabilidad con dos suspensiones de  $\text{CaCO}_3$  reactivo preparadas con

agua destilada, a las que se le adicionó, individualmente, sales de  $\text{ZnSO}_4$  y de  $\text{CuSO}_4$ , se encontró que las curvas de estabilidad de cada electrolito fueron desplazadas hacia valores de pH más ácidos, lo cual es típico de la adsorción específica de los cationes, siendo sus correspondientes valores de p.c.c de 6,12, para la curva del zinc, y de 4,73, para la del cobre. Estos resultados ponen de manifiesto la preferencia del carbonato de calcio por el catión cobre respecto al catión zinc. No se observa efecto alguno que indique la adsorción específica del anión sulfato, como sucede en las suspensiones de laterita, lo cual puede atribuirse a que, posiblemente, tenga lugar (paralelamente) una reacción de precipitación de los iones sulfatos con los iones calcio disueltos en la superficie, dando lugar a la formación del yeso insoluble ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ).

Los resultados obtenidos con las suspensiones de  $\text{CaCO}_3$  con agua destilada, son utilizados para explicar algunos de los fenómenos que ocurren en las pulpas industriales de cieno carbonatado, las cuales son preparadas, también, con el agua de proceso. En la figura 2 se muestran las curvas de estabilidad obtenidas, y sus respectivos valores de p.c.c, al añadirle al medio los electrolitos  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$  y  $\text{AlCl}_3$ , individualmente a tres suspensiones industriales de cieno carbonatado. En la figura se observa que ocurre el desplazamiento de las curvas de estabilidad y de sus correspondientes p.c.c hacia valores de pH más ácidos, como era de esperar, de acuerdo con el incremento de la valencia del catión (tomando como punto de referencia el valor inicial del p.c.c = 9,4). Prácticamente no hubo un cambio apreciable en la posición de la curva de estabilidad del cloruro de sodio ni en la magnitud de su p.c.c, ya que este catión monovalente no es adsorbido por el sólido, como se ha explicado anteriormente. Para los otros dos cationes, los valores de sus puntos de carga cero cambian apreciablemente, desplazándose sus valores de p.c.c hasta 9,15, para el cloruro de bario, y hasta 8,95, para el cloruro de aluminio. Estas diferencias expresan el efecto esperado de las valencias de los cationes sobre la adsorción específica de éstos.

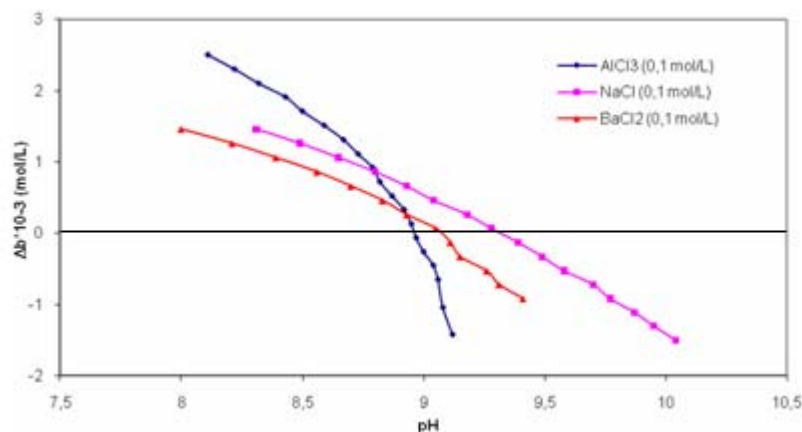


Fig. 2 Curvas de estabilidad de una suspensión de cieno carbonatado en presencia de electrolitos de valencias diferentes.

### Relación entre el potencial iónico y la adsorción específica de los cationes adsorbidos

De acuerdo con la clasificación de Railsback /Railsback L. B., 2006/, los iones con mayores potenciales iónicos son los que, preferentemente, serán adsorbidos sobre la superficie sólida. En general, esta hipótesis se sustenta en el hecho observado de que, en muchas dispersiones minerales, la posición de las curvas de estabilidad, y las magnitudes de sus p.c.c, muestran cierta dependencia con el valor de los potenciales iónicos de los cationes que se adsorben. En la tabla 3 se dan los valores de potencial iónico de los iones adsorbidos y de los p.c.c obtenidos para las suspensiones que han sido objeto de análisis en el presente trabajo. Puede apreciarse como, efectivamente, cuando ocurre la adsorción específica de los cationes, los valores de sus p.c.c se mueven hacia magnitudes de pH más ácidos, al aumentar el valor de sus respectivos potenciales iónicos.

En el caso de las suspensiones de laterita, la presencia del electrolito  $KNO_3$  no conduce a la adsorción del potasio, como se ha señalado antes. Nótese que el potencial iónico del catión potasio es muy bajo, inferior a la unidad, por consiguiente, de acuerdo con la hipótesis de Railsback, no sorprende el hecho de que estos iones monovalentes no se adsorban específicamente en los minerales y compuestos insolubles. Siguiendo este mismo razonamiento, el hecho de que el magnesio tenga un potencial iónico mayor que el calcio, explicaría la preferencia que muestran el mineral laterítico y el carbonato de calcio por el catión magnesio, respecto al catión calcio, lo cual ha sido tratado en la literatura como una irregularidad de la serie liotrópica de Hofmeister. De acuerdo con la nueva clasificación de la tabla periódica, propuesta por Railsback, este comportamiento, quizás, pudiera no constituir una irregularidad.

Tabla 3  
Especies iónicas adsorbidas, sus potenciales iónicos y sus efectos sobre los p.c.c, en las suspensiones estudiadas

Iones adsorbidos	Valencia	Radio iónico (Å)	Potencial iónico	Valor de p.c.c
------------------	----------	------------------	------------------	----------------

<b>Magnesio</b>	2+	0,65	3,08	5,57
<b>Calcio</b>	2+	0,99	2,02	-
<b>Potasio</b>	1+	1,33	0,75	5,85

**Suspensión de CaCO<sub>3</sub> reactivo (en agua destilada)**

<b>Cobre</b>	2+	0,69	2,90	4,73
<b>Zinc</b>	2+	0,74	2,70	6,12

**Suspensión industrial de cieno carbonatado**

<b>Aluminio</b>	3+	0,50	6,00	8,95
<b>Bario</b>	2+	1,35	1,48	9,15
<b>Sodio</b>	1+	0,95	1,05	9,40

En las suspensiones de CaCO<sub>3</sub> reactivo en agua destilada se analizan los resultados obtenidos al adicionar, individualmente, los electrolitos de CuSO<sub>4</sub> y de ZnSO<sub>4</sub>. Estos casos, constituyen, también, evidencias del efecto que ejerce el potencial iónico sobre la adsorción específica de los cationes cobre y zinc. Los resultados demostraron que el catión cobre, con un potencial iónico mayor que el del zinc, ejerce un efecto mayor sobre el desplazamiento de su curva de estabilidad hacia un pH menor, comparado con la curva correspondiente al catión zinc (ver tabla 3). De la misma manera, la no adsorción del catión sodio, así como la adsorción preferencial del catión aluminio respecto al bario, en las suspensiones de cieno carbonatado (ver fig. 2), pueden ser explicadas también como una consecuencia del efecto del potencial iónico sobre la adsorción específica de esos cationes. Así, al comparar las magnitudes de los potenciales iónicos en la tabla, se aprecia que el catión sodio posee un valor de  $\phi$  muy bajo, por lo que no debe ser adsorbido por el sólido de la dispersión; en cambio, el catión aluminio es el que posee el valor de  $\phi$  más alto, y, por lo tanto, no resulta sorprendente que sea adsorbido preferentemente, desplazando el p.c.c de la suspensión hacia el pH con el valor mas bajo de los tres.

Por consiguiente, los resultados obtenidos y analizados en el trabajo, sustentan la hipótesis de Railsback, en cuanto a que el potencial iónico puede constituir un parámetro indicador acerca del comportamiento que puede ser esperado en los fenómenos de adsorción específica de cationes en las suspensiones de laterita y de carbonato de

calcio, tanto en las preparadas con agua destilada como en las elaboradas con las aguas industriales de rebose y de proceso.

## Conclusiones

En los ensayos de adsorción específica de cationes, realizados con las suspensiones de laterita y de CaCO<sub>3</sub>, preparadas con agua destilada y con las dos aguas industriales, pudo establecerse que las fases sólidas muestran preferencia por determinados cationes y que la adsorción específica de éstos ocurre mediante reacciones de intercambio entre los cationes presentes en el medio dispersante y los iones determinantes del potencial u otros, que se encuentran en la superficie sólida.

Asimismo, sustentándose en el análisis del desplazamiento que experimentan las curvas de estabilidad y sus respectivos p.c.c, al ocurrir la adsorción específica de los cationes en las diferentes dispersiones estudiadas, se encontró que existe una relación efectiva entre el valor de los potenciales iónicos de los cationes y la adsorción específica de éstos, verificándose que, al aumentar el valor del potencial iónico del catión, se incrementa la posibilidad de su adsorción en la superficie del sólido, así como de su efecto sobre el desplazamiento del punto de carga cero hacia pH más ácidos.

## Bibliografía

1. Almaguer A. F.: "Composición de las pulpas limoníticas de la Planta Pedro Sotto Alba" (Parte II).



- 
- Período de Crisis de Sedimentación. Revista Minería y Geología, vol. XIII, N° 1, 27-30, 1996.
- Baliestrieri L.S y J.W.Murray: "The surface chemistry of goethite in major ion seawater". Am. Jour. Sci., 281, 788-806, 1981.
  - Beatón M.: "Análisis de factores que influyen sobre el proceso de sedimentación de pulpas lateríticas". Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2001.
  - Bernal, J. P. y L. B. Railsback: "Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra". Rev. mex. cienc. geol., vol. XXV, N° 2, México 2008.
  - Breevwsma A. y J. Lyklema: *Physical and Chemical Adsorption of Ions in the Electrical Double Layer on Hematite*, J. Colloid Interface Sci., vol. XLIII, No2, 1973.
  - Cardero Y.: "El Potencial Iónico de cationes como parámetro indicador del punto de carga cero (p.c.c) de suspensiones de óxidos y compuestos minerales" Tesis de Maestría, Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2010.
  - Cerpa A., M. T. García-González, P. Tartaj, J. Requena, L. R. Garcell y C. J. Serna: "Mineral- content and Particle Size Effects on the Colloidal Properties of Concentrate Lateritic Suspensions", Clays and Clay Minerals, vol. XLVII, No4, 515-521, 1999.
  - Darias, M.: Introducción a la química coloidal. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1987.
  - Garcell L.R., A. Cerpá y A. Almaguer: "Relación entre las características de sedimentación y granulométricas de las pulpas crudas de Moa y la presencia de determinadas fases mineralógicas". Revista Tecnología Química, vol. XV, No1, 1-8, 1995.
  - Garcell L. R., M. P. Morales, M. Andres-Vergés, P. Tartaj y C. J. Serna: "Interfacial and Rheological Characteristics of Maghemite Aqueous Suspensions", J. Colloid Interface Sci. 205, 470-475, 1998.
  - Garcell L.R.: " Sedimentación de suspensiones minerales: influencia de las propiedades superficiales y reológicas sobre el proceso". Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2004.
  - Hunter R. J.: "Zeta Potencial in Colloid Science", Academic Press, London, 1981.
  - James R.O. y G.A. Parks: *Surface and Colloid Science*, (E. Matijevic, Ed.), Plenum, New York, 1982.
  - Linares A.: "Estudio de la adsorción específica de iones en una suspensión de cieno carbonatado". Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2009.
  - Leong Y.K., P. J. Scales, T. W. Healy y D. V. Boger: J. Amer. Ceram. Soc. 78, 2209, 1995.
  - Mao M., D. Fornasiero, J. Ralston, R. S. C. Smart y S. Sobieraj: Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 85, 37-49, 1994.
  - Railsback, L. B.: *An Earth scientist's periodic table of the elements and their ions*. Geology, 31, (9), 737-740, 2003.
  - Railsback, L. B.: "An explanation of point of zero charge". Georgia, 30602-2501, 2006.
  - Ross S. e I. D. Morrison: *Colloidal Systems and Interfaces*, John Wiley and Sons, New York 1988.
  - Shaw, D. J.: "Introducción a la química de superficies y coloides". Editorial Alhambra, 2ª Edición, 1977.
  - Somasundaran, P. E. Agar: *The point of zero charge of calcite*; J. Colloid Interface Sci., 24, 433-440, 1967.
  - Torres E.: "Efecto de la interacción entre las partículas sobre el comportamiento reológico de las pulpas de las lateritas de Moa." Trabajo de Investigación. ISPJAM. Santiago de Cuba, 1989.
  - Zachara J. M., Ch. E. Cowan y Ch. T. Resch: *Metal Cation/Anion Adsorption on Calcium Carbonate: Implications to Metal Ion Concentrations in Groundwater* (2º Chapt.), Lewis Publishers, Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA, 37-47, 1993.
  - <http://www.encyclopedia.com/doc/1O13-ionicradius.html>
  - <http://en.wikipedia.org/wiki/Ionic-potential>.