

2º CONGRESO ARGENTINO DE ÁRIDOS

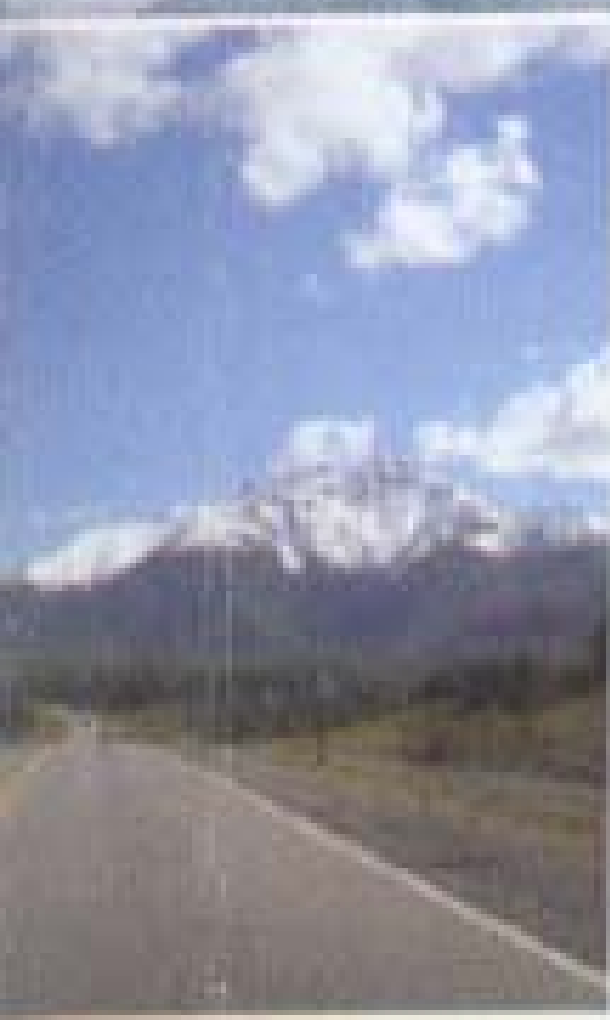
ÁRIDOS 2014

2º EXPO ÁRIDOS

SAN ISIDRO | BUENOS AIRES

LOS ÁRIDOS SON MUCHO MÁS QUE PIEDRAS

TOMO I



ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE ALGUNOS ÁRIDOS NATURALES Y ARTIFICIALES MEDIANTE EL ENSAYO QUÍMICO DE PUZOLANICIDAD Y EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD RESISTENTE

D. Rolny¹⁻²⁻³, L. Sovarzo³, L. Couyoupetrou¹⁻³⁻⁴,
C. Cavarozzi⁵⁻⁶, G. Cremaschi², R. Etcheverry⁴⁻⁵ y L.M. Forte²⁻³

Palabras Clave:

Residuos de demolición de mampostería cerámica, Subproductos sólidos de rocas de aplicación, Cenizas volcánicas.

Resumen

Las puzolanas están compuestas principalmente por sílice y alúmina, y son capaces de combinarse en presencia de agua con la

portlandita, formando nuevos productos de reacción de naturaleza cementante. La reactividad de distintos tipos de puzolanas naturales y artificiales, ha sido estudiada desde tiempo atrás. Recientemente, ha aumentado el interés por la valorización de algunos áridos artificiales a partir de la evaluación de sus propiedades puzolánicas, con el doble propósito de optimizar la gestión de residuos y reducir el consumo de energía. En trabajos previos del grupo de investigación, se ha estimado la reactividad puzolánica de residuos de demolición de mamposterías cerámicas (RDMC), subproductos sólidos (estériles) de la minería de rocas de aplicación (EIRA) y cenizas volcánicas (CV) procedentes de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle, mediante el método de la conductividad eléctrica, con resultados que sugirieron la pertinencia de continuar con estudios de mayor detalle. El objetivo del presente trabajo, fue validar los resultados anteriores mediante el ensayo químico de puzolanidad y la determinación del índice de actividad resistente (IAR). El ensayo químico se llevó a cabo mediante la aplicación de la norma UNE-EN 196-5: "Ensayo de puzolanidad para cementos puzolánicos". El IAR, fue determinado de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma UNE-EN 83451, "Determinación del índice de actividad resistente con cemento portland", para adiciones minerales. Los resultados obtenidos, confirmaron los hallazgos

¹ Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC).

² Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional (LATEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

³ Instituto de Geomorfología y Suelos (IGS-CISAUA), Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), UNLP.

⁴ Instituto de Recursos Minerales (INREMI), FCNyM-CIC.

⁵ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

⁶ Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), CONICET

Contacto: Luis María Forte, Instituto de Geomorfología y Suelos (IGS-CISAUA), Calle 3 N° 584 - La Plata (1900), tel. 54 221 4229923, CE lmforte@igs.edu.ar

encontrados mediante la aplicación del método de la conductividad eléctrica, con todos los valores de reactividad química, situados a los 7 días por debajo de la curva de saturación del ión calcio en la disolución, muy significativas para RDMC, con tendencias a los 15 días muy marcadas para CV y significativas para EIRA y RDC. El IAR mostró en todos los casos resistencias a los 28 días superiores al 75%. La factibilidad del empleo de los materiales estudiados como aditivos minerales a morteros y hormigones de distinto grado de compromiso estructural, sería de importante aplicación práctica para mejorar la gestión de residuos y el consumo de energía.

INTRODUCCIÓN

Las puzolanas están compuestas principalmente por sílice y alúmina, y son capaces de combinarse en presencia de agua con la portlandita, formando nuevos productos de reacción de naturaleza cementante. La reactividad de distintos tipos de puzolanas naturales y artificiales, ha sido estudiada desde tiempo atrás. Recientemente, ha aumentado el interés por la valorización de algunos áridos artificiales a partir de la evaluación de sus propiedades puzolánicas, con el doble propósito de optimizar la gestión de residuos y reducir el consumo de energía. En trabajos previos del grupo de investigación, se ha estimado la reactividad puzolánica de residuos de demolición de mamposterías cerámicas (RDMC), subproductos sólidos (estériles) de la minería de rocas de aplicación (EIRA) y cenizas volcánicas (CV) procedentes de la erupción 2011 del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPC), mediante el método de la conductividad eléctrica. El método aplicado, consistió en determinar la variación en el tiempo de la concentración de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) en una disolución cal-puzolana, mediante la medición de la conductividad eléctrica, conociendo previamente la relación entre la conductividad y la concentración. Mediante la determinación de

la relación entre el catión calcio (Ca^{+2}) consumido -concentración de Ca^{+2} a un tiempo t - y la concentración inicial, se estableció un índice de reactividad puzolánica. De acuerdo con Khandilkar y Cursetji (2003), mientras mayor sea el consumo de Ca^{+2} , mayor será la actividad puzolánica del material. El ensayo se llevó a cabo siguiendo los procedimientos propuestos por Costafreda et al (2009). Los valores encontrados de conductividad expresados en concentración, mostraron en todas las muestras consumos significativos de Ca(OH)_2 , aunque con diferentes velocidades de reacción, que continuaron de manera menos marcada a partir de las 360 horas, con un posible punto de equilibrio que se alcanzaría a partir de las 720 horas. Estos resultados, sugirieron la pertinencia de continuar con estudios de mayor detalle. El objetivo del presente trabajo, fue validar los resultados obtenidos mediante el ensayo químico de puzolanidad (EQZ) y la determinación del índice de actividad resistente (IAR).

METODOLOGÍA

En los experimentos de laboratorio, se emplearon los mismos materiales analizados en las investigaciones antecedentes. Los RDMC, fueron obtenidos en obras en construcción ubicadas dentro del partido de La Plata, pcia. de Buenos Aires y designados como LD. Los EIRA, fueron extraídos en una explotación de áridos de la empresa Canteras Yaraví SA, ubicada en proximidades de la localidad de Chapadmalal, partido de Gral. Pueyrredón, pcia. de Buenos Aires, donde se explotan ortocuarzitas afectadas por varios sistemas de fallas y diaclasas, que conforman bancos de hasta 20 m de espesor, intercaladas con niveles arcillosos de 0,15 a 0,20 m de potencia, y denominados Y1, Y2 e Y3. Las CV, correspondientes a la erupción volcánica del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPC) de 2011, fueron obtenidas en el área de influencia de la ciudad de San Martín de los Andes, pcia. de Neuquén. Con el fin de obtener una fracción experimental

de elevada superficie específica, los materiales fueron finamente triturados y tamizados hasta obtener una fracción $<62\mu$. En el caso de las CV, y con el propósito de conocer la posible influencia de la superficie específica en la reactividad, se ensayaron las fracciones $>62\mu$ y $<62\mu$, denominadas $CV>62\mu$ y $CV<62\mu$ respectivamente. El EQP, se llevó a cabo siguiendo los procedimientos establecidos en la norma UNE-EN 196-5: "Ensayo de puzolanicidad para cementos puzolánicos". El método aplicado, se basa en la comparación de la cantidad de Ca(OH)_2 presente en una disolución acuosa en contacto con el cemento hidratado, respecto a la cantidad de Ca(OH)_2 capaz de saturar un medio de la misma alcalinidad. En un cemento puzolánico, la concentración de Ca(OH)_2 en solución, es siempre menor que la concentración de saturación. Para la ejecución del ensayo, se mezclaron 20 ± 0.01 g de una mezcla compuesta por 75% de un cemento de referencia –cemento portland normal- (CPN) producido por Loma Negra CIASA, y 25% de puzolana en 100 ml de agua destilada a 40°C de temperatura, que se mantuvo constante durante todo el tiempo de ejecución del experimento. Las muestras se hicieron por duplicado para llevar a cabo los análisis a 7 y 15 días. Transcurridos los tiempos establecidos, se filtraron las disoluciones y se realizaron las valoraciones con HCl y EDTA. El cálculo de la concentración de los iones hidroxilo $[\text{OH}^-]$, se realizó mediante la expresión:

$$[\text{OH}^-] = 1000 * 0.1 * V_3 * f_2 = 2 * V_3 * f_2;$$

Donde,

$[\text{OH}^-]$: es la concentración de los iones hidroxilo;

V_3 : es el volumen de la disolución de HCl gastado en la valoración en mililitros;

y f_2 : es el factor de la disolución de HCl (0.1 mol/l).

La concentración de óxido de calcio (CaO), se determinó mediante la expresión:

$$[\text{CaO}] = 1000 * 0.025 * V_4 * f_1 = 2 * V_4 * f_1;$$

Donde:

$[\text{CaO}]$: es la concentración de óxido de calcio en mmol/l;

V_4 : es el volumen de la disolución de EDTA gastado en la valoración en mililitros;

y f_1 : es el factor de la disolución de EDTA.

Los resultados, se representaron gráficamente empleando la curva isoterma de solubilidad a 40°C del Ca(OH)_2 en presencia de álcalis, que relaciona la alcalinidad total con su contenido. De acuerdo con la norma, si al representar los resultados en la forma de un punto, éste se ubica por debajo de la curva de solubilidad, la muestra se considera puzolánica. Para un mejor control de la precisión en la aplicación del método, se utilizó una muestra control de cemento portland puzolánico (CPP) producido por la empresa Loma Negra CIASA. El IAR, se llevó a cabo siguiendo los procedimientos establecidos en la norma UNE-EN 83451: "Determinación del índice de actividad resistente con cemento portland", para adiciones minerales. El fundamento del método, es la comparación de la resistencia a compresión de una probeta de mortero control elaborada con un cemento de referencia a una edad determinada, respecto de la resistencia a compresión de una probeta experimental, elaborada mediante la sustitución parcial del mismo cemento de referencia por el material cuya reactividad se pretende estudiar. De acuerdo con la norma el IAR es positivo, si a la edad de 28 días la resistencia a compresión de la probeta experimental es $\geq 75\%$ que la resistencia a compresión de la probeta control. Se elaboraron series de tres probetas experimentales por cada material a ensayar y una serie de probetas control. Como cemento de referencia, se utilizó CPN, producido por Loma Negra CIASA. El árido fino, fue preparado en laboratorio a partir de arenas naturales hasta obtener la curva de mejor ajuste, según los límites superior e inferior del huso granulométrico establecido en la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE, 1998). Las probetas control, fueron elaboradas mediante series de mortero control con la siguiente dosificación: CPN = 450 g; Arena = 1350 g; y agua destilada = 225 ml; lo que

equivale a una relación agua/cemento (w/c) = 0,5 y una relación cemento/árido (c/a) = 0.33. Las probetas experimentales, se elaboraron manteniendo constantes las cantidades de árido y agua, sustituyendo el 30% de cemento por cada uno de los materiales a estudiar. Las probetas fueron coladas en moldes cúbicos de 70 mm de lado, desmoldadas a las 24 horas y curadas en atmósfera controlada de laboratorio. A los 28 días de edad, fueron refrentadas mediante una capa de yeso de alta resistencia inicial de 2 mm de espesor, y ensayadas a compresión. El ensayo a compresión, se llevó a cabo en una prensa hidráulica de accionamiento manual, provista de acople para celda de carga tipo "S" conectada a dinamómetro electrónico de 20KN de capacidad con 1N de sensibilidad. El IAR, fue calculado con la siguiente expresión:

$$Ia = Re/Rc * 100$$

Donde,

Ia = Índice de actividad resistente

Re = Resistencia a compresión de la probeta experimental

Rc = Resistencia a compresión de la probeta control

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis químico a 7 días

Los valores medios de la concentración de OH⁻ y CaO se calcularon a partir de los volúmenes consumidos de HCl y EDTA, y fueron representados gráficamente en forma de puntos, empleando la curva isoterma de solubilidad a 40° C del Ca(OH)₂ (Tabla 1). Los resultados obtenidos a los 7 días, indican que la totalidad de las muestras presentaron un comportamiento reactivo, siendo el punto ubicado en la zona más profunda por debajo de la curva de solubilidad a 40° C del Ca(OH)₂, ocupado por el CPP utilizado como muestra control de la precisión en la aplicación del método.

TABLA 1

MUESTRA	Procedencia	RESULTADOS A 7 DÍAS				RESULTADOS A 15 DÍAS			
		HCl (ml)	EDTA (ml)	Concentración (mmol/l)		HCl (ml)	EDTA (ml)	Concentración (mmol/l)	
				HCl	EDTA			HCl	EDTA
CV<62µm	San Martín de los Andes	23,4	10,0	50,9	7,14	24,2	8,0	52,27	4,8
CV>62µm	San Martín de los Andes	22,9	9,4	49,81	6,71	23,6	8,6	50,98	5,16
LD	Ciudad de La Plata	23,0	6,3	50,03	4,5	24,4	6,4	52,7	3,84
Y1	Canteras Yaraví SA, partido de Gral. Pueyrredón	20,6	11,8	44,81	8,42	21,5	12,2	46,44	7,32
Y2	Canteras Yaraví SA, partido de Gral. Pueyrredón	20,7	11,8	45,03	8,42	22,0	11,8	47,52	7,08
Y3	Canteras Yaraví SA, partido de Gral. Pueyrredón	21,9	12,0	47,3	8,56	20,0	10,8	43,5	7,71

Consumo de HCl y EDTA para las muestras analizadas a 7 y 15 días

En la Figura 1, se observa una aparente disparidad de resultados, coherente con las características químicas de los materiales estudiados que condicionarían su capacidad de reacción a edades tempranas. Las muestras denominadas Y1, Y2 e Y3, se ubicaron en la zona más próxima a la curva de solubilidad, por debajo se situaron las CV>62 μ y CV<62 μ muy próximas entre sí, y en la zona más profunda se ubicó la muestra LD. De acuerdo con estos resultados, los RCDM representados por la muestra LD serían los productos más reactivos, seguidos por las CV, siendo los EIRA los productos menos reactivos. Los resultados, concuerdan en cuanto a la reactividad de los materiales estudiados, con los obtenidos en trabajos antecedentes (Rolny et al, 2013).

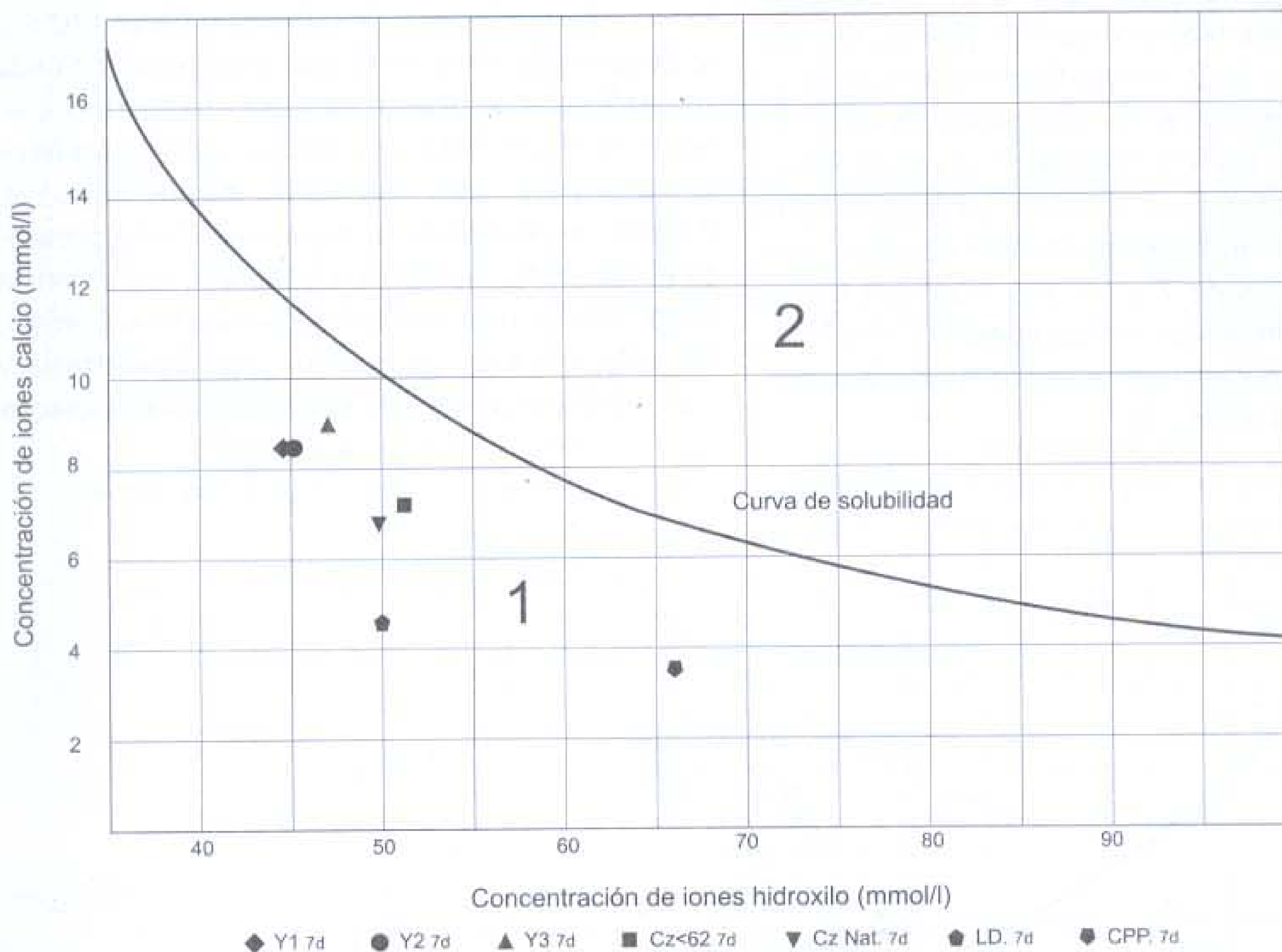


FIGURA 1: Ubicación de las muestra analizadas por el EQP a 7 días. (1) Si las muestras se ubican por encima de la curva de solubilidad no son reactivas. (2) Si las muestras se ubican por debajo de la curva de solubilidad las muestras son reactivas.

Los análisis químicos cuantitativos llevados a cabo sobre los distintos productos estudiados, mostraron elevados contenido de SiO_2 y Al_2O_3 , condición necesaria para que la reacción puzolánica con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sea muy activa. Costafreda y Calvo (2009), analizaron materiales similares, e informaron una jerarquía en relación a su capacidad reactiva que establecieron según el esquema *ceniza volcánica – tejas de arcillas calcinadas y trituradas – ortocuarzitas*. Los resultados obtenidos, sugieren que este ordenamiento jerárquico seguiría el esquema: *ladrillos cerámicos calcinados y finamente molidos – ceniza volcánica – finos de lavado de ortocuarzitas*.

Resultados del análisis químico a 15 días

Los valores medios de la concentración de OH^- y CaO , fueron nuevamente calculados a los 15 días, y los valores se representaron gráficamente en forma de puntos en el diagrama (Tabla 1 y Figura 2). Los resultados, mostraron que en todas las muestras se produjo un aumento de la reactividad, aunque con ritmos diferentes. Las muestras Y1, Y2 e Y3, presentaron nuevamente el comportamiento menos reactivo, con los puntos que representan a Y1 e Y2 compartiendo la misma posición en el diagrama, e Y3 con una reactividad menos marcadas. Las CV, mostraron el mayor incremento en el ritmo de la reacción, fácilmente apreciable al observar las pendientes de las rectas que unen los puntos de 7 y 15 días, con una mayor velocidad de reacción en la muestra $\text{CV}<62\mu\text{m}$, que podría explicarse por el aumento de la superficie específica (Figura 3).

La muestra LD por su parte, presentó nuevamente el comportamiento más reactivo, ubicándose en la parte más profunda del diagrama. Estos resultados, confirman los obtenidos previamente por el grupo de investigación (Rolny et al, 2013), que sugirieron un aumento de la reactividad hasta las 360 horas, y luego una reducción del ritmo acompañado de una tendencia al equilibrio hacia las 720 horas. De manera coherente con los resultados informados por Costafreda y Calvo (2009), la posición de los puntos que representan a cada muestra en el diagrama, muestra una tendencia lineal con $R^2 = 0,7647$, que resulta significativa frente a la dispersión encontrada a 7 días ($R^2 = 0,517$). Además, si se elimina la muestra Y3, que presentó el comportamiento más anómalo, la tendencia lineal resulta más marcada, con un $R^2 = 0,9643$. De esta manera, de acuerdo con Costafreda y Calvo (2009) y dado que los productos estudiados

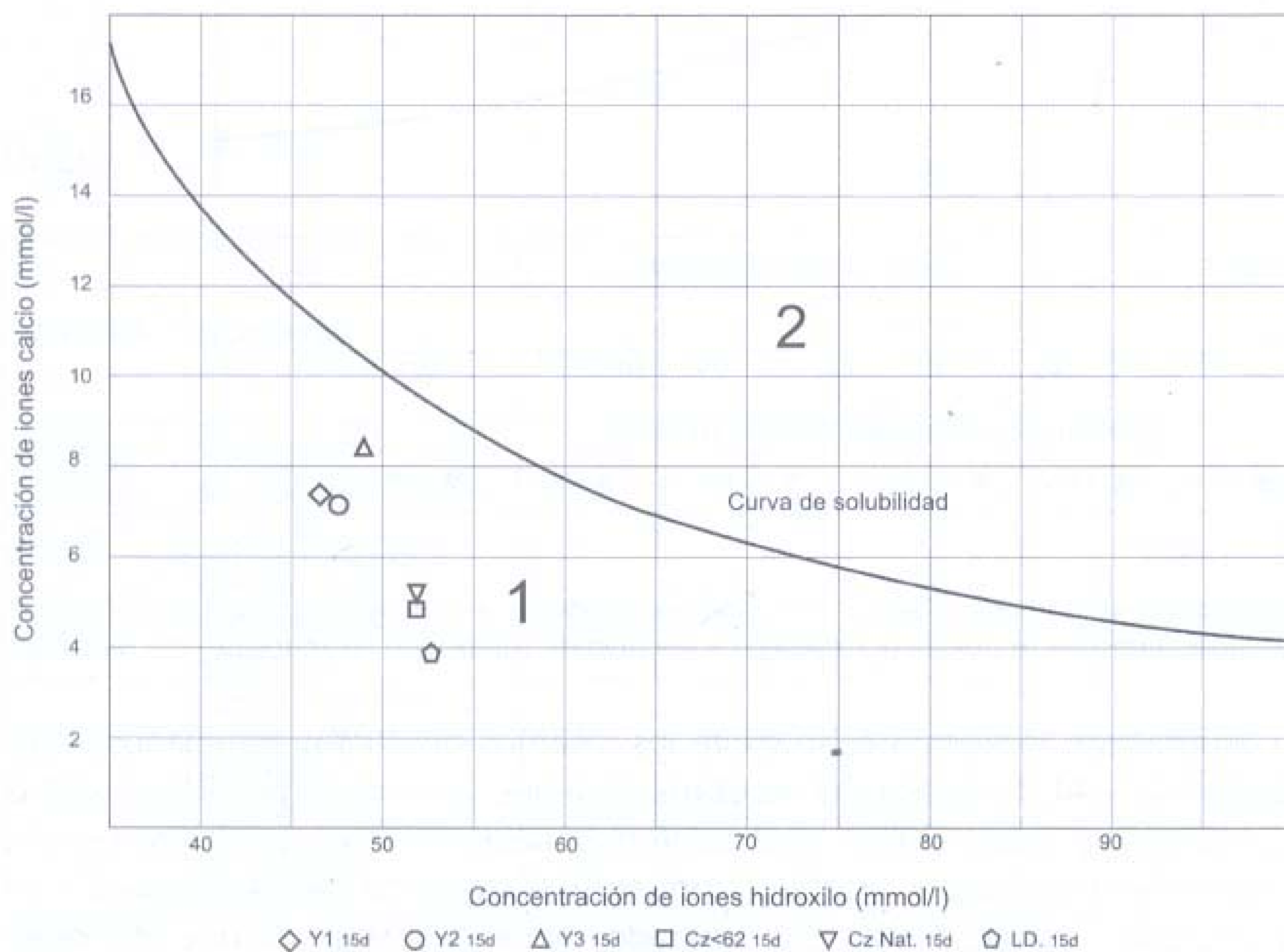


FIGURA 2: Ubicación de las muestra analizadas por el EQP a 15 días

poseen distintas velocidades de reacción a edades muy tempranas, podría establecerse un criterio de normalización de los mecanismos de reacción en función del tiempo, a partir del reordenamiento de las posiciones de los puntos que a 15 días muestran una clara tendencia lineal (Figura 3). En la Figura 3 A se indica la dispersión de los puntos que representan a las muestras estudiadas a la edad de 7 días. B), se observa el reordenamiento de los puntos con los valores determinados a 15 días. En línea de puntos se ha indicado la recta de regresión obtenida suprimiendo la muestra Y3. La Figura 3C, se muestra el ordenamiento jerárquico encontrado en relación a la reactividad de los materiales estudiados.

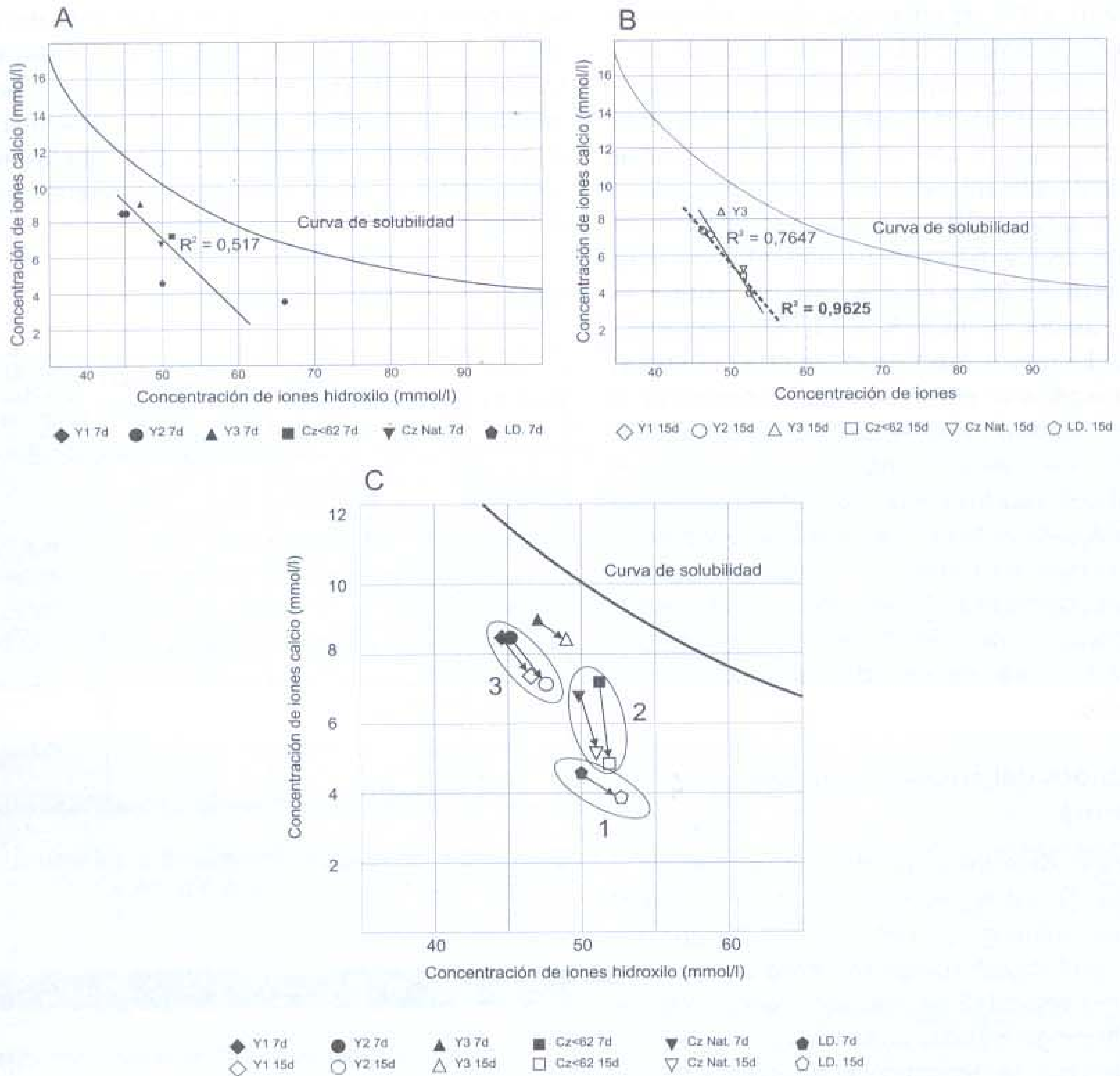


FIGURA 3: A) Diagrama que indica la dispersión de los puntos que representan a las muestras estudiadas a la edad de 7 días. B), Diagrama que muestra el reordenamiento de los puntos con los valores determinados a 15 días. En línea de puntos se ha indicado la recta de regresión obtenida suprimiendo la muestra Y3 y C) Diagrama que muestra el ordenamiento jerárquico encontrado en relación a la reactividad de los materiales estudiados.

Estos resultados, podrían explicarse a partir de la composición química y mineralógica de los distintos materiales. Las muestras Y1, Y2 e Y3, presentaron contenidos de SiO₂ situados en el orden del 70%, con un contenido de Al₂O₃ variable entre el 15,2 y el 13,6%, y una composición mineralógica determinada por DRX, para la fracción fina, de: 65-75% de caolinita, 25% de illita, 10% a 5% de cuarzo, y 3% de impurezas de un interestratificado expandible (Sm). Entre ellas, la muestra Y3, que presentó los mayores contenidos de cuarzo (entre 8% y 10%), se mostró a 7 y 15 días como la menos reactiva, con un comportamiento marcadamente diferente a Y1 e Y2, que compartieron la misma posición bajo la curva de solubilidad. Por su parte, las CV>62μ y <62μ, presentaron valores de SiO₂ de 65,3% y 69,4%, con porcentajes de Al₂O₃ situados en 14,35% y 13,75%, respectivamente. La mayor reactividad de estas muestras, podría explicarse por la abundante presencia de vidrio volcánico (>50%), determinado mediante DRX. Finalmente, el análisis realizado sobre la muestra LD, mostró valores de 73,6% para el SiO₂ y 14,3% para el Al₂O₃. Esta muestra, encontrada como la más reactiva a 7 y 15 días, puede deber su comportamiento a los efectos de la calcinación a temperaturas de ~950 °C, debido a la alteración de la estructura cristalina de los argilominerales presentes.

Resultados del ensayo de actividad resistente

Para la determinación del IAR, se excluyó la muestra Y3 que presentó la menor reactividad en el ensayo químico. Las muestras Y1 e Y2, que presentaron el mismo comportamiento puzolánico y la misma velocidad de reacción, fueron mezcladas y homogeneizadas dando lugar a la muestra ensayada que se denominó Y. Finalmente, fueron ensayadas series de 3 probetas elaboradas a partir de la mezclas Y; CV>62μ; CV<62μ; LD; y control. Los resultados, indicaron que en todos los casos el IAR fue superior al 75% del valor de la resistencia

a compresión de la probeta control. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los valores del IAR de los distintos materiales, los resultados, sugieren que se mantendría la jerarquía en relación a su capacidad reactiva determinada en el EQP según el esquema: *ladrillos cerámicos calcinados y finamente molidos – ceniza volcánica – finos de lavado de ortocuarzitas*. Se aprecia también un pequeño aumento en el IAR de las probetas elaboradas con la muestra CV<62μm, efecto que podría explicarse por el aumento de la superficie específica. Los promedios de la resistencia a compresión de las probetas experimentales y control a 28 días, se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2

MUESTRA	Procedencia	Carga total (kg)	Área (cm ²)	Tensión de rotura (kg/cm ²)	Índice de Actividad Resistente (%)
CONTROL		10.975	49	223,98	100
CV<62μm	San Martín de los Andes	8.538	49	174,23	77,8
CV>62μm	San Martín de los Andes	8.379	49	171,00	76,3
LD	Ciudad de La Plata	8.568	49	174,85	78,1
Y	Canteras Yaraví SA, partido de Gral. Pueyrredón	8.308	49	169,54	75,7

Resultados de los ensayos a compresión de las probetas control y experimentales. Promedios de 3 probetas

CONCLUSIONES

La reactividad de las muestras analizadas, aparece confirmada mediante los 3 procedimientos empleados.

Los resultados preliminares, confirman los obtenidos por otros autores, y sugieren la

aptitud de los materiales estudiados para su uso en la sustitución parcial del cemento en morteros y hormigones.

Los efectos de su empleo como adiciones minerales en morteros y hormigones, tanto en estado fresco como endurecido, deberían comprobarse experimentalmente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores, expresan su agradecimiento a la empresa Canteras Yaraví SA, que permitió la extracción de los finos de lavado en su planta Yaraví Minera, ubicada en el partido de Gral Pueyrredón. Asimismo, agradecen la colaboración prestada por los Arquitectos Jorge Lombardi y Karina Cortina, para obtener las muestras de cenizas volcánicas de la erupción 2011 del CVPC, en la localidad de San Martín de los Andes, pcia de Neuquén.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costafreda, JL y Calvo, B. (2009). Valoración de la calidad de algunos áridos a partir de la interpretación de sus propiedades puzolánicas. II Congreso Nacional de Áridos, Valencia, 135 – 138.
- Costafreda, JL, Rosell, M, Calvo, B. (2009). Estudio del comportamiento puzolánico de algunas zeolitas de iberoamérica empleando el método de la conductividad eléctrica. VII Congreso Ibérico. X Congreso Nacional de Geoquímica, Soria, España. ISBN: 84-96695-37-9.
- Instrucciones de Hormigón Estructural - EHE. (1998). Ministerio de Fomento, España.
- Khandilkar, S. y Cursetji, M. (2003). Assesmnt of pozzolanic rectivity – an Attempt on formulating a pozzolanic index. Proceedings of the 4th International Congress on the Chemistry of Cement. In: Greves and Owens (Editores), Durban. 10 p.
- Rolny D, Sovarzo L, Couyoupetrou L, Rodríguez G, Hurtado MA, Cremaschi G, Forte LM. (2013). Estimación de las propiedades puzolánicas de algunos áridos artificiales utilizando el método de la conductividad eléctrica. II Jornadas de Investigación, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, La Plata. 10 p.
- UNE-EN 196-5. (2006). Métodos de ensayo de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para cementos puzolánicos.
- UNE-EN 83451. (1986). Determinación del índice de actividad resistente con cemento portland, para adiciones minerales.

Los áridos son mucho más que piedras : 2° Congreso Argentino de Áridos 10, 11, 12 Nov. 2014 / Jorge Fontana Piatti ... [et.al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Cámara de la Piedra de la Provincia de Buenos Aires, 2014.
456 p. ; 22x17 cm.

ISBN 978-987-24740-4-1

1. Minería. I. Fontana Piatti, Jorge; Guerra, Rodolfo; Leggiero, Javier A.; Patrón Costas, Enrique; Ruggiero, Mónica; Carabajal Ana Lía;
CDD 622

Fecha de catalogación: 28/10/2014